

*6 - я Международная научно-
техническая конференция*

**ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*10– 11 октября
2002 г*

г. Харьков

Харьковская научно-производственная корпорация "ФЭД"
Харьковский государственный экономический университет
Одесский национальный политехнический университет
ОАО Завод "Потенциал"
ЗАО Завод "Южкабель"
Одесское отделение Инженерной Академии Украины
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины
Институт проблем машиностроения НАН Украины
Институт машин и систем НАН Украины
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
Харьковский национальный технический университет радиозлектроники
Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта
Донецкий государственный технический университет
Сумской государственный университет
Национальная Металлургическая Академия Украины
Севастопольский национальный технический университет
Луцкий государственный технический университет
Тулский государственный университет
Курский государственный технический университет
Ульяновский государственный технический университет
Саратовский государственный технический университет
ГП "Завод им. Малышева"
АО "Мотор - Січ"
ХГ Авиационное производственное предприятие
ХГ Приборостроительный завод им. Шевченко
Производственное объединение "Коммунар"
Харьковское агрегатное конструкторское бюро
НТК "Эльбор-4"
ОАО Московское ПО по выпуску алмазного инструмента
Гомельское ПО "Кристалл"
Жешувский технологический университет, Польша
Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к
проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

ТРУДЫ 6-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ"**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
TECHNICAL CONFERENCE**

Харьков 2002

УДК 62-65: 621.382.82

Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.

Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 10-11 октября 2002г. –Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002г. – 342с.

Представлены труды, в которых рассмотрены проблемы технологии машиностроения и обработки материалов; прогрессивное оборудование для бурения нефтяных и газовых скважин; проблемы динамики и прочности машин, математики, механики, физики и экономики; проблемы создания и применения компьютерных технологий.

Для специалистов в области машиностроения, научно-технических работников и студентов.

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНФЕРЕНЦИИ:

Сопредседатели:

Якимов А.В., д.т.н.	(Одесса)	Крюк А.Г., к.т.н.	(Харьков)
Новиков Ф.В., д.т.н.	(Харьков)	Ларшин В.П., д.т.н.	(Одесса)
Фадеев В.А., к.т.н.	(Харьков)	Львов Г.И., д.т.н.	(Харьков)
Кривошапка Ю.Н., к.э.н.	(Харьков)	Малыхин В.В., к.т.н.	(Курск)
Ткаченко В.П.	(Харьков)	Мовшович А.Я., д.т.н.	(Харьков)

Члены совета:

Гринева В.Н., д.э.н.	(Харьков)	Морачковский О.К., д.т.н.	(Харьков)
Дудко П.Д., к.т.н.	(Харьков)	Невлюдов И.Ш., д.т.н.	(Харьков)
Карпушенко В.П., к.э.н.	(Харьков)	Новоселов С.П., к.т.н.	(Харьков)
Коломиец В.В., д.т.н.	(Харьков)	Шепелев А.А., д.т.н.	(Киев)
		Ямников А.С., д.т.н.	(Тула)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Александров Е.Е., д.т.н.	(Харьков)	Линчевский П.А., д.т.н.	(Одесса)
Воробьев Ю.С., д.т.н.	(Харьков)	Матюха П.Г., д.т.н.	(Донецк)
Гапонов В.С., д.т.н.	(Харьков)	Новоселов Ю.К., д.т.н.	(Севастополь)
Горбатюк Н.В., к.т.н.	(Харьков)	Новиков С.Г., к.т.н.	(Курск)
Дьяченко С.С., д.т.н.	(Харьков)	Осипов В.А., к.т.н.	(Сумы)
Дитиненко С. А.	(Харьков)	Проволоцкий А.Е., д.т.н.	(Днепропетровск)
Золотарев В.М.	(Харьков)	Скобло Т.С., д.т.н.	(Харьков)
Клименко А.А., д.т.н.	(Одесса)	Сизый Ю.А., д.т.н.	(Харьков)
Клименко С.А., д.т.н.	(Киев)	Усов А.В., д.т.н.	(Одесса)
Королев А.В., д.т.н.	(Саратов)	Худобин Л.В., д.т.н.	(Ульяновск)
Колодяжный А.В., к.т.н.	(Харьков)	Тернюк Н.Э., д.т.н.	(Харьков)
Лавриненко В.И., д.т.н.	(Киев)	Тимофеева Л.А., д.т.н.	(Харьков)

Труды воспроизводятся непосредственно с авторских оригиналов.

1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.923

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Якимов А.В., докт. техн. наук, Новиков Г.В., канд. техн. наук
(г. Харьков, г. Одесса, Украина)

The most effective directions of a raising the productivity of machine work of metals are theoretically determined.

В настоящее время накоплен большой опыт по осуществлению высокопроизводительной обработки металлов резанием, разработаны эффективные процессы резания и конструкции режущих инструментов. Однако, высокие требования к созданию конкурентоспособной машиностроительной продукции требуют постоянного решения задач по повышению производительности, качества, точности и экономичности металлообработки. Чтобы системно подойти к выработке правильных решений по выявлению новых резервов механической обработки, в настоящей работе приведены аналитические зависимости для расчета производительности различных процессов резания и проведен их анализ.

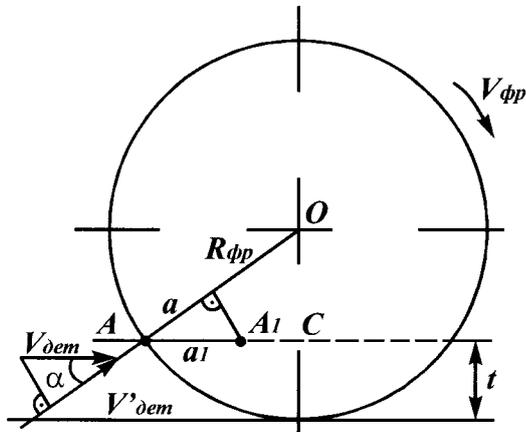


Рис. 1. Расчетная схема фрезерования.

точки A' . Проекция отрезка $AA' = a'$ на линию, проведенную через точки A и O , определяет толщину среза a . Тогда

$$a = V'_{\phi p} \cdot T, \quad (1)$$

где $V'_{\phi p} = V_{\phi p} \cdot \cos \alpha$; $V_{\phi p}$ – скорость детали, м/с; α – угол между скоростью детали $V_{\phi p}$ и её проекцией $V'_{\phi p}$.
Окончательно получим

$$a = l \cdot \frac{V_{\phi p}}{V_{\phi p}} \cdot \sqrt{\frac{2t}{R_{\phi p}}}, \quad (2)$$

где $R_{\phi p}$ – радиус фрезы, м, t – глубина резания, м.

Как видим, толщина среза a тем меньше, чем меньше расстояние между зубьями фрезы l , глубина резания t , скорость детали $V_{\phi p}$ и больше скорость фрезы $V_{\phi p}$ и радиус фрезы $R_{\phi p}$. Производительность фрезерования Q опишем зависимостью

$$Q = V_{\phi p} \cdot t \cdot B, \quad (3)$$

где B – ширина фрезерования, м.

Разрешим зависимость (2) относительно t

$$t = \left(\frac{a}{l} \cdot \frac{V_{\phi p}}{V_{\phi p}} \right)^2 \cdot \frac{R_{\phi p}}{2}. \quad (4)$$

Подставим (4) в зависимость (3)

$$Q = \left(\frac{a}{l} \cdot V_{\phi p} \right)^2 \cdot \frac{R_{\phi p}}{2 \cdot V_{\phi p}} \cdot B. \quad (5)$$

Увеличить Q можно увеличением параметров a , $V_{\phi p}$, $R_{\phi p}$, B и уменьшением $V_{\phi p}$ и l . Увеличение толщины среза a ограничено прочностью зубьев фрезы, поэтому в зависимости (5) параметр a следует рассматривать постоянным (заданным).

Уменьшение параметра $V_{\phi p}$ возможно до значения, при котором глубина резания t , исходя из зависимости (4), становится равной радиусу фрезы $R_{\phi p}$. Следовательно, наибольшая производительность обработки Q достигается при $t=2R_{\phi p}$. Данные условия на практике реализованы в схеме фрезерования торцевой фрезой, т.е. торцовое фрезерование следует рассматривать как наиболее производительный способ механической обработки. При этом, чем больше диаметр фрезы $2R_{\phi p}$ и величина снимаемого припуска, равная B , тем больше производительность обработки Q .

Сравним производительности обработки при фрезеровании и точении. Предположим, что производительность процесса точения определяется по зависимости

$$Q_t = V_{фр} \cdot a \cdot B, \quad (6)$$

где $V_{рез}$ – скорость резания, м/с.

С учетом (6) представим зависимость (5) в виде

$$Q = Q_t \cdot \left(\frac{V_{фр}}{l}\right)^2 \cdot \frac{a \cdot R_{фр}}{2 \cdot V_{дем} \cdot V_{рез}}. \quad (7)$$

Здесь $V_{дем}$ – скорость детали при фрезеровании. Расстояние между зубьями фрезы l выразим

$$l = \frac{2\pi \cdot R_{фр}}{z}, \quad (8)$$

где z – число зубьев фрезы.

Подставляя (8) в (7), окончательно получим

$$Q = Q_t \cdot \frac{V_{фр}^2}{V_{дем} \cdot V_{рез}} \cdot \frac{a \cdot z^2}{8 \cdot \pi^2 \cdot R_{фр}}. \quad (9)$$

Условие $Q > Q_t$ выполняется при

$$\frac{V_{фр}^2}{V_{дем} \cdot V_{рез}} \cdot \frac{a \cdot z^2}{8 \cdot \pi^2 \cdot R_{фр}} > 1,$$

или

$$z > \sqrt{\frac{V_{дем} \cdot V_{рез}}{V_{фр}^2} \cdot \frac{8 \cdot \pi^2 \cdot R_{фр}}{a \cdot z^2}}. \quad (10)$$

Например, при $V_{рез}/V_{фр} = 1$, $V_{дем}/V_{фр} = 10^{-3}$; $R_{фр} = 100$ мм; $a = 0,1$ мм, имеем $z > 9$, что практически реализуемо. Таким образом, за счет выбора соотношения $V_{дем}/V_{фр}$ можно всегда выполнить неравенство (10). Это означает, что потенциально процесс фрезерования более производителен. Кроме того, дополнительно увеличить производительность фрезерования можно за счет увеличения $V_{фр}$, выполняя условие $V_{рез}/V_{фр} < 1$. Физически это возможно, так как при фрезеровании меньше температура нагрева режущих зубьев фрезы в связи с периодичностью процесса резания. Сравним производительности обработки при фрезеровании и шлифовании. Для этого в зависимости (5) величину l выразим зависимостью (8)

$$Q = (a \cdot z \cdot V_{фр})^2 \cdot \frac{B}{8 \cdot \pi^2 \cdot V_{дем} \cdot R_{фр}}. \quad (11)$$

Здесь $V_{фр} = V_{кр}$, $R_{фр} = R_{кр}$ (где $V_{кр}$ и $R_{кр}$ – соответственно скорость и радиус шлифовального круга); B – ширина фрезерования, равная ширине шлифования. Если принять, что значения $V_{фр}$, $R_{фр}$, B , $V_{дем}$ одинаковы для процессов фрезерования и шлифования, то производительность обработки будет определяться произведением параметров az . Для шлифовального круга параметр a меньше, а параметр z больше, чем для фрезы.

Предельная толщина среза режущим зерном круга в 100...1000 раз меньше предельной толщины среза зубом фрезы. Следовательно, для того чтобы производительности процессов шлифования и фрезерования были сопоставимы, необходимо чтобы число режущих зерен круга превышало в такое же число раз число режущих зубьев фрезы.

Расчет производительности шлифования произведем, используя расчетную схему, согласно которой режущие зерна на рабочей поверхности круга расположены условно вдоль диаметральных окружностей. Расстояние между окружностями примем равным $2a$, а расстояние между зернами в пределах одной окружности – равным l . Тогда $l = 2\pi R_{кр}/z$, где z – число зерен, расположенных в пределах одной окружности. Величина z равна

$$z = \frac{n_0}{n_1}, \quad (12)$$

где n_0 – общее число зерен, расположенных на рабочей поверхности круга; $n_1 = B/2a$ – число окружностей на рабочей поверхности круга, удаленных друг от друга на величину $2a$; B – ширина круга, м; a – толщина среза, м.

Параметр n_0 представим

$$n_0 = k \cdot B \cdot 2\pi \cdot R_{кр}, \quad (13)$$

где k – поверхностная концентрация зерен круга, шт/м².

Параметр k может быть рассчитан по известной формуле проф. Резникова А.Н.

$$k = \frac{3 \cdot m \cdot (1-E)}{200 \cdot \pi \cdot X^2}, \quad (14)$$

где m – объемная концентрация зерен в алмазном круге; X – зернистость круга, м; $(1-E)$ – безразмерный коэффициент, учитывающий высоту выступания зерен над уровнем связки круга.

В расчетах коэффициент $(1-E)$ можно принять в виде

$$(1 - E) = \frac{a}{X}. \quad (15)$$

Тогда параметры k и z опишутся

$$k = \frac{3 \cdot m \cdot a}{200 \cdot \pi \cdot X^3}, \quad (16)$$

$$z = \frac{3 \cdot m \cdot a^2 \cdot R_{кр}}{50 \cdot X^3}. \quad (17)$$

Соответственно расстояние между зернами в пределах одной условной диаметальной окружности l выразится

$$l = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{кр}}{z} \cdot \frac{100 \cdot \pi \cdot X^3}{3m \cdot a^2}. \quad (18)$$

Подставим (18) в зависимость (2), рассматривая в ней $V_{фр} = V_{кр}$, $R_{фр} = R_{кр}$. После преобразований, имеем

$$a = X \cdot \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \pi}{3m} \cdot \frac{V_{дет}}{V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2t}{R_{кр}}}}. \quad (19)$$

Таким образом, получена расчетная зависимость для определения толщины среза при шлифовании, которая практически идентична аналогичным зависимостям, установленным нами на основе других расчетных схем [1].

Отличия зависимостей состоит лишь в численном значении множителя, стоящим под радикалом.

Производительность шлифования Q определим из зависимости (5) с учетом (18), рассматривая $a = \text{const}$, $V_{фр} = V_{кр}$, $R_{фр} = R_{кр}$:

$$Q = \left(\frac{3 \cdot m \cdot a^3}{100 \cdot \pi \cdot X^3} \cdot V_{кр} \right)^2 \cdot \frac{R_{кр} \cdot B}{2 \cdot V_{дет}}. \quad (20)$$

Как видим, наибольшее влияние на Q оказывает толщина среза a , т.е. производительность обработки обусловлена главным образом прочностью режущих зерен и прочностью удержания их в связке круга.

Исходя из зависимости (5), справедливой для процессов шлифования и фрезерования, отличие производительности для двух процессов связано с соотношением a/l . Для шлифования

$$\frac{a}{l} = \frac{3m \cdot a^3}{100 \cdot \pi \cdot X^3}. \quad (21)$$

Для исходных данных: $m = 100$; $a = 0,01$ мм; $X = 0,1$ мм, имеем $a/l = 0,001$. Для фрезерования примем $a = 0,1$ мм, $l = 10$ мм. Тогда $a/l = 0,01$. Следовательно, при шлифовании соотношение a/l меньше, чем при фрезеровании. Соответственно меньше производительность обработки. Из зависимости (21) следует, что соотношение a/l существенно зависит от a/X , т.е. незначительное изменение a/X ведет к значительному изменению соотношения a/l . Например, увеличение отношения a/X в два раза приведет к увеличению a/l в 8 раз. В этом случае значения a/l для шлифования и фрезерования станут примерно одинаковыми. Таким образом показано, что процессы шлифования и фрезерования по производительности (при определенных условиях) сопоставимы. Основным направлением увеличения производительности шлифования следует рассматривать применение алмазных кругов на прочных металлических связках, обеспечивающих повышение значения отношения a/X . Эффективно также применение глубинного однопроходного шлифования с относительно небольшой скоростью детали $V_{дет}$.

Важнейшим условием повышения производительности как шлифования, так и фрезерования, исходя из зависимости (5), является увеличение скорости вращения круга (фрезы), т.е. переход в область высокоскоростной обработки. Это весьма эффективно, так как скорость резания $V_{фр}$ входит в зависимость (5) во второй степени. Собственно этим объясняется перспективность создания фрезерных и шлифовальных станков для высокоскоростной обработки. При резании однолезвийным инструментом (при точении, строгании, растачивании) производительность обработки, определяемая зависимостью (6), в меньшей мере зависит от скорости резания, т.е. эффект применения высокоскоростной обработки ниже. Сравнивая зависимости (5) и (6) нетрудно видеть, что при резании многолезвийными инструментами значительно больше возможностей увеличения производительности обработки, так как зависимость (5) содержит значительно больше параметров, чем зависимость (6). Если при резании однолезвийным инструментом производительность обработки определяется лишь 3-я параметрами, то при резании многолезвийным инструментом – 6-ю параметрами. Существенно уменьшая параметры l и $V_{дет}$, можно добиться существенного увеличения производительности обработки при резании многолезвийным инструментом. Таким образом теоретически обоснованы потенциальные возможности процессов резания с точки зрения увеличения производительности обработки.

Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.

УДК 621.923

О МЕХАНИЗМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ**Новиков Ф.В., докт. техн. наук***(г. Харьков, Украина)*

In activity the mathematical model of originating of self-oscillations is reviewed at cutting of stuffs. The pathes of reduction of amplitude of self-oscillations are rotined.

Проблема устранения автоколебаний при резании металлов, по-прежнему, остается актуальной и требует изыскания новых решений. В связи с этим в работе предложен подход к расчету и анализу амплитуды автоколебаний при резании лезвийными и абразивными инструментами.

Предположим, на резец в радиальном направлении y действуют три силы (рис.1): сила упругости — $c \cdot y$ системы резец, радиальная составляющая силы — $P_y(y)$ и сумма различных неупругих сопротивлений, которая может быть объединена в одно слагаемое вида $-k_1 \cdot \dot{y}$. Дифференциальное уравнение системы резец-суппорт имеет вид

$$-P_y(\dot{y}) - c \cdot y - k_1 \cdot \dot{y} = m \cdot \ddot{y}, \quad (1)$$

где m - приведенная масса системы резец-суппорт.

Радиальную составляющую силы резания P_y представим

$$P_y = \frac{P_z}{K_{рез}}, \quad (2)$$

где $K_{рез}$ - коэффициент резания (для резца с передним углом $\gamma = 0^\circ$, $K_{рез} = 1/f$, f - коэффициент трения стружки с передней поверхностью резца).

Тангенциальную составляющую силы резания P_z выразим

$$P_z = \sigma \cdot S, \quad (3)$$

где $\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}}$ - условное напряжение резания, н/м²; $\sigma_{сж}$ - предел прочности обрабатываемого металла на сжатие, н/м²; S - площадь поперечного сечения среза, м².

С учетом (3) зависимость (2) примет вид

$$P_y = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f^2 \cdot S. \quad (4)$$

На падающем участке характеристики трения коэффициент f представим линейным выражением $f = f_0 - f'_0 \cdot \dot{y}$, тогда

$$P_y(\dot{y}) = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot (f_0 - f'_0 \cdot \dot{y})^2, \quad (5)$$

где f_0 - значение коэффициента f , соответствующее состоянию равновесия резца при скорости V_0 ; f'_0 - тангенс угла наклона характеристики трения в точке с координатами f_0 и y_0 .

Подставим (5) в уравнение (1) рассматривая вместо $-c \cdot y$ слагаемое $-c \cdot (y - y_0)$

$$m \cdot \ddot{y} + (-4 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f'_0 + k_1) \cdot \dot{y} + 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f_0^2 \cdot y^2 + c \cdot y = 0. \quad (6)$$

Как видим, при $(-4 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f'_0 + k_1) < 0$ имеет место неустойчивость системы. Система будет совершать незатухающие колебания. Для того чтобы их устранить, необходимо или увеличить второе слагаемое $-k_1$, или уменьшить первое $-4 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f'_0$ путем уменьшения параметров S и f'_0 . В общем случае $S = a \cdot v$, где a и v соответственно толщина и ширина среза. Уравнение (6) является нелинейным дифференциальным уравнением, описывающим автоколебания системы. Амплитуду колебаний A определим методом энергетического баланса. Предположим, что стационарные автоколебания могут быть приближенно описаны гармоническим законом

$$y = A \cdot \sin kt, \quad (7)$$

где k - собственная частота системы, $k = \sqrt{\frac{c}{m}}$; τ - время.

Положим, что сумма слагаемых, входящих в уравнение (6) и зависящих от скорости \dot{y} , равна нулю, т. е.

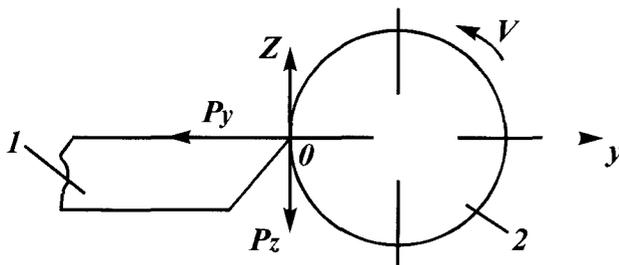


Рис.1. Расчетная схема: 1 – резец; 2 – обрабатываемая леталь.

$$(-4 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f_0' + k_1) \cdot \dot{y} + 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f_0'^2 \cdot \dot{y}^2 = 0. \quad (8)$$

Поставим $\dot{y} = A \cdot k \cdot \cos kt$ в (8) при $\tau = 0$:

$$A = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{2}{f_0'} - \frac{k_1}{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot f_0'^2} \right). \quad (9)$$

Амплитуда установившихся колебаний A тем меньше, чем больше собственная часть системы k , коэффициент сопротивления системы k_1 и меньше площадь поперечного сечения среза S . Величина f_0' оказывает неоднозначное влияние на A . Для определения экстремума продифференцируем амплитуду A по величине f_0' и полученное выражение приравняем к нулю, тогда

$$f_{0'экстр} = \frac{k_1}{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot S}, \quad (10)$$

$$A_{экстр} = \frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot S}{k \cdot k_1}. \quad (11)$$

Вторая производная от A по величине f_0' в точке экстремума отрицательна, следовательно функция A имеет максимум. Уменьшить A можно уменьшением $f_0' \rightarrow 0$, исключая падающий участок характеристики трения. Уменьшение $A_{экстр}$, согласно (11), предполагает уменьшение параметров $\sigma_{сж}$, S и увеличение k и k_1 .

Полученное решение следует рассматривать в качестве первого приближения, так как оно основано на линейной зависимости для f . В действительности функцию f необходимо рассматривать нелинейной. Параметр $S = a \cdot v$ зависит от схемы процесса резания.

При радиальном точении толщина среза a определяется из соотношения $\tau = \frac{a}{S_{рад}} = \frac{\pi \cdot D}{V}$, откуда

$$a = \pi \cdot D \cdot \frac{S_{рад}}{V}, \quad (12)$$

где τ - время одного вращения обрабатываемой детали; D - диаметр детали; V - скорость резания; $S_{рад}$ - скорость радиальной подачи.

Подставим (12) в (4)

$$P_y = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f^2 \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{S_{рад}}{V}. \quad (13)$$

Предположим, коэффициент трения f не зависит от скорости (т.е. отсутствует падающий участок характеристики трения), а фактическая скорость радиальной подачи $S_{рад}$ с учетом скорости колебаний резца \dot{y} равна $S_{рад} + \dot{y}$ (при движении резца в положительном направлении оси y , рис.1). Тогда

$$P_y = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f^2 \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{(S_{рад} + \dot{y})}{V}. \quad (14)$$

Подставим (14) в уравнение (1), исключая слагаемые, определяющие статическое равновесие системы

$$m \cdot \ddot{y} + \left(2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f^2 \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{1}{V} + k_1 \right) \cdot \dot{y} + c \cdot y = 0. \quad (15)$$

В данном случае коэффициент при переменной \dot{y} положительный. Следовательно, система совершает затухающие колебания. Из этого можно сделать вывод, что толщина среза за счет периодического изменения скорости радиальной подачи не является источником возбуждения незатухающих колебаний. Из зависимости (13) следует, что с увеличением скорости резания V радиальная составляющая силы резания P_y уменьшается. Это, по сути, аналогично падающему участку характеристики трения, который является источником возникновения в системы автоколебаний.

С учетом колебаний резца со скоростью \dot{z} в тангенциальном направлении, т.е. в направлении оси z , радиальная P_y и тангенциальная составляющие силы резания опишутся

$$P_y = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f^2 \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{S_{рад}}{(V + \dot{z})}, \quad (16)$$

$$P_z = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{S_{рад}}{(V + \dot{z})}. \quad (17)$$

Оценим возможности возникновения незатухающих колебаний в направлении оси z под действием переменной силы P_z , которую представим в виде

$$P_z = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{S_{рад}}{V} \cdot \left[1 - \left(\frac{\dot{z}}{V} \right) + \left(\frac{\dot{z}}{V} \right)^2 - \left(\frac{\dot{z}}{V} \right)^3 + \dots \right]. \quad (18)$$

Характер колебаний в направлении оси z описывается дифференциальным уравнением (1), рассматривая в нем вместо переменной y переменную z , а вместо P_y -силу P_z . Исключая из уравнения слагаемые, определяющие статическое равновесие системы, получим

$$m \cdot \ddot{y} + \left(\frac{-P_{z_1}}{V} + k_1 \right) \cdot \dot{z} + \frac{P_{z_1}}{V^2} \cdot z^2 - \frac{P_{z_1}}{V^3} \cdot z^3 + c \cdot z = 0, \quad (19)$$

где $P_{z_1} = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{S_{рад}}{V}$.

При $\left(-\frac{P_{z_1}}{V} + k_1 \right) < 0$ система находится в неустойчивом состоянии – совершает автоколебания. Это обусловлено нелинейностью дифференциального уравнения (19). Таким образом, изменение толщины среза может возбудить незатухающие колебания резца в тангенциальном направлении. Определим амплитуду установившихся колебаний A_1 , используя метод энергетического баланса и, предполагая, что система совершает гармонические колебания

$$z = A_1 \cdot \sin kt, \quad (20)$$

где k - собственная частота системы.

Подставим $\dot{z} = A_1 \cdot k \cdot \cos kt$ при $\tau = 0$ в уравнение

$$\left(\frac{-P_{z_1}}{V} + k_1 \right) \cdot \dot{z} + \frac{P_{z_1}}{V^2} \cdot z^2 - \frac{P_{z_1}}{V^3} \cdot z^3 = 0. \quad (21)$$

Ограничиваясь первыми двумя слагаемыми в (21), в первом приближении получим

$$A_1 = \frac{1}{k} \left(V - \frac{k_1 \cdot V^2}{P_{z_1}} \right) = \frac{1}{k} \left(V - \frac{k_1 \cdot V^3}{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot S_{рад}} \right). \quad (22)$$

Уменьшить A_1 можно увеличением k , k_1 и уменьшением P_{z_1} путем уменьшения f , v , D , $S_{рад}$. С изменением скорости резания V амплитуда колебаний A_1 изменяется по экстремальной зависимости. Экстремальные значения V и A_1 равны:

$$V_{экстр} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot S_{рад}}{3 \cdot k_1}}, \quad (23)$$

$$A_{1экстр} = \frac{2}{3 \cdot k_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot f \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot S_{рад}}{3 \cdot k_1}}. \quad (24)$$

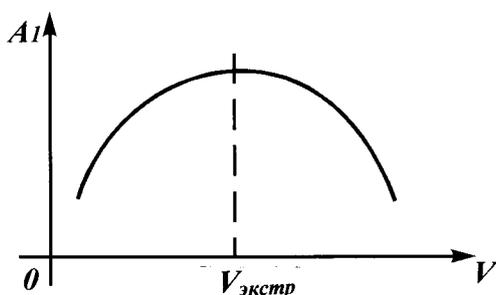


Рис.2. Зависимость A_1 от V .

Вторая производная функции A_1 по V в точке экстремума $V = V_{экстр}$ отрицательна, следовательно, имеет место максимум функций A_1 , рис.2. Уменьшить A_1 можно уменьшением ($V < V_{экстр}$) и увеличением ($V > V_{экстр}$) скорости резания V . Решение получено для переднего угла инструмента $\gamma = 0^\circ$. Если $\gamma \neq 0^\circ$, то, имеем

$$V_{экстр} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \text{tg}(\varphi - \gamma) \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot S_{рад}}{3 \cdot k_1}}, \quad (25)$$

$$A_{1экстр} = \frac{2}{3 \cdot k_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \text{tg}(\varphi - \gamma) \cdot v \cdot \pi \cdot D \cdot S_{рад}}{3 \cdot k_1}}. \quad (26)$$

Чем больше угол φ и меньше угол γ , тем больше $V_{экстр}$ и $A_{1экстр}$. При отрицательном переднем угле инструмента γ с его увеличением параметры $V_{экстр}$ и $A_{1экстр}$ неограниченно увеличиваются, т. к. $\text{tg}(\varphi + \gamma) \rightarrow \infty$. Следовательно, при резании необходимо уменьшать угол $(\varphi - \gamma)$ путем уменьшения коэффициента трения на

передней поверхности инструмента f (угла трения φ) и увеличения положительного переднего угла γ (в том числе регулируя степень затупления лезвия инструмента).

Рассмотрим условия возникновения колебаний при шлифовании. Тангенциальная составляющая силы резания P_z с учетом (3) определяется

$$P_z = \sigma \cdot S_{\text{сумм}} = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{Q}{V_{\text{кр}}}, \quad (27)$$

где Q – производительность шлифования, м³/с; $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, м/с.

При круглом шлифовании периферией круга производительность Q равна

$$Q = S_0 \cdot V_{\text{дет}} \cdot t,$$

где S_0 – предельная подача, м/об (ширина шлифования, м), $V_{\text{дет}}$ – скорость детали, м/с, t – глубина шлифования, м.

При условии возникновения колебаний в тангенциальном направлении со скоростью \dot{z} могут измениться фактические значения скоростей детали ($V_{\text{дет}} + \dot{z}$) и круга ($V_{\text{кр}} + \dot{z}$). Зависимость (27) примет вид

$$P_z = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{S_0 \cdot t \cdot (V_{\text{дет}} + \dot{z})}{(V_{\text{кр}} + \dot{z})}. \quad (28)$$

Как показано выше, изменение скорости, стоящей в числителе, не приводит к возбуждению незатухающих колебаний. Автоколебания могут возникнуть в связи с изменением знаменателя ($V_{\text{кр}} + \dot{z}$). По аналогии с решением (18)-(24), экстремальные значения скорости круга $V_{\text{крэстр}}$ и амплитуды автоколебаний $A_{1\text{эстр}}$ опишутся

$$V_{\text{крэстр}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{S_0 \cdot t \cdot V_{\text{дет}}}{3 \cdot k_1}}, \quad (29)$$

$$A_{1\text{эстр}} = \frac{2}{3 \cdot k} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{S_0 \cdot t \cdot V_{\text{дет}}}{3 \cdot k_1}}. \quad (30)$$

Уменьшить $A_{1\text{эстр}}$ можно увеличением собственной частоты системы k , коэффициента сопротивления k_1 , коэффициента резания $K_{\text{рез}}$ и уменьшением производительности обработки $Q = S_0 \cdot V_{\text{дет}} \cdot t$. Коэффициент резания $K_{\text{рез}}$ при шлифовании описывается [1]

$$K_{\text{рез}} = 3 \sqrt{2 \cdot \frac{a}{\rho} \cdot \frac{\tau_{\text{сдв}}}{HV}}, \quad (31)$$

где a – толщина среза отдельным зерном круга, м; ρ – радиус округления вершины режущего зерна, м; $\tau_{\text{сдв}}$, HV – соответственно предел прочности на сдвиг и твердость (по Виккерсу) обрабатываемого материала, н/м².

Увеличить $K_{\text{рез}}$ можно увеличением a и уменьшением ρ . Однако, увеличение a предполагает увеличения производительности шлифования, что нежелательно с точки зрения уменьшения амплитуды автоколебаний. Следовательно, необходимо уменьшать радиус округления вершины зерна ρ , например, принудительно удаляя с поверхности круга затупившиеся зерна (методом правки круга); применяя в качестве абразива синтетические сверхтвердые материалы (СТМ), обладающие высокой остротой режущих кромок, а также применяя относительно мягкие связки круга, исключающие затупление режущих зерен в связи с низкой прочностью удержания их в круге; эффективные технологические среды, обеспечивающие повышение режущей способности круга за счет уменьшения предельных значений a/ρ , при которых начинается процесс резания.

Для сталей справедливо условие $\sigma_{\text{сж}} \approx 2 \cdot \tau_{\text{сдв}}$. Следовательно, амплитуда автоколебаний тем больше, чем больше предел прочности на сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ и твердость HV обрабатываемого материала. Этим объясняется, установленный на практике, более высокий уровень колебаний (вибраций) при шлифовании труднообрабатываемых материалов, характеризующихся увеличенными значениями $\sigma_{\text{сж}}$ и HV .

Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.

УДК 621.923.018

ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТВЕРДЫХ СМАЗОК ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Якимов А.В., докт. техн. наук, Винникова В.И.

(г. Одесса, Украина)

The application of derivatives of greasy acids is justified as greasings for want of grinding titanic of alloys.

Важнейшими причинами плохой обрабатываемости титановых сплавов шлифованием являются низкая теплопроводность и высокая адгезивность сплавов к абразивному материалу. Последнее свойство приводит к тому, что происходит взаимный перенос материала детали и абразива, значительно ухудшающий состояние поверхностного слоя контактирующей пары.

Кроме того, при абразивной обработке любого металла в его поверхностном слое возникают напряжения, которые в большей части случаев являются нежелательными.

Все методы борьбы с названными отрицательными факторами - подбор инертных абразивов, изменение режимов обработки, выбор СОЖ с пассивирующими добавками - направлены на ослабление взаимодействия абразива с титановыми сплавами.

Применение высоко-теплоемких, с хорошими адгезивными и смазывающими свойствами веществ также должно положительно влиять на процесс абразивной обработки титановых сплавов.

Для подтверждения этого качества смазывающе -охлаждающих твердых веществ /СОТВ/ были взяты производные жирных кислот.

Исследования проводились на плоскошлифовальном станке мод.3771. В качестве абразивного материала использовались круги марки 63С25СМ16К5. Обработке подвергались титановые сплавы ВТЗ-1. Шлифовались образцы $30 \times 5 \text{ мм}^2$ на режимах: $V_{кр} = 30 \text{ м/с}$, $V_g = 0,11 \text{ м/с}$, $t = 0,02 \cdot 10^2 \text{ м}$, без поперечной подачи (врезное шлифование). Было проведено сравнительное шлифование образцов всухую и с СОТВ.

При рентгеноструктурных исследованиях сравнивалось структурно - фазовое состояние материала обработанных поверхностей, шлифованных с содовым раствором и с СОТВ. СОТВ отливало в виде бруска. Брусок периодически прижимался к кругу в процессе шлифования.

Эксперименты показали следующие результаты. Мощность резания при шлифовании всухую равнялась 74 Вт/мм, а при шлифовании с СОТВ - 52 Вт/мм. Износ круга при одинаковом съеме металла составил соответственно 293 и 127 мм³. Шероховатость поверхности образцов, шлифованных всухую не превышала $R_a = 0,97 \text{ мкм}$, а с применением СОТВ $R_a = 0,48 \text{ мкм}$.

Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-3М на $FeK\alpha$, излучении по линиям /101/ и /110/. Разница между тонковыхоженным образцом (эталоном, в котором в результате выхаживания произошли минимальные изменения структурно-фазового состояния по сравнению с заданными термообработкой) и образцом, шлифованным с СОТВ, как по количеству α и β фазы, так и по уширению линий (наличие которого говорит об изменении структурного состояния в тонких поверхностных слоях) незначительна - в пределах 5-10 %. В то же время шлифование с содовым раствором привело к заметным изменениям фазово - структурного состояния поверхностного слоя - 15-20 %. Механизм действия СОТВ заключается в том, что обладая высокой теплоемкостью и адгезивностью к абразивному материалу и металлу, оно, расплавляясь и обволакивая поверхность детали, стружку и абразивные зерна тонкой и прочной пленкой, интенсивно отнимает от них тепло и препятствует их схватыванию.

Применение нового СОТВ позволило:

1. снизить мощность шлифования в 1,4 раза,
2. уменьшить износ круга в 2,3 раза.
3. улучшить шероховатость в 2,0 раза
4. проводить процесс шлифования без фазово-структурных изменений поверхностного слоя металла.

УДК 621.923

МЕХАНИКА ВНУТРЕННЕГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Фадеев В.А., канд. техн. наук, Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Are conducted idealized and experimental researches on installation of intercoupling of processing capacity and value of elastic moving(movement) at internal diamond grinding.

При внутреннем алмазном шлифовании, когда производится съем относительно небольших припусков, соизмеримых с величиной упругого перемещения элементов технологической системы, может иметь место существенное различие между фактической и номинальной производительностями обработки. Для того чтобы приблизить фактическую и номинальную производительности обработки, рассмотрим на первом этапе баланс уп-

ругих перемещений в технологической системе при шлифовании прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга.

Под действием радиальной составляющей силы резания P_y происходят упругие перемещения элементов технологической системы y . В общем виде

$$y = V'_{дем} \cdot \tau - \int \bar{V}'_{дем} \cdot d\tau, \quad (1)$$

где τ - время обработки, с; $V'_{дем}$ и $\bar{V}'_{дем}$ - номинальная и фактическая скорости съема материала, м/с.

При работе круга в режиме самозатачивания процесс шлифования стабилизируется во времени и величина y принимает постоянное значение. Фактический съем материала, определяемый вторым слагаемым в зависимости (1), меньше номинального съема, устанавливаемого по лимбу станка и определяемого первым слагаемым.

При работе круга в режиме затупления величина y переменна во времени (непрерывно увеличивается). Это обусловлено более интенсивным увеличением первого слагаемого в (1).

При внутреннем шлифовании твердого сплава ВК15 алмазным кругом на керамической связке К1 производительность обработки Q первоначально уменьшается, затем стабилизируется во времени, рис. 1.

Исходя из зависимости (1), это связано с тем, что в начальный период времени первое слагаемое больше второго. Через 4 минуты работы круга разность первого и второго слагаемого принимает постоянное значение. Разность $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ соответственно при $\tau_1 = 2$ мин. и $\tau_2 = 4$ мин. определяет величину y . При поперечной подаче $S_{non} = 0,1$ мм/мин - $\Delta Q = 60$ мм³/мин, при $S_{non} = 0,2$ мм/мин - $\Delta Q = 65$ мм³/мин, при $S_{non} = 0,3$ мм/мин - $\Delta Q = 150$ мм³/мин, т.е. с увеличением S_{non} параметры ΔQ и y увеличиваются.

Представим (1) в упрощенном виде с учетом $V'_{дем} = V_{дем} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}} \right)}$ (где $V_{дем}$ - скорость детали при внутреннем шлифовании, м/с; t - номинальная глубина шлифования, м; $R_{кр}, R_{дем}$ - соответственно радиусы круга и детали, м):

$$y = V_{дем} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho} \cdot \tau \cdot \left(\sqrt{t} - \sqrt{t_\phi} \right), \quad (2)$$

где t_ϕ - фактическая глубина шлифования, м; $\rho = \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}} \right)$.

В работе [1] приведены зависимости для определения P_y

$$P_y = \frac{\pi \cdot t g \gamma \cdot HV}{(1 - \eta)} \cdot \frac{B \cdot V_{дем} \cdot t}{V_{кр}}, \quad (3)$$

$$P_y = \frac{B \cdot m \cdot P_{y1}^{1,5}}{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3} \cdot \left(\frac{2 \cdot t}{\pi \cdot HV \cdot \rho} \right)^{0,5}. \quad (4)$$

где \bar{x} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен в круге; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с; γ - половина угла при вершине конусообразного зерна; B - ширина шлифования, м; HV - твердость обрабатываемого материала, н/м²; η - безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерна круга (изменяется в пределах 0...1); P_{y1} - радиальная составляющая силы резания, действующей на отдельное зерно круга, н.

Подставим (2) в (4), рассматривая параметр t как фактическую глубину шлифования t_ϕ , а $P_y = c \cdot y$, тогда

$$\frac{1,42 \cdot V_{дем} \cdot \rho \cdot \tau}{c} \cdot \left(\sqrt{\frac{t}{t_\phi}} - 1 \right) = \frac{m \cdot P_{y1}^{1,5} \cdot B}{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3} \cdot \left(\frac{2}{\pi \cdot HV} \right)^{0,5}, \quad (5)$$

где c - приведенная жесткость системы, н/м.

Сила P_{y1} при фиксированном значении τ зависит от соотношения t/t_ϕ . Сила P_{y1} тем больше, чем больше t/t_ϕ . Фактическая производительность обработки Q_ϕ определяется параметром t_ϕ :

$$Q_\phi = 2 \cdot R_{дем} \cdot S_{np} \cdot t_\phi, \quad (6)$$

где S_{np} - скорость продольной подачи, м/с.

Исходя из рис.1, можно принять что при $\tau = 2$ мин. фактическое и номинальное значения t_ϕ и t равны. Тогда при $\tau = 2$ мин. отношение $t/t_\phi = 1$. При $\tau = 4$ мин отношение t/t_ϕ определяется отношением производитель-

ности обработки при $\tau = 2$ мин. и $\tau = 4$ мин. и равно 1,39. За две минуты шлифования отношение t/t_ϕ уве-

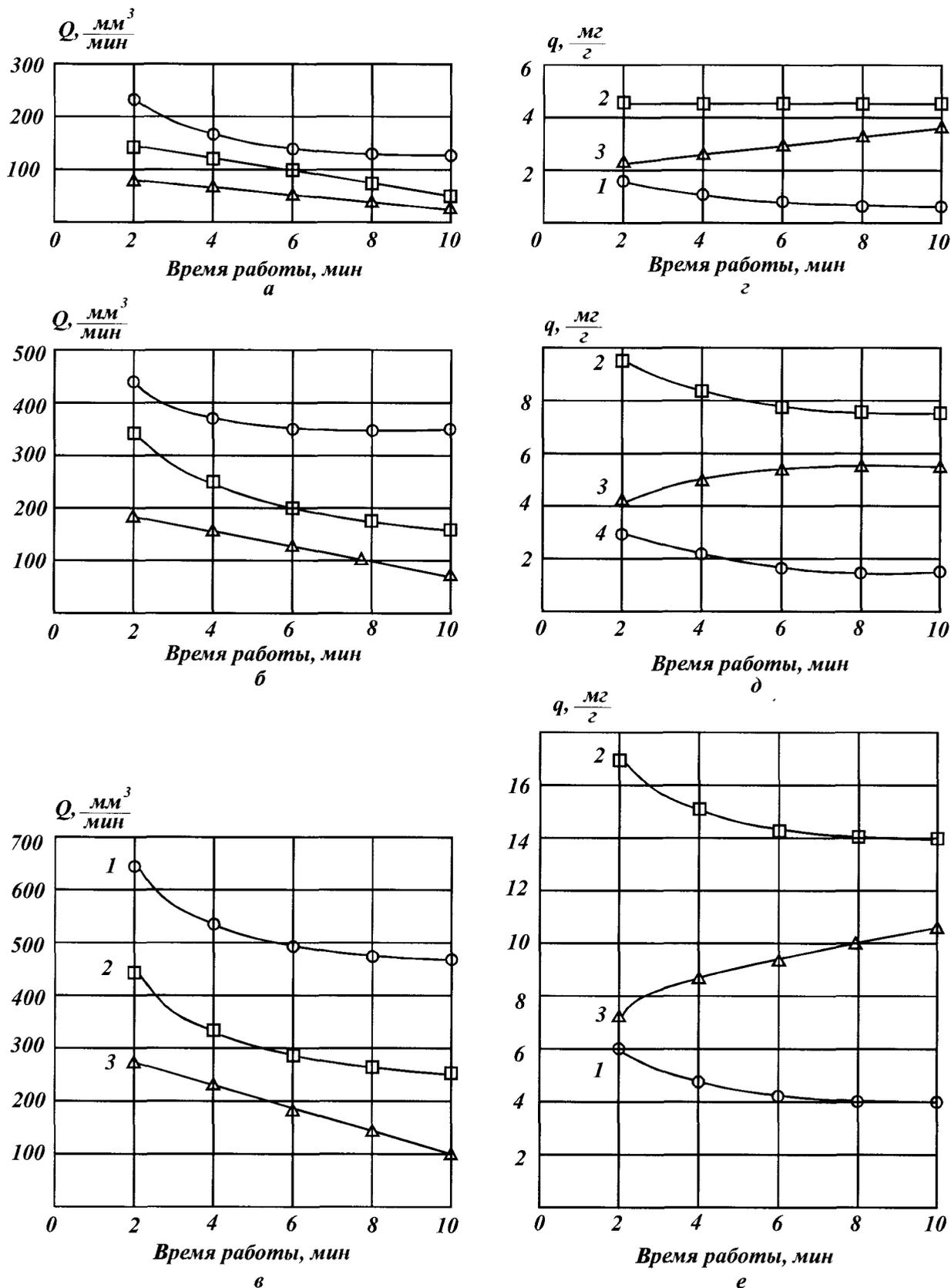


Рис.1. Зависимости производительности обработки Q и удельного расхода алмаза q от времени работы: а, г - $S_{\text{нон}} = 0,1$ мм/мин; б, д - $S_{\text{нон}} = 0,2$ мм/мин; в, е - $S_{\text{нон}} = 0,3$ мм/мин;

1 – алмазный круг АС6 160/125 К1 – 100%; 2 – АС6 160/125 Б1 – 100%; 3 – АС6 160/125 М2-01 – 100%;

$V_{\text{кр}} = 23$ м/с; $V_{\text{дет}} = 60$ м/мин; $S_{\text{пр}} = 3$ м/мин.

личилось в 1,39 раз. Согласно зависимости (5), это ведет к увеличению силы P_{y1} .

Определим характер изменения безразмерного коэффициента η в соответствии с зависимостью (3), рассматривая параметр t как t_ϕ . С учетом (2) зависимость (3) примет вид

$$\frac{1,42 \cdot \rho \cdot \tau}{c \cdot \sqrt{t_\phi}} \cdot \left(\sqrt{\frac{t}{t_\phi}} - 1 \right) = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}{(1-\eta)} \cdot \frac{S_{np}}{V_{кр}}. \quad (7)$$

С увеличением τ параметр t_ϕ уменьшается. Это ведет к увеличению η , что свидетельствует об увеличении степени затупления зерен. Согласно зависимостям (3) и (4), при $\tau > 4$ мин. (рис.1) параметры P_{y1} и η с течением времени обработки остаются постоянными в связи со стабилизацией параметров ΔQ и y . Технологическая система принимает равновесное состояние в результате работы круга в режиме самозатачивания.

Принимая за начало отсчета номинальной глубины шлифования t значение, соответствующее $\tau = 2$ мин., определим параметры P_{y1} и η для $\tau = 10$ мин. Для $S_{non} = 0,1$ мм/мин. значения Q и Q_ϕ соответственно равны: 250 и 180 мм³/мин, а $t/t_\phi = Q/Q_\phi = 1,39$. Для $S_{non} = 0,2$ мм/мин значения Q и Q_ϕ равны: 450 и 370 мм³/мин; $t/t_\phi = 1,2$. Для $S_{non} = 0,3$ мм/мин. значения Q и Q_ϕ равны: 650 и 500 мм³/мин; $t/t_\phi = 1,3$.

С учетом зависимости (7) величина $\frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \left(\sqrt{\frac{t}{t_\phi}} - 1 \right)$ для $S_{non} = 0,1$ мм/мин. равна 0,013 (рассматривая вместо t_ϕ параметр Q_ϕ). Для $S_{non} = 0,2$ мм /мин – 0,005; для $S_{non} = 0,3$ мм /мин – 0,006. Следовательно, с увеличением S_{non} наблюдается тенденция к увеличению величины $(1-\eta)$ и уменьшению η . Это указывает на уменьшение степени затупления зерна до момента его выпадения из связки, что согласуется с экспериментальными данными. При внутреннем шлифовании алмазным кругом на органической связке Б1 производительность обработки во времени непрерывно уменьшается (рис.1) за счет работы круга в режиме затупления. Исходя из зависимости (1), это ведет к увеличению величины η . а исходя из зависимости (5), - к увеличению силы P_{y1} , действующей на зерно круга. С течением времени обработки параметр t_ϕ уменьшается. Следовательно, величина $\frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \left(\sqrt{\frac{t}{t_\phi}} - 1 \right)$ и безразмерный параметр η в соответствии с зависимостью (7), увеличивается. Этим обусловлено увеличение силы P_{y1} , величины упругого перемещения η и уменьшение производительности обработки.

Данная закономерность наблюдается для всех значений S_{non} . Разность ΔQ за 8 минут шлифования для $S_{non} = 0,1$ мм/мин. равна 80 мм³/мин., для $S_{non} = 0,2$ мм/мин.-170 мм³/мин., для $S_{non} = 0,3$ мм/мин. - 200 мм³/мин., т.е. с увеличением S_{non} разность ΔQ и соответственно y увеличиваются.

Для $S_{non} = 0,1$ мм /мин. значения Q и Q_ϕ соответственно равны 150 и 70 мм³/мин., для $S_{non} = 0,2$ мм /мин. - 340 и 180 мм³/мин., для $S_{non} = 0,3$ мм /мин., - 470 и 260 мм³/мин. Тогда для $S_{non} = 0,1$ мм/мин. отношение $t/t_\phi = 2,14$, для $S_{non} = 0,2$ мм/мин. - $t/t_\phi = 1,88$, для $S_{non} = 0,3$ мм/мин. - $t/t_\phi = 1,8$. Следовательно, с увеличением S_{non} в результате уменьшения соотношения t/t_ϕ сила P_{y1} , согласно зависимости (5), уменьшается.

Величина $\frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \left(\sqrt{\frac{t}{t_\phi}} - 1 \right) \sim \frac{1}{\sqrt{Q}} \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{Q_\phi}} - 1 \right)$ для $S_{non} = 0,1$ мм/мин. равна 0,055, для $S_{non} = 0,2$ мм/мин. - 0,026, для $S_{non} = 0,3$ мм/мин. – 0,02. Исходя из зависимости (7), это ведет к уменьшению η , т.е. рост Q_ϕ с увеличением S_{non} происходит вследствие уменьшения η .

Сравним значения P_{y1} и η для различных связок алмазных кругов ($S_{non} = 0,3$ мм/мин., $\tau = 10$ мин). Для алмазного круга на керамической связке значения Q и Q_ϕ соответственно равны: 650 и 500 мм³/мин.; $t/t_\phi = 1,3$; $\frac{1}{\sqrt{Q}} \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{Q_\phi}} - 1 \right) = 0,006$. Для алмазного круга на органической связке значения Q и Q_ϕ равны: 470 и 260

мм³/мин.; $t/t_\phi = 1,8$; $\frac{1}{\sqrt{Q}} \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{Q_\phi}} - 1 \right) = 0,02$. Для алмазного круга на металлической связке значения Q и

Q_ϕ равны: 290 и 120 мм³/мин.; $t/t_\phi = 2,4$; $\frac{1}{\sqrt{Q}} \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{Q_\phi}} - 1 \right) = 0,05$. Исходя из зависимости (5), с увеличением

соотношения t/t_ϕ сила увеличивается. Следовательно, наибольшая сила P_{y1} достигается при шлифовании алмазным кругом на металлической связке, а наименьшая – при шлифовании алмазным кругом на керамической связке. Металлическая связка обеспечивает наибольшую прочность удержания зерен, чем и обусловлены увеличенные значения параметров P_{y1} и η и низкая производительность обработки.

Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.
2. Фадеев В.А. Алмазное шлифование твердых сплавов с введением в зону резания дополнительной энергии постоянного тока. – Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Харьков, 1995. - 21с.

УДК 621.923

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Кривошапка Ю.Н., канд. экон. наук

(г. Харьков, Украина)

In activity the technique of calculation of optimum regimes of cutting is given. The analysis of pathes(routes) of cost reduction and increase of processing capacity is conducted.

Снижение себестоимости и увеличение производительности труда при металлообработке являются важнейшими условиями создания конкурентноспособной машиностроительной продукции. Большое значение при этом имеет правильный выбор оптимальных характеристик режущих инструментов и режимов резания. Для решения задачи расчета экономически выгодных режимов резания проанализируем первоначально связь основополагающего показателя обработки – стойкости режущего инструмента с производительностью процесса резания.

Используя результаты многофакторного планирования эксперимента, в работе [1] получена зависимость для определения стойкости режущего инструмента T

$$T = \frac{C_4}{V_{рез}^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}, \quad (1)$$

где C_4 , m_1 , q , p – постоянные для определённых условий обработки; t – глубина резания; S – продольная подача за одно вращение детали; $m_1 > q > p$; $m_1 > 1$.

Произведение tS при продольной точении равно площади поперечного сечения среза S_0 , производительность обработки Q равна $Q_{уд} = V_{рез} \cdot S_0 = V_{рез} \cdot t \cdot S$, тогда

$$T = \frac{C_4}{V_{рез}^{m_1-p} \cdot t^{q-p} \cdot Q^p}. \quad (2)$$

Разрешая (2) относительно Q , имеем

$$Q = \left(\frac{C_4 \cdot t^{q-p}}{V_{рез}^{m_1-p} \cdot T} \right)^{\frac{1}{p}}. \quad (3)$$

Увеличить Q при $T = const$ можно уменьшить скорости резания $V_{рез}$ и увеличением глубины резания t . Параметр t влияет на Q значительно меньше, чем $V_{рез}$. Следовательно, основным условием повышения Q необходимо рассматривать уменьшение $V_{рез}$. Однако, это приведёт к увеличению площади поперечного сечения среза

$S_0 = \frac{Q}{V_{рез}}$, которая связана с толщиной a и шириной среза b соотношением $S_0 = a \cdot b$. Так как толщина среза a

ограничена прочностью инструмента, увеличить S_0 можно за счёт увеличения ширины среза $b = \frac{t}{\sin \varphi}$ (где

φ – угол резца в плане), то есть за счёт увеличения глубины резания t . Исходя из этого, глубина резания t , должна принимать максимально возможное значение, равное в пределе величине снимаемого припуска. Зная t , опре-

деляется ширина среза $b = \frac{t}{\sin \varphi}$ и площадь поперечного среза $S_0 = a \cdot b = \frac{t \cdot a}{\sin \varphi}$, где толщина среза a определя-

ется из условия обеспечивается прочностью инструмента. Представляя зависимость (1) в виде

$$T = \frac{C_4 \cdot t^{q-p}}{V_{рез}^{m_1} \cdot S_0^p}, \quad (4)$$

для заданных значений T , C_4 , T , S_0 из (4) определяется скорость резания $V_{рез}$:

$$V_{рез} = \left(\frac{C_4 \cdot t^{q-p}}{T \cdot S_0^p} \right)^{\frac{1}{m_1}}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в зависимость (3), определяется максимально возможная производительность обработки Q :

$$Q = \left(\frac{C_4 \cdot t^{q-p}}{T} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot S_0^{1-\frac{p}{m_1}}. \quad (6)$$

С учётом $S_0 = \frac{t \cdot a}{\sin \varphi}$ окончательно имеем:

$$Q = \left(\frac{C_4}{T} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot t^{1-\frac{q}{m_1}} \cdot \left(\frac{a}{\sin \varphi} \right)^{1-\frac{p}{m_1}}. \quad (7)$$

Производительность обработки Q тем больше, чем больше параметры t , a и меньше T , φ . Учитывая то, что $T \approx 1/Q$, эффективно обработку вести с максимально возможной температурой резания.

Подача S выбирается из условия $S = S_0/t$.

Важнейшим показателем процесса резания является объём снятого материала $\mathcal{A} = Q \cdot t$ за период стойкости инструмента T . С учётом зависимости (7), имеем

$$\mathcal{A} = C_4^{\frac{1}{m_1}} \cdot T^{1-\frac{1}{m_1}} \cdot t^{1-\frac{q}{m_1}} \cdot \left(\frac{a}{\sin \varphi} \right)^{1-\frac{p}{m_1}}. \quad (8)$$

Увеличить \mathcal{A} можно увеличением стойкости инструмента T , что равносильно увеличению скорости резания $V_{рез}$, исходя из зависимости (5), и уменьшению производительности обработки Q , исходя из зависимости (7).

Учитывая противоположное влияние стойкости инструмента T на \mathcal{A} и Q , рассмотрим себестоимость обработки C , включающую две изменяющихся статьи затрат, связанные с заработной платой рабочего и стоимостью инструментов, необходимых для обработки N деталей (суммарного съёма материала объёмом \mathcal{A}_0). Количество инструментов, необходимых для суммарного съёма материала объёмом \mathcal{A}_0 , равно

$$n = \frac{\mathcal{A}_0}{\mathcal{A}}, \quad (9)$$

где \mathcal{A} — объём материала, снимаемый одним инструментом за период его стойкости.

Тогда

$$C = n \cdot T \cdot \mathcal{Z}_{\text{час}} \cdot k + n \cdot \mathcal{C}, \quad (10)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{час}}$ — часовая тарифная ставка рабочего;

k — коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на заработную плату рабочего;

\mathcal{C} — цена инструмента.

После преобразований зависимость (10) примет вид

$$C = \frac{\mathcal{A}_0 \cdot T^{m_1} \cdot \mathcal{Z}_{\text{час}} \cdot k}{C_4^{\frac{1}{m_1}} \cdot t^{1-\frac{q}{m_1}} \cdot \left(\frac{a}{\sin \varphi} \right)^{1-\frac{p}{m_1}}} + \frac{\mathcal{A}_0 \cdot \mathcal{C}}{C_4^{\frac{1}{m_1}} \cdot T^{1-\frac{1}{m_1}} \cdot t^{1-\frac{q}{m_1}} \cdot \left(\frac{a}{\sin \varphi} \right)^{1-\frac{p}{m_1}}}. \quad (11)$$

Как видим, стойкость режущего инструмента T неоднозначно влияет на себестоимость обработки C . Существует экстремальное значение T . Для его определения про дифференцируем функцию C по T и полученное выражение примем равным нулю, т. е. применим необходимое условие существования экстремума (минимума). В результате, имеем:

$$T = \frac{\mathcal{C} \cdot (m-1)}{\mathcal{Z}_{\text{час}} \cdot k}. \quad (12)$$

Как видим, оптимальная стойкость инструмента T не зависит от режимов резания, а определяется экономи-

ческими параметрами C , $Z_{\text{дв}}$, k и показателем степени m , обусловленным свойствами инструментального и обрабатываемого материалов.

Минимальное значение себестоимости обработки C определяется путём подстановки в зависимость (11) выражения (12). Поскольку оптимальное значение T не зависит от режимов резания, то характер влияния параметров t , a , φ на минимальное значение C определяется зависимостью (11). Уменьшить C_{min} можно увеличением t и a .

Литература

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 343с.
2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.

УДК 533.9:534.1

КОНДЕНСАЦИЯ ИОННАЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ (КИНТ)

Завалеев В.А., Романов А.А., Толлок В.Т.

(г. Харьков, Украина)

In activity the condensation ionic cold (CIC) is reviewed

Для чего нужна эта технология. В настоящее время сокращаются мировые запасы легирующих металлов, входящих в сплавы с высокими физико-механическими свойствами. Многие из этих металлов начинают переходить в разряд редких и очень дорогих (вольфрам, молибден, кобальт, хром и др.). Машины различного назначения существенно дорожают и теряют свою конкурентность. Единственным выходом из этого тупикового положения является нанесение очень тонких (0,1-5 мкм) износостойких покрытий на рабочие поверхности деталей, выполненных из дешевых материалов. Износостойкость подобных деталей оказывается даже более высокой, чем изготовленных из дорогих сплавов. Существенно уменьшается стоимость машин. Основной технологический процесс изготовления деталей остается неизменным. Добавляется только процесс нанесения покрытия, а малая его толщина не требует изменения величины допусков на размеры деталей. Эффект от тонкопленочного упрочнения можно значительно увеличить путем использования многослойных покрытий, состоящих из ряда чередующихся высокопрочных слоёв. Становится экономически выгодным использование в массовом производстве редких и дорогих металлов, так как расход упрочняющего материала ничтожно мал. Целый ряд высокопрочных покрытий можно получить из дешевых исходных материалов - углерода, железа и т.п.

Главная особенность тонкопленочного упрочнения состоит в том, что положительный эффект может быть получен только с покрытиями, обладающими очень высокими физическими (прочностными) свойствами. В полной мере этому требованию не отвечает ни один из традиционных способов получения покрытий. Развитие столь перспективного направления тормозилось отсутствием технологий и оборудования, пригодных для нанесения покрытий с нужными свойствами. Положение усугублялось тем, что практически отсутствовали стандартные приборы для контроля свойств очень тонких покрытий, от которых зависит работоспособность упрочненных деталей (величины адгезии и изменения её величины со временем и под нагрузкой, изменения прочности ("старения") материала покрытия со временем, микроусталостной прочности).

В 1970 г. в Харьковском Физико-Техническом институте был разработан принципиально новый способ и установка для получения покрытий в промышленных условиях (конденсация с ионной бомбардировкой - КИБ и, существенно улучшенный его вариант, - конденсация ионная низкотемпературная - КИНТ). Как показали многочисленные испытания в производственных условиях на предприятиях различных отраслей машиностроения, только покрытия изготовленные по технологии КИНТ, обладают в полной мере свойствами, необходимыми для осуществления тонкопленочного упрочнения деталей, а новые приборы для оперативного контроля свойств покрытий позволяют гарантировать постоянство результатов и стабильность свойств деталей во времени.

В своих исследованиях основное внимание мы обращали на разработку приемов работы, которые бы исключали возможность появления брака и позволили получать предельно высокое качество покрытий не зависимо от состояния технологической установки и квалификации её персонала. В результате этой работы созданы покрытия с очень высокими физико-механическими свойствами, стабильнее по свойствам во времени. Существенно сократилось время технологического процесса и затраты электрической энергии.

Почему не пригодны известные технологии. Существующие способы синтеза покрытий (термическое испарение, газофазное и плазмотронное осаждение, КИБ и др.) имеют ряд существенных недостатков, из-за которых они имеют ограниченные области применения:

- практически все твердые износостойкие покрытия подвержены старению (теряют свои свойства со временем);
- недостаточно высокие физико-механические свойства материала покрытия;
- при нанесении покрытия требуется разогрев поверхности деталей до 300~С и более, что недопустимо для многих конструкционных материалов;

Общая характеристика технологии. Процесс КИИТ предназначен для нанесения (синтеза) твердых, износостойких, защитных, декоративных и других видов покрытий на деталях машин и инструменте с целью улучшения их потребительских качеств. Процесс упрочнения ведется в вакууме при низкой (близкой к комнатной) температуре подложки. Покрытие наносится на уже готовые детали и даже сборки. Например, мы наносили износостойкое покрытие на полностью собранные стандартные магнитофонные головки. Так как процесс ведется при низкой (комнатной) температуре, можно упрочнять детали с большой массой, нагрев которых в вакууме при известных технологиях является проблемой. Например, на одном из заводов упрочняли штампы, имевшие вес более тонны. Для обработки штамп не помещали в вакуумную камеру, а устанавливали на камеру сверху (штамп служил крышкой вакуумной камеры).

В основе способа лежит электродуговое испарение материалов в вакууме с последующей конденсацией пара на поверхности деталей. При низкой температуре синтеза заторможены процессы диффузии, рекристаллизации, фазовых превращений и т.п., что полезно и важно при создании многослойных композиций, обладающих существенно лучшими свойствами.

Отметим некоторые достоинства конденсации ионной низкотемпературной (КИИТ):

- возможность получать покрытия, не изменяющие свои свойства во времени;
- низкая (комнатная) температура подложки при синтезе соединений;
- высокая энергия испаренных частиц (порядка 50-90 эв, вместо 0,1 эв при термических методах испарения) при возможности дополнительного их ускорения;
- высокая степень ионизации потока пара (более 90%);
- одномоментность начала и прекращения испарения при включении и выключении питания испарителя;
- возможность смешивать разнотипные ионы, каждый из которых имеет оптимальную энергию для синтеза нужных соединений;
- лёгкость испарения любых электропроводных материалов независимо от температуры их плавления;
- экологическая чистота процесса.

В настоящее время, основными достоинствами к установки для осуществления процесса КИИТ является: низкая стоимость, простота обслуживания и малое потребление энергии при достаточно высокой производительности. Эксплуатация показала, что одновременное использование нескольких небольших установок экономически более выгодно, чем одной специализированной, но большого размера. Установки рассчитаны на многочисленных потребителей, не имеющих средств для покупки дорогих устройств, однако желающих иметь перспективные современные технологические процессы (предполагается выпускать и сложные установки, например, для научных исследований).

Состояние работ по КИИТ. Исследования в основном были направлены на разработку приемов работы по получению базовых видов покрытий из различных материалов, из которых в дальнейшем могут создаваться многослойные композиции с заданными служебными свойствами для конкретных видов деталей и изделий. При этом получены материалы с уникальными свойствами, существенно превосходящие по своим параметрам существующие образцы. Частично определены области применения этих материалов. По новому способу были обработаны различные виды изделий, которые прошли испытания в промышленных условиях и показали высокие эксплуатационные свойства.

Развитие способов тонкоплёночного упрочнения деталей тормозилось отсутствием необходимых приборов и методик для контроля свойств очень тонких покрытий. В настоящее время такие методики и приборы разработаны (можно контролировать величину адгезии, микроусталостной прочности, стабильности свойств во времени и др.)

Испытания покрытий, полученных по технологии КИИТ, в промышленных условиях показали следующее (приведены только те случаи, когда использование покрытий, полученных по традиционным технологиям, не дало положительных результатов):

1. Неперетачиваемые метчики из углеродистой стали с покрытием КИИТ при нарезании резьбы в конструкционных сталях имели стойкость выше, чем метчики из более дорогой инструментальной стали Р6М5.
2. Упрочненные микросверла из стали Р6М5 при сверлении стеклотекстолита по стойкости были аналогичны твердосплавным, и не ломались при обработке.
3. При вибрационном сверлении сверхпрочного металла использовались сверла со вставками из специального очень дорогого твердого сплава. На сверление одного отверстия расходовалось одно сверло. После упрочнения сверл со вставками из стандартного недорогого твердого сплава ВК8, одним сверлом сверлилось более трех отверстий.
4. Направляющие ролики для канатонавигочной машины, в связи с отсутствием твердого сплава, были изготовлены из закаленной углеродистой инструментальной стали. Ролики вышли из строя за одну смену. Те же ролики, упрочненные высокопрочным нитридом титана, проработали более трех лет и ещё остаются работоспособными.
5. Аналогичное покрытие наносили на инструмент, выполненный из стали Р6М5, для горячей

- прессовки колец для подшипников. Увеличение стойкости инструмента составляло более 15 раз.
6. При точении высокопрочного вязкого сплава (черновое точение по корке) резцы из сплава ВК8 работали до поломки в среднем 2,5 мин. После упрочнения резцы из сплава ВК8 при увеличенной в два раза скорости резания работали более 60 мин, при этом вариационный разброс стойкости инструмента уменьшился с 200% до 10%. Отпала необходимость разбраковки твердосплавных пластин по качеству. Результаты были получены на стандартных, не очень качественных пластинах.
 7. При сверлении стеклотекстолита твердосплавными микросверлами, 90% сверл выходило из строя из-за поломки. После трехминутной обработки по КИНТ-технологии поломки сверл прекратились.
 8. На заводе, где обрабатывались очень крупные детали, в результате преждевременной поломки выходило из строя до 95% резцов. После аналогичной обработки резцов, поломки прекратились, и суммарная стойкость инструмента по заводу возросла в 2,5-3 раза (следует учитывать, что это были дорогие, большие по размеру резцы).
 9. Хорошие результаты получены при упрочнении высокоточных мерительных приспособлений. В связи с расширением производства, необходимо было увеличить выпуск этих приспособлений. Предполагалось строить новый инструментальный цех, но негде было брать рабочих инструментальщиков высшего разряда. Нанесение на сверхточные детали покрытий толщиной всего в 1 мкм увеличило их работоспособность в 8-20 раз, что позволило заводу не только не расширять производство, но даже уменьшить выпуск дефицитных приспособлений.
 10. "Холодные" покрытия на штампах, прессформах, металлических литейных формах и т.п. позволили значительно снизить их износ и уменьшить или исключить полностью налипание обрабатываемого материала. Покрытия одинаково пригодны как для холодного, так и для горячего прессования. Например, покрытие КИНТ наносили на штампы для горячего прессования деталей из титанового сплава; количество отштампованных деталей увеличилось всего в 1,2 раза. Преимущество состояло в том, что контрольные штампы снимали за время работы 100 раз для зачистки от налипшего металла, а штампы с покрытием проработали без остановок.
 11. Испытания покрытий с большой микроусталостной прочностью проводили на сверлах из быстрорежущей стали Р6М5К при сверлении камня (известняка). Наблюдалось увеличение стойкости сверл в 20-80 раз. Другие виды покрытий (КИБ, газозащитные) не показали при обработке этого материала никаких результатов.

Вывод: Способ КИНТ позволяет нетрадиционно подходить к решению многих проблем и сравнительно просто создавать материалы с уникальными физическими свойствами (покрытия для «безызносных» пар трения, эррозионно – кавитационностойкие, сверхпроводящие материалы, материалы с повышенной микроусталостной прочностью, с низким коэффициентом трения, сверхпрочные, жаростойкие, инструмент для обработки камня и бурения скважин и т.п.).

УДК 621.922

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА СТАНКАХ, РАБОТАЮЩИХ ПО МЕТОДУ ОБКАТА

Ларшин В.П., докт. техн. наук, Лищенко Н.В.

(г. Одесса, Украина)

Optimization of the stock to be removed distribution theoretical promises for the gear grinding stocks for machine tools working by rolling method.

Зубошлифование является одним из основных способов финишной обработки закаленных зубчатых колес. И производится либо по методу обката, либо по методу копирования. Известно, что особенностью станков, работающих по методу обката двумя тарельчатыми кругами (станки типа MAAG SD-32-X, HSS30BC, а также станки MC3 5851, 5851M и другие) является высокая точность обработки. Например, при обработке шестерен — сателлитов высокоскоростных авиационных редукторов получают степень точности 6-5-5-X. Высокая точность зубошлифования на указанных станках обусловлена тем, что конусовогнутая режущая поверхность шлифовальных тарельчатых кругов занимает при обработке неизменное осевое положение. Для этой цели используется специальный подналадочный механизм, который автоматически компенсирует износ шлифовальных кругов. Однако метод обката, в отличие от других методов обработки зубьев, отличается низкой производительностью и, кроме того, высокой теплонапряженностью.

Последнее усугубляется отсутствием охлаждения (шлифование производится без СОЖ). Известно, что появление прижогов на рабочей поверхности зубьев резко снижает эксплуатационные свойства зубчатых колес, а в ряде случаев (например, в авиационной промышленности) шлифовочные дефекты (прижоги и микротрещины) вообще не допустимы. В этой связи задача повышения эффективности бездефектного зубошлифования на станках типа MAAG является весьма актуальной в технологии машиностроения. Для ее решения использован системный подход и методологические принципы общей теории управления. Сформулирована концепция интегрированной технологической системы зубошлифования, охватывающей подготовительный и исполнительный этапы производства [1].

Предлагаемая стратегия управления зубошлифованием содержит два этапа. На первом этапе управление осуществляется путем оптимизации распределения припуска на переходы в предположении, что припуск равномерно распределен по всем зубьям зубчатого колеса. Полученная программа оптимального распределения припуска на проходы задается в систему ЧПУ станка. На втором этапе управление осуществляется при помощи системы обратной связи по мощности зубошлифования, которая учитывает неравномерное распределение припуска по зубьям зубчатого колеса и автоматически изменяет продольную подачу станка при изменении глубины резания по сравнению с расчетной.

Целью настоящей статьи является решение задачи первого этапа управления. Сущность предлагаемой методики оптимизации распределения припуска по переходам заключается в следующем. Мощность зубошлифования может быть получена экспериментально в виде следующей зависимости [2]

$$P = ct^x V^y n_o^z k_M k_H k_p \quad (1)$$

где c, x, y, z — коэффициенты, зависящие от угла установки тарельчатых кругов ($0^\circ, 15^\circ$ или 20°); t, V, n_o — глубина резания (мм), продольная подача (мм/мин) и частота качаний (мин^{-1}), соответственно; k_M, k_H, k_p — коэффициенты, учитывающие влияние характеристик обрабатываемого материала, абразивного инструмента, а также радиуса кривизны профиля зуба, соответственно.

Например, по данным работы [2], при угле установки кругов 0° численные значения указанных коэффициентов следующие $c=0,022; x=0,75; y=0,95; z=0,25; k_M=1$ (сталь 12Х2Н4А); $k_H=1$ (твердость кругов МЗ, зернистость 25); $k_p=1$ (радиус кривизны профиля зуба $p=34,7$ мм).

Используя выражение (1), можно определить время, затраченное на k -й ($1 \leq k \leq n$) проход

$$\tau_k = \frac{L}{V} = \frac{L \cdot (ct_k^x n_o^z k_M k_H k_p)^{1/y}}{P_k^{1/y}} \quad (2)$$

где L — длина продольного хода стола станка, мм;
 P_k — мощность зубошлифования на k -ом проходе, Вт;
 t_k — глубина резания на k -ом проходе, мм.

С учетом обозначений $\alpha = \frac{x}{y}; \varepsilon = \frac{1}{y}; M = L \cdot (cn_o^z k_M k_H k_p)^{1/y}$ выражение (2) принимает вид

$$\tau_k = M \cdot \frac{t_k^\alpha}{P_k^\varepsilon} \quad (3)$$

Например, для угла установки кругов 0° при $n_o=150 \text{ мин}^{-1}$ получены следующие значения параметров: $\alpha=0,79; \varepsilon=1,05$ и $M=3,04$.

Суммарное машинное время зубошлифования, затрачиваемое на n проходов

$$\tau_M = M \cdot \sum_{k=1}^n \frac{t_k^\alpha}{P_k^\varepsilon} \quad (4)$$

Одним из основных факторов, ограничивающих производительность шлифования, является теплонапряженность процесса. Для любого k -ого прохода глубина образуемого при зубошлифовании дефектного слоя h_{dk} может быть представлена зависимостью [3]

$$h^{dk} = a \cdot (P^k - P^0) \quad (5)$$

где a — коэффициент, мкм/Вт;

P_o - бездефектный уровень мощности зубошлифования, Вт.

Так как для любого k -ого ($1 \leq k \leq n$) прохода глубина образуемого при зубошлифовании дефектного слоя не должна превышать припуск, остающийся на обработку (рис.1), то

$$h_{dk} = \sum_{i=k+1}^n t_i = Z - \sum_{i=1}^k t_i \quad (6)$$

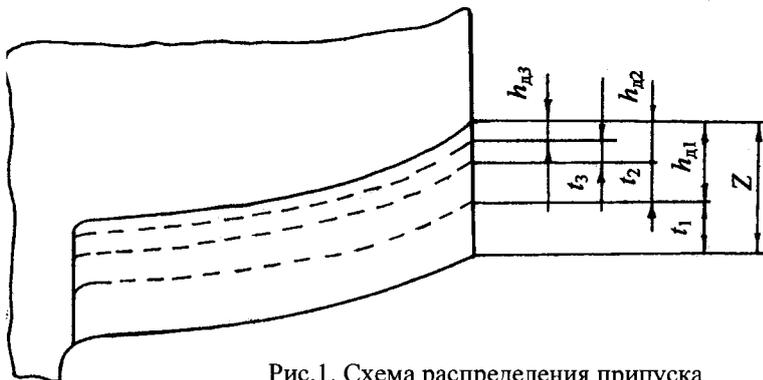


Рис.1. Схема распределения припуска на проходы при зубошлифовании.

Учитывая выражения (5) и (6), получим

$$P_k = \frac{Z - \sum_{i=1}^k t_i}{a} + P_o \quad (7)$$

Подставляя это выражение в формулу (4), получим

$$\tau_M = M \left[\frac{1}{P_o^\varepsilon} \left(Z - \sum_{i=1}^{n-1} t_i \right)^\alpha + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{t_k^\alpha}{\left[\frac{1}{a} \left(Z - \sum_{i=1}^k t_i \right) + P_o \right]^\varepsilon} \right] \quad (8)$$

Например, машинное время зубошлифования, необходимое для удаления припуска Z за два ($n=2$) и за три ($n=3$) прохода можно определить по формулам

$$\tau_2 = M \cdot \left\{ \frac{(Z - t_1)^\alpha}{P_o^\varepsilon} + \frac{t_1^\alpha}{\left[\frac{Z - t_1}{a} + P_o \right]^\varepsilon} \right\} \quad (9)$$

$$\tau_3 = M \cdot \left\{ \frac{(Z - t_1 - t_2)^\alpha}{P_o^\varepsilon} + \frac{t_1^\alpha}{\left[\frac{Z - t_1}{a} + P_o \right]^\varepsilon} + \frac{t_2^\alpha}{\left[\frac{Z - t_1 - t_2}{a} + P_o \right]^\varepsilon} \right\} \quad (10)$$

Из этих примеров, а так же из обобщенной рекуррентной формулы (8) следует, что количество переменных в формуле машинного времени на единицу меньше числа проходов, за которые удаляется припуск (при двух проходах – одна переменная, t_1 ; при трёх – две, t_1 и t_2 и т.д.)

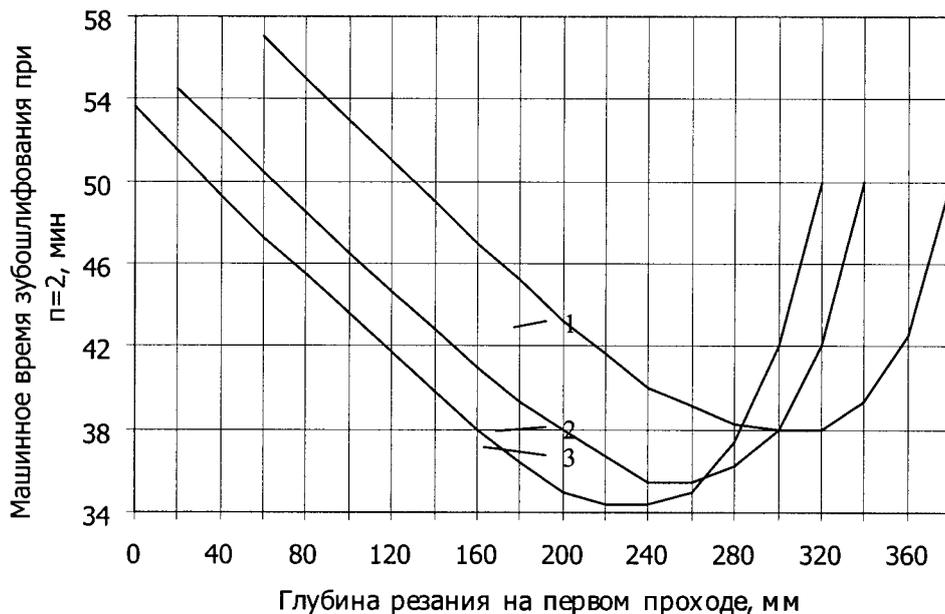


Рис.2. Зависимость машинного времени зубошлифования (τ_2) от глубины резания на первом проходе (t_1) при $n=2$: 1, 2, 3 — $t=400$ мкм, 350 мкм, 325 мкм.

Из анализа формулы (9) видно, что зависимость машинного времени τ_2 от глубины шлифования t_1 имеет экстремальный характер, так как с увеличением t_1 первая компонента формулы (9) уменьшается, а вторая – резко увеличивается (числитель второй компоненты растет, а знаменатель – падает). Следовательно, существует такая глубина резания t_1 , при которой для данного припуска Z машинное время на обработку τ_2 будет минимальное. Причем, как следует из выражения (2), минимальному машинному времени соответствует максимальная продольная подача стола.

По формуле (9) построены графики (рис.2) для различных значений припуска Z .

Видно, что при $Z=400$ мкм оптимальная глубина шлифования на первом проходе составляет $t_{1\text{опт}}=300$ мкм. При $Z=350$ мкм и $Z=325$ мкм соответствующие оптимальные глубины шлифования составляют $t_{1\text{опт}}=260$ мкм и $t_{1\text{опт}}=240$ мкм. Машинное время зубошлифования (минимальное) для трех указанных случаев соответственно составляет $\tau_{2\text{min}}=38,0$ мин, $\tau_{2\text{min}}=35,5$ мин и $\tau_{2\text{min}}=34,4$ мин. Т.е.

Z , мкм	400	350	325
$t_{1\text{опт}}$, мкм	300	260	240
$\tau_{2\text{min}}$, мин	38,0	35,5	34,4

Графики на рис.3 являются обобщением результатов расчета для рассмотренного случая $n=2$. Они позволяют определить $t_{1\text{опт}}$ и $\tau_{2\text{min}}$ для любого значения припуска Z в интервале $100 \leq Z \leq 400$ мкм.

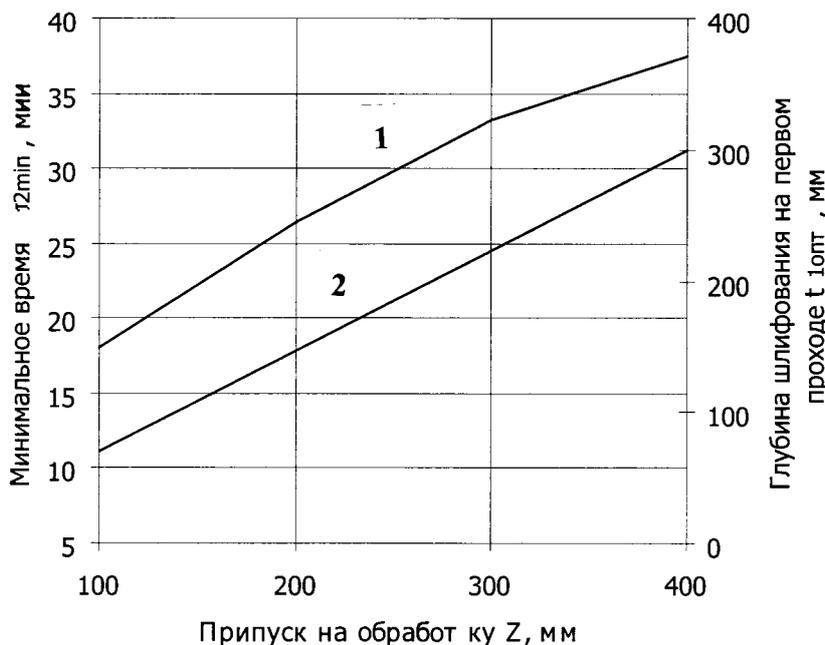


Рис.3 Графики для определения оптимальной глубины шлифования на первом проходе ($t_{1\text{опт}}$) и минимального машинного времени обработки ($\tau_{2\text{min}}$) при съеме припуска Z за два прохода ($n=2$): 1 — $\tau_{2\text{min}}$; 2 — $t_{1\text{опт}}$.

в общей сумме преобладает над его одновременным увеличением за счет увеличения числа проходов. В этой связи возникает задача определения оптимального числа проходов зубошлифования. Т.е. общая задача оптимизации содержит два этапа

1. Для конкретной величины припуска Z необходимо определить оптимальное число проходов зубошлифования (структурная оптимизация).
2. Зная оптимальное число проходов, определить оптимальные глубины шлифования по каждому из этих проходов (параметрическая оптимизация).

Для решения задачи на первом этапе учтено, что оперативное время зубошлифования на каждом проходе состоит из двух составляющих: переменной составляющей τ_M (которая рассматривалась выше) и постоянной составляющей (время быстрого подвода и время деления). При скорости быстрого подвода 900 мм/мин постоянная составляющая времени зубошлифования, например, для обрабатываемой шестерни с числом зубьев 29, составляет 1 мин. Следовательно, добавление одного прохода означает добавление одной минуты к машинному времени зубошлифования τ_M . Учитывая это обстоятельство, построены графические зависимости оперативного времени зубошлифования от числа проходов n при различной величине припуска на обработку Z (рис.4).

Как следует из данных на рис. 4 в интервале изменения припуска $125 < Z < 400$ мкм, оптимальное число проходов зубошлифования изменяется от $n=2$ до $n=4$, причем с ростом припуска Z число проходов n увеличивается. Анализ графиков на рис. 4 позволяет сформулировать следующую стратегию определения оптимальных режимов зубошлифования

1. Зная величину припуска на обработку, определяют к какому из следующих трех интервалов этот припуск принадлежит:

- а) $Z > 350$ мкм
 б) $150 \leq Z \leq 350$ мкм
 в) $Z < 150$ мкм.

- По графикам на рис. 4 для найденного интервала припуска (а, б или в) находят оптимальное число проходов n .
- Зная оптимальное число проходов n определяют оптимальные глубины зубошлифования по описанной выше методике.

Таким образом, приведенная методика оптимизации режимов зубошлифования позволяет рассчитать программу распределения припуска на проходы шлифования и соответствующую ей программу максимально

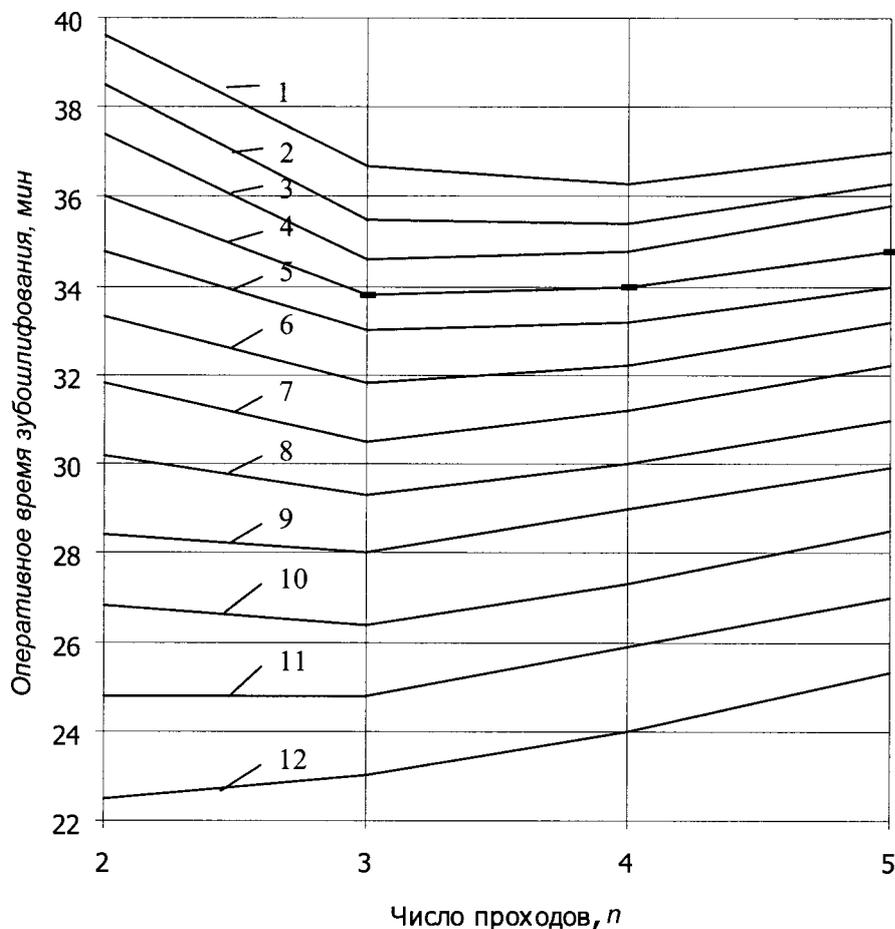


Рис. 4. Зависимость оперативного времени зубошлифования от числа проходов: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 — $Z=400, 375, 350, 325, 300, 275, 250, 225, 200, 175, 150, 125$ мкм.

возможных продольных подач стола зубошлифовального станка. Другими словами, для каждой величины припуска Z имеется двухмерный массив режимных параметров (глубина шлифования и продольная подача), который представляет собой исходные данные для составления управляющей программы устройства ЧПУ.

Предложенная совокупность мероприятий, основанная на методологии общей теории управления, позволила разработать интегрированную систему зубошлифования, охватывающую этапы разработки и оптимизации процесса (подготовительный этап), настройки зубошлифовального станка на обработку (уменьшение неравномерного распределения припуска) и осуществления процесса зубошлифования (исполнительный этап). Причем, на подготовительном этапе осуществляется выбор параметров процесса, исходя из максимально

возможной производительности при заданном качестве поверхностного слоя, а на исполнительном этапе осуществляется стабилизация теплонпряженности процесса с учетом индивидуальных особенностей элементов технологической системы (станок — приспособление — инструмент — деталь) зубошлифования.

Литература

- Ларшин В.П., Андрусенко А.М. Проектирование, изготовление и эксплуатация технологических систем на основе общей теории управления // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Труды 5-й междунар. научн. — техн. конф. — Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 — С. 19 — 23.
- Бояршинов Ю.А. Разработка и исследования способов повышения качества поверхностного слоя при шлифовании высокоточных зубчатых колес. Дис. ... канд. техн. наук. — Пермь, 1970. — С. 250.
- Ларшин В.П., Якимов А.А., Акимова М.Н. Интегрированная технологическая система зубошлифования // Научно—технические проблемы станкостроения, производство технологической оснастки и инструмента: Материалы междунар. конф. — Киев: АТМ Украины, 2002. — С. 70 — 72.

УДК 621.81.004.12

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ПЛАСТИЧЕСКИ-ДЕФОРМИРОВАННОГО СЛОЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ РЕЗЬБЫ АВИАЦИОННЫХ ХОДОВЫХ ВИНТОВ

Ларшин В.П., докт. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

Plastically deformed layer depth prediction theoretical premises in aircraft lead screw grinding are examined.

Передачи винт – гайка качения нашли широкое применение в станко- и авиастроении, робототехнике и транспортном машиностроении. Наиболее ответственной деталью передачи является ходовой винт, причем авиационные ходовые винты передач отличаются от станочных винтов по конструкции, по технологии изготовления и термообработки, марками используемых сталей. Кроме того, авиационные ходовые винты часто являются полыми и имеют меньший диаметр, что затрудняет использование такого прогрессивного технологического процесса, как многониточное резьбошлифование, нашедшего широкое применение при предварительной и получистовой обработке резьбы станочных ходовых винтов.

Известные в литературе методы проектирования и расчета инструмента (многониточные круги, металлические накатники и алмазные правящие ролики) часто оказываются неприемлемыми применительно к авиационным ходовым винтам. Поэтому на первом этапе проектирования инструмента для многониточного резьбошлифования устанавливалась принципиальная возможность использования этого процесса для авиационных ходовых винтов. Анализ проводился по двум критериям: по жесткости и геометрической форме винтов. В первом случае анализировался максимальный прогиб обрабатываемой детали под действием сил резания (прогиб винта не должен превышать допуска на диаметр резьбы), во втором – проверялась возможность беспрепятственного выхода шлифовального круга из зоны резания (диаметр шейки винта должен быть меньше диаметра резьбы, а её длина должна быть больше ширины многониточного круга).

Задача определения геометрических параметров многониточных резьбошлифовальных кругов (МПК), а также инструмента для их профилирования и правки является многокритериальной и многопараметрической и по этой причине наиболее удобным методом проектирования является многокритериальная оптимизация конструкции инструмента на компьютере. В работе [1] показано, что в ряде случаев условиям многокритериальной оптимизации соответствуют результаты оптимизационных расчетов по одному наиболее существенному (для конкретных условий шлифования) критерию. Например, методика расчета распределения припуска при черновом шлифовании станочных ходовых винтов из закаленных сталей основана на условии [1, 2]

$$\sum_{i=k+1}^n t_i > h_d, \quad (1)$$

где h_d - глубина дефектного слоя, образуемого k -ой ниткой МПК, мм; t_i - глубина шлифования (мм) на i -ой нитке МПК ($1 \leq i \leq n$). Под h_d понимается глубина слоя, в котором под воздействием высоких температур происходят необратимые структурные и фазовые изменения. Например, для закаленной стали 8ХФ критическая температура $T_{кр}$ соответствует величине 500 - 550°С. В зависимости от скорости изменения температурного поля в поверхностном слое закаленной мартенситной стали, происходят такие процессы как отпуск (низкие скорости), вторичная закалка (высокие скорости). Часто дефектный слой может содержать как зоны отпуска, так и зоны вторичной закалки.

Несмотря на то, что обработке шлифованием чаще подвергаются закаленные стали, на ряде заводов (в том числе на ряде заводов авиационной промышленности) резьбу ходовых винтов вышлифовывают после предварительной прорезки её резцом при твердости материала не превышающей HRC 30. По такой технологии обрабатывают, например, авиационные винты из азотируемых сталей 30ХНВА«Ш» и 38Х2МЮА. При шлифовании этих сталей производительность обработки в основном ограничивается температурным фактором, приводящим к формированию сложного напряженного состояния в поверхностном слое резьбы. При температурах порядка 200 - 300° С уровень возникающих в поверхностном слое материала термоупругих напряжений может превышать предел текучести материала и в поверхностном слое резьбы образуется пластически – деформированная зона, которая является причиной формирования технологических остаточных напряжений и искривления оси винта после обработки.

Напряженное состояние поверхностного слоя резьбы формируется в результате последовательного прохождения во времени двух этапов: нагрузки и разгрузки [3]. Этап нагрузки (термонагрузки) может не сопровождаться появлением пластически деформированного слоя. В этом случае распределение термоупругих напряжений в поверхностном слое материала описывается уравнением

$$\sigma_i = \gamma \cdot E \frac{2q}{\lambda} \sqrt{a\tau} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right), \quad (2)$$

где γ , E - коэффициент линейного расширения материала (1/°С) и его модуль упругости (Па); q , τ - плотность теплового потока (Вт/мм²) и время его воздействия (с); a , λ - коэффициенты теплопроводности

(м²/с) и теплопроводности (Вт/м·°С); x - координата, отсчитываемая от поверхности в перпендикулярном направлении к ней.

Условие возникновения в поверхностном слое пластически деформированной зоны может быть получено из формулы (2) при $\sigma_i = \sigma_s$, т.е.

$$\tau_0 \leq \frac{\pi}{a} \cdot \left[\frac{\sigma_s \cdot \lambda}{2 \cdot m \cdot \gamma \cdot E \cdot q} \right]^2, \quad (3)$$

где σ_s - предел текучести обрабатываемого материала (Па), τ_0 - предельное значение времени τ , с

На этапе терморазгрузки эпюра напряжения в поверхностном слое материала изменяется, однако глубина пластически деформированного слоя при этом находится на прежнем уровне и, следовательно, при определении этой глубины можно воспользоваться математическим описанием теплонапряженности на этапе нагрузки.

При определении количества режущих ниток МРК учитывают следующие обстоятельства.

1. Конструктивные возможности шпиндельного узла резбошлифовального станка (Ширина планшайбы должна быть не менее высоты МРК).

2. Максимальный отжим обрабатываемой детали не должен превышать допуска на диаметр резьбы.

3. Наличие шлифовальных кругов данного типоразмера в условиях конкретного производства.

Например, возможности резбошлифовального станка «Матрикс 5707» позволяют использовать резбошлифовальный круг высотой 40 мм, что предопределяет возможность использования 3- или 4- ниточных кругов (в зависимости от шага обрабатываемой резьбы). Поэтому испытания разработанных конструкций МРК производились на этом станке, оснащенном устройством для накатки профиля многониточного круга. В качестве заготовок использовались ходовые винты из стали 30Х2НВА «Ш» (радиус профиля резьбы 2,35 мм, шаг резьбы 7 мм, наружный диаметр 29 мм, диаметр отверстия 18 мм, длина резьбовой части 300 мм).

По результатам выполненной работы сформулированы технологические рекомендации по внедрению многониточного резбошлифования в практику изготовления авиационных ходовых винтов.

Литература

1. Ларшин В.П., Якимов В.А., Ковальчук Е.Н., Якимов А.В. Выбор геометрических параметров многониточных резбошлифовальных кругов // Вестник машиностроения. — 1986. — №3. — С. 44-47.
2. Ларшин В.П. Диагностика операций многониточного шлифования резьбы шариковых винтов // Диагностика технологических процессов в машиностроении: Материалы семинара. — Москва: Изд. МДНТП, 1990. — С. 82-88.
3. Абрамов В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах (расчеты методом расчленения тела) — М.: Машгиз, 1963. — 355 с.

УДК 621.9.01

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, Лищенко Н.В.

(г. Одесса, Украина)

Thermophysical and metrological premises for grinding temperature definition in the production and its preperation stages are working out.

Учение о качестве поверхностного слоя деталей машин и приборов является быстро развивающейся и перспективной областью исследования в технологии машино- и приборостроения и связано с привлечением смежных научных дисциплин (физика, химия, материаловедение и т.п.), поскольку успехи в этой области связаны с увеличением ресурса работы механизмов, машин и приборов (ресурсосберегающие технологии). Качество поверхностного слоя, оцениваемое через совокупность параметров состояния, формируется на финишных операциях изготовления деталей, однако затем изменяется в процессе эксплуатации и ремонта изделий (управление качеством поверхностного слоя деталей в процессе эксплуатации машин и приборов сформировалось в самостоятельное научное направление, которое в зарубежной литературе получило название Smart-Self Technology). Поэтому, управление качеством поверхностного слоя является системной задачей, охватывающей не только этапы производства и его подготовки, но также этап эксплуатации изделий. Общеизвестно, что исходные параметры качества (сформированные на этапе финишной обработки) оказывают существенное влияние на долговечность изделий и предопределяют эксплуатационные расходы. Следовательно, повышение надежности обеспечения параметров качества поверхностного слоя деталей машин на этапе их изготовления является актуальной научно-технической проблемой.

Здесь важная роль принадлежит финишным методам обработки, к числу которых относится шлифование, позволяющее получить требуемую точность обработки и сформировать исходные параметры состояния поверхностного слоя деталей перед эксплуатацией: шероховатость поверхности, фазовый и химический состав, распределение микротвердости и остаточных напряжений по глубине и другие. Указанные параметры состоя-

ния формируются в результате сложного физико-химического процесса, протекающего в зоне контакта шлифовального круга и обрабатываемой заготовки. Особенностью этого процесса является высокая теплонпряженность. Уровень развивающихся при шлифовании температур предопределяет состав и направление развития термомеханических, теплофизических и термохимических явлений в поверхностном слое. Поэтому повышение достоверности определения температуры при шлифовании (при диагностике процесса по температурному критерию) является важной задачей в технологии машиностроения.

Большой вклад в изучение теплофизики процессов сварки, резания и шлифования внесли научные школы Рыкалина Н.Н., Резникова А.Н., Сирина С.С., Евсеева Д.Г., Якимова А.В. (Сипайлов В.А., Паршаков А.Н., Ярмонов Н.А., Напарин Ю.А.) и многие другие. В результате всестороннего теоретического и экспериментального исследования тепловых явлений при шлифовании были разработаны физические и математические модели температурного поля для различных условий обработки. Однако большое количество таких моделей затрудняет их целесообразный выбор в инженерной практике. Поэтому под руководством профессора Якимова А.В. была проведена систематизирующая работа по установлению единой математической зависимости, позволяющей прогнозировать температуру шлифования с учетом влияния на нее формы поверхности обрабатываемой детали (плоская, выпуклая, вогнутая, клиновидная). Было установлено, что в интервале изменения безразмерной полуширины теплового источника (критерий Пекле) $4 \leq H \leq 20$ с достаточной для практики точностью (погрешность не более 10% по отношению к специальному решению задачи) расчет температуры при шлифовании можно производить по решению одномерного дифференциального уравнения теплопроводности, умноженному на коэффициент формы m , зависящий от геометрического параметра формы η (угол клина, радиус кривизны профиля и т.п.) и координаты X , причем [1]

$$\Theta(X, H, \eta) = m(X, \eta) \cdot 2\pi\sqrt{H} \operatorname{ierfc} \frac{X}{2\sqrt{H}}, \quad (1)$$

где $\Theta(X, H, \eta)$ - безразмерная (относительная) температура; H - критерий Пекле, $H = \frac{Vh}{2a}$; V - скорость детали при шлифовании, м/с; h - полуширина теплового источника, м; a - температуропроводность обрабатываемого материала, м²/с; $\operatorname{ierfc} \left(\frac{X}{2\sqrt{H}} \right)$ - специальная функция [2]; X - безразмерное (относительное) расстояние до поверхности в направлении нормали (глубина проникновения) температурного поля), $X = \frac{Vx}{2a}$; x - размерная (абсолютная) глубина проникновения температурного поля, м

Переход к размерной (абсолютной) температуре в уравнении (1) осуществляется по формуле

$$T = \Theta \frac{2qa}{\pi\lambda V}, \quad (2)$$

где q - плотность теплового потока, м²/с; λ - теплопроводность обрабатываемого материала, Вт/м⁰С [1].

На этапе подготовки производства при технологических (проверочных) расчетах температуры шлифования по уравнениям (1) и (2) часто можно принимать $m(X, \eta) = 1$, поскольку влияние на температуру геометрического параметра η менее существенно, чем принятые в расчете допущения.

Например, если пренебречь кривизной поверхности с $R \geq 6$ мм и $R \geq 17$ мм (R - радиус кривизны обрабатываемого профиля), то вносимая дополнительная погрешность составит 10% и 5%, соответственно [1]. Однако на этапе диагностики процесса по температурному критерию такая погрешность является существенной. Для ее уменьшения нами предложено осуществлять дополнительные циклы самообучения системы технологической диагностики, например, с использованием прибора неразрушающего токовихревого контроля шлифовочных дефектов [3].

Для обеспечения надежности получения достоверной информации количество циклов измерений n указанным прибором определяют по формуле

$$n = \frac{\ln(1 - P_m)}{\ln(1 - P_\phi)}, \quad (3)$$

где P_m , P_ϕ - требуемая и фактическая вероятности получения достоверной информации.

Например, при $P_m = 0,999$ зависимость между P_ϕ и n следующая

P_ϕ	0,10	0,20	0,50	0,80	0,90	0,95
n	66	31	10	4	3	2

Т.е., при ограничении однотипных измерений до 4-х для получения результата с уровнем доверительной вероятности $P_m = 0,999$ необходимо, чтобы фактическая вероятность получения достоверной информации (P_ϕ) была не менее 0,8.

Описанные теплофизические и метрологические предпосылки составили основу для разработки компьютер-

ной системы технологической диагностики процесса шлифования сложнопровильных деталей по температурному критерию. Эта работа проводится на кафедре технологии машиностроения Одесского национального политехнического университета.

Литература

1. Якимов А.В., Ларшин В.П., Скляр А.М. Влияние формы поверхности обрабатываемой детали на температуру при шлифовании // Сверхтвердые материалы, — 1986. — №4. — С. 38-43
2. Технология машиностроения: Учебник / А.В. Якимов, В.Н. Царюк, А.А. Якимов, Г.А. Оборский, В.П. Ларшин, А.В. Самойленко. — Одесса: Астропринт, 2001. — 608 с.
3. Ларшин В.П., Якимов В.А. Магнитоэлектрический анализ структуры поверхностных слоев шлифованных деталей // Повышение качества, надежности и долговечности деталей машин технологическими методами: Межвузовский сб. научн. тр. — Пермь: ПГТУ, 1997. — С. 43-47

УДК 621.9

ОСОБЕННОСТИ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

Крюк А.Г., канд. техн. наук, Браташевский А.Ю., канд. техн. наук,

Дудко П.Д., канд. техн. наук.

(г. Харьков, Украина)

In work the features of process of operational development free abrazivom of fragile materials on an example of processing of silicon plates are given. The effective application of himiko-machining at a finishing stage of manufacturing of a semi-conductor body is shown.

В работе приведен финишный процесс полупроводниковых кремниевых пластин. Установлено, что для получения высококачественной поверхности пластин на финишных операциях целесообразно использовать химико-механическое полирование (ХМП), которое обеспечивает получение поверхности с минимальными нарушениями структуры.

Однако эффективность выравнивания поверхности при использовании этого метода полирования очень мала. Для повышения эффективности следует увеличить долю механического воздействия полирующего состава на обрабатываемую поверхность. Увеличение влияния механического фактора естественно влечет за собой возрастание глубины нарушений полупроводника, поэтому его можно рекомендовать в качестве лишь предварительного процесса, позволяющего существенно повысить эффективность ХМП – SiO₂.

Повышения роли механического фактора можно достичь использованием в полирующем составе высокоэффективных абразивов, как например, алмазных порошков. Использование для этих целей известных алмазных составов не позволяет получать высокую производительность обработки. Поэтому в данной работе изложены результаты экспериментов, направленных на разработку высокоэффективного полирующего состава на основе алмазных порошков.

При разработке такого состава учитывалось, что алмазные зерна микронных размеров могут коагулировать как в процессе их хранения, так и при эксплуатации, что приводит к образованию отдельных, сравнительно крупных конгломератов, действующих на обрабатываемую поверхность как отдельные крупные зерна. Это ухудшает качество обрабатываемой поверхности и указывает на необходимость введения в полирующий состав компонентов, позволяющих исключить или уменьшить отрицательное влияние агломерации частиц абразива. Такими компонентами являются мелкодисперсные частицы аэросила, разделяющие алмазные зерна друг от друга и стабилизирующие дисперсию, а так же спирт, обладающий высокой энергией растекания и активной смачиваемостью. Спирт, однако, имеет также высокую упругость пара и легко испаряется. Это будет отрицательно сказываться на постоянстве количественного состава суспензии, ее стабильности, а, следовательно, и воспроизводимости процесса полирования.

Для улучшения полирующих свойств абразивного состава целесообразно, в качестве веществ уменьшающих усилия трения, использовать вещества с низкой упругостью паров, например, диэтиленгликоль. Диэтиленгликоль относится к разряду поверхностно-активных смачивателей, функцией которых является снижение поверхностного натяжения жидкостей и повышение за счет этого их проникающих и смачивающих свойств.

Для предварительного исследования был взят состав, содержащий (вес частей):

- алмазный порошок зернистостью 3/2 – 1/0 – 1;
- аэросил 300 – 380 – 10-20;
- диэтиленгликоль – 20-60;
- технический спирт – 500-2000

Задача повышения скорости съема при абразивном полировании решилась применительно к существующему оборудованию на модернизированных станках типа ВМ103, с применением спецкассет, удерживающих пластины в гнездах без приклеивания. Пластины после шлифования сортировались в партии по количеству гнезд в кассете и укладывались в углубления гнезд, предварительно смоченные, например, диэтиленгликолем, что позволяло удерживать их за счет сил поверхностного натяжения в момент постановки кассеты с пластинами на

притир станка. В процессе обработки заготовок, вследствие разности линейных скоростей движения наружной и внутренней частей круга, одновременно с вращением кассеты происходит вращение в углублениях кассеты обрабатываемых пластин.

На основании изучения данных опытов выбран оптимальный состав суспензии: алмазный порошок АСМ 1/0 – 3/2 – 0,5 – 0,6г; азросил 380 – 8г.; диэтиленгликоль – 40-50 г; спирт – 1л.

С целью подтверждения целесообразности выбора нового состава и оптимальных режимов полирования была проведена работа по исследованию качества обрабатываемых пластин и одновременно сравнение нового способа с типовым процессом алмазного полирования (пасты по ГОСТ 16877-71). Выбранный состав суспензии создает благоприятные условия для работы алмазных зерен при полировании, т. к. толщина слоя жидкости всегда меньше размера абразива. Микроскопический анализ полированной поверхности, полученной с помощью нового способа алмазного полирования, показал высокое качество обработки с ровным фоном рисок по всей поверхности, шероховатость которой не превышала $R_z 0,04 - 0,05$ мкм без заметных сколов на краях пластин. Картины селективного травления характеризовались наличием рисок в виде последовательно расположенных ямок травления глубиной не более 0,1 мкм, что говорит о сравнительно неглубоких структурных нарушениях полупроводника.

Этот факт объясняется тем, что, как известно, физическую сущность абразивного полирования определяют пластические деформации материала. При обработке пластин на мягких притирах (в данном варианте на искусственной замше) алмазные зерна действуют на обрабатываемую поверхность с незначительными нормальными усилиями. Основная часть площади подвержена действию касательных напряжений, что в итоге приводит к сглаживающему (полировальному) эффекту. Такое выравнивание поверхности позволяет без предварительной подготовки поверхности (например, после резания), исключая операцию шлифования, достигать качественной обработки 13-14 классов шероховатости и получать значительный экономический эффект.

На основании анализа полученных экспериментальных данных установлено, что наиболее оптимальным режимом алмазного полирования является: усилие прижима пластин $100-120$ г/см², частота вращения круга 110 об/мин. При этом расходе алмазного порошка АСМ 3/2 составляет менее 4,0 карат для обработки 15 пластин диаметром 60 мм. При этом средняя скорость съема кремния более 2-х мкм/мин. Процесс обеспечивает качество поверхности 13-14 классов шероховатости при обработке на притире из искусственной замши, что позволяет получать наиболее благоприятные результаты на операциях химико-механического полирования.

УКД 621.91

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ФРИКЦИОННОЙ РАЗРЕЗКИ

Сизый Ю.А., докт. техн. наук, Кулик Г.Г.

(г. Харьков, Украина)

The method and results of solving the task of the friction cutting-off heat balance have been described.

В работе [1] описано экспериментальное моделирование процесса фрикционной резки заготовки с её вращением. Такое моделирование заключается в том, что круглая заготовка (труба) разворачивается в пластину и резка трубы заменяется прорезкой канавки с нарастающей глубиной.

При описании температурного поля в заготовке поверхность её принимается, адиабатической, то есть пре-

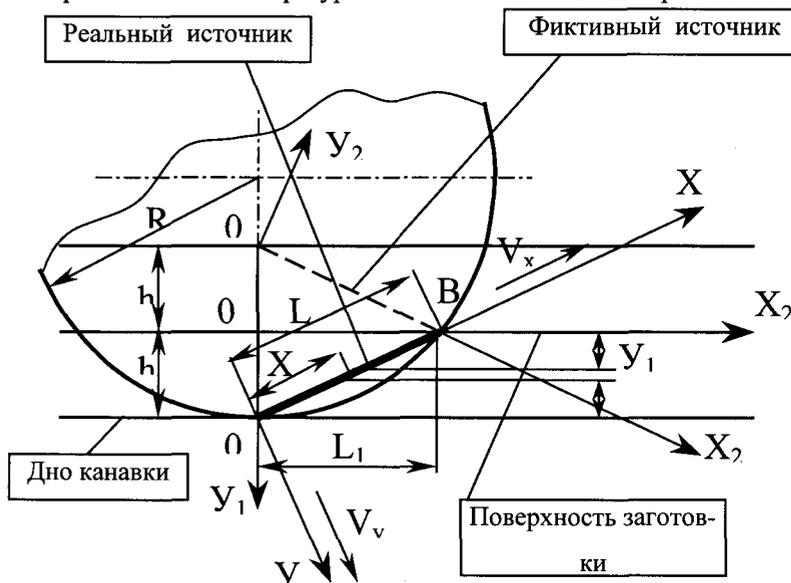


Рис. 1

небрегаем теплоотдачей в воздух конвективным теплообменом. Адиабатичность поверхности заготовки не влияет заметно на температурное поле в ней, если тепловой источник (поверхность контакта) находится на расстоянии в глубину более 1,5 мм от этой поверхности [2]. Если же анализировать резку на первом обороте детали, то источник тепла выходит на поверхность детали и надо учитывать адиабатичность поверхности.

На рис. 1 показана схема прорезки канавки в пластине, когда источник тепла входит на поверхность заготовки. Источник тепла – цилиндрическая поверхность контакта, сечение которой плоскостью перпендикулярной оси фрикционного диска является дугой OB . Заменяв дугу её хордой получим наклонный источник тепла, выделенный на рис. 1 жирной линией.

Чтобы учесть адиабатичность поверхности заготовки необходимо симметрично реальному источнику тепла относительно поверхности заготовки ввести фиктивный источник тепла, показанный на рис.1 пунктирной линией. Ранее [3] нами решена задача описания температурного поля от движущегося в пространстве плоского наклонного источника тепла с интенсивностью теплового потока распределённого по треугольнику с максимумом на переднем фронте и нулём на заднем:

$$T_{1_{н.д.н.}} = \frac{q}{4\lambda\pi} \int_0^L \int_0^\tau \frac{1}{\tau-t} \exp\left\{-\frac{[(x_u-x)+V(\tau-t)\cos\alpha]^2 + [y+V(\tau-t)\sin\alpha]^2}{4a(\tau-t)}\right\} \cdot \frac{x_u}{L} * \\ * \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{z+z_1}{\sqrt{4a\cdot(\tau-t)}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{z-z_1}{\sqrt{4a\cdot(\tau-t)}}\right) \right\} dt dx_u, \quad (1)$$

где a, λ - коэффициент температуро- и теплопроводности; x_u - координата источника тепла по оси X ; τ - время наблюдения за температурным полем; z_1 - полуширина источника (половина толщины фрикционного диска).

С учетом адиабатичности поверхности заготовки температурное поле будет суперпозицией полей $T1$ от реального и $T2$ от фиктивного источников тепла. Для последнего температурное поле описывается также как и для реального но в системе координат $X_2O_2Y_2$ (см. рис. 1). Для перехода в систему координат XOY нужно координаты X_2 и Y_2 выразить через X и Y :

$$y_2 = x \cdot \sin 2 - h \frac{\sin 2}{\sin} - y \cdot \cos 2; \quad x_2 = \frac{h}{\sin} + \frac{y}{\sin 2} + y_2 \frac{\cos 2}{\sin 2}. \quad (2)$$

Таким образом, температурное поле в заготовке $T3$ вычисляется как сумма полей от реального и фиктивного источников:

$$T3 = T1(x, y) + T2(x, y) \quad (3)$$

Для определения средней интенсивности теплового потока q , пользуемся применяемой нами ранее методикой, которая состоит в экспериментальном

определении глубины прогрева заготовки до 150°C по изотерме на плёнке гальванически осажённого олова с последующим решением обратной задачи теплопроводности.

Для этого разрезаемый образец изготавливается так, как показано на рис. 2. Он составной с пластинкой на боковых поверхностях которой нанесена плёнка олова. После прорезки канавки на плёнке олова хорошо видна изотерма в 150°C - граница прогрева выше 150°C . Плёнка олова при нагреве выше 150°C меняет цвет из матового на блестящий. Максимальное удаление изотермы от дна канавки по оси Y_1 измерялось и оно обозначено как Y_u на рис. 2. Поскольку измерение Y_u производилось в системе координат X_1OY_1 , то в описании температурного поля $T3$ в заготовке в системе координат XOY нужно перевести в систему X_1OY_1 (см. рис. 2). Для этого координаты X и Y выражаются через X_1 и Y_1 :

$$x = (x_1 - y_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos \varphi; \\ y = \frac{y_1}{\cos \varphi} + (x_1 - y_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \sin \varphi. \quad (4)$$

После такого описания координат X и Y в $T3$ получаем $T(x_1, y_1)$. Подставив в $T(x_1, y_1)$ координаты $Y_1 = Y_u$ и приняв $T(x_1, y_1) = 150^\circ\text{C}$

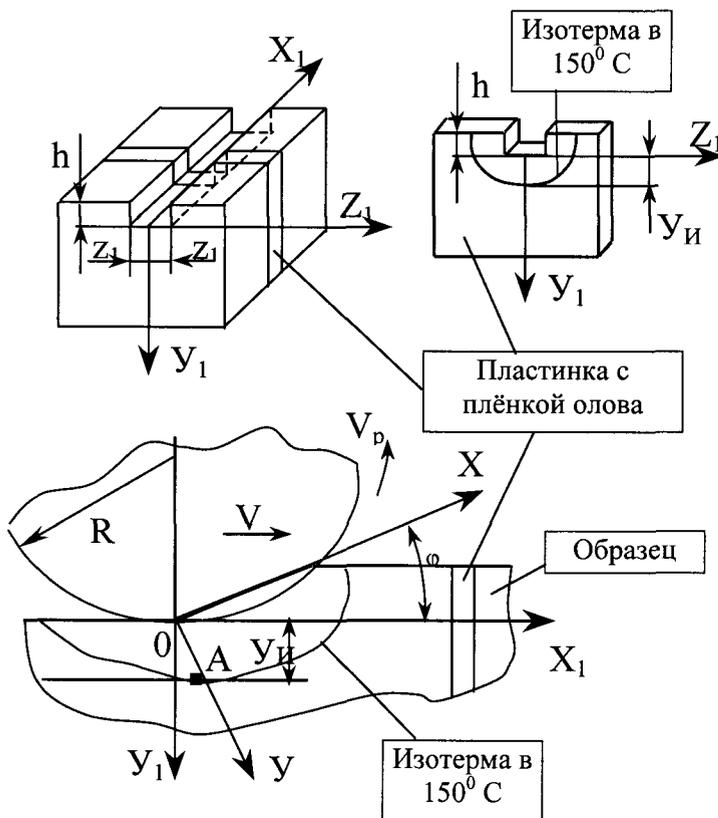


Рис. 2

можно рассчитать q . Для этого находим максимум функции $T(x_1, y_u)$ принимая $q=1$ и разделив 150°C на $\max T(x_1, y_u)$ получим значение, приведенное на рис.3.

Пример реализации такого алгоритма вычисления q приведён на распечатке такого расчета в пакете «Mathcad» на рис. 3. Здесь условия расчета соответствуют глубине резания $0,23$ см, радиусу фрикционного диска $R=17$ см, скорости подачи $V=0,4$ см/с, глубине прогрева до 150°C $Y=0,75$ см, полуширине диска $Z_1=0,05$ см. В результате расчета получаем $q=1,239 \cdot 10^3$ кал/см²·с. Зная q , можно рассчитать по (3) температурное поле в заготовке.

Глубина резания $h := 0.23$ Скорость подачи $v := 0.4$ Расстояние до изотермы $y1 := 0.75$

Сила резания $Pz := 36.85$ Скорость резания $Vd := 100$

$$r := 17 \quad L1 := \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2} \quad L1 = 2.787 \quad L := \sqrt{h^2 + L1^2} \quad L = 2.796$$

$$\phi := \operatorname{atan}\left(\frac{h}{L1}\right) \quad \phi = 0.082 \quad a := 0.08 \quad \lambda := 0.095 \quad z := 0$$

$$\tau := 25 \quad i := 0..30 \quad x1_i := 3 - 0.2 \cdot i \quad z1 := 0.05$$

$$x_i := (x1_i - y1 \cdot \tan(\phi)) \cdot \cos(\phi) \quad y_i := \frac{y1}{\cos(\phi)} + (x1_i - y1 \cdot \tan(\phi)) \cdot \sin(\phi)$$

$$T1_i := \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^L \int_0^\tau \frac{e^{-\frac{[x_i - xu + v(\tau-t)\cos(\phi)]^2 - [y_i + v(\tau-t)\sin(\phi)]^2}{4 \cdot a \cdot (\tau-t)}}}{\tau - t} \cdot \frac{xu}{L} \cdot \left[\operatorname{erf}\left[\frac{z + z1}{\sqrt{4 \cdot a \cdot (\tau-t)}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{z - z1}{\sqrt{4 \cdot a \cdot (\tau-t)}}\right] \right] dt dxu$$

$$y2_i := x_i \cdot \sin(2 \cdot \phi) - h \cdot \frac{\sin(2 \cdot \phi)}{\sin(\phi)} - y_i \cdot \cos(2 \cdot \phi)$$

$$x2_i := \frac{h}{\sin(\phi)} + \frac{y_i}{\sin(2 \cdot \phi)} + y2_i \cdot \frac{\cos(2 \cdot \phi)}{\sin(2 \cdot \phi)}$$

$$T2_i := \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^L \int_0^\tau \frac{e^{-\frac{[x2_i - xu + v(\tau-t)\cos(\phi)]^2 - [y2_i + v(\tau-t)\sin(\phi)]^2}{4 \cdot a \cdot (\tau-t)}}}{\tau - t} \cdot \frac{xu}{L} \cdot \left[\operatorname{erf}\left[\frac{z + z1}{\sqrt{4 \cdot a \cdot (\tau-t)}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{z - z1}{\sqrt{4 \cdot a \cdot (\tau-t)}}\right] \right] dt dxu$$

$$T3_i := T1_i + T2_i \quad q := \frac{150}{\max(T3)} \quad q = 1.274 \times 10^3 \quad \max(T3) = 0.118$$

Рис. 3

Для решения задачи теплового баланса, необходимо определить тепло перешедшее в стружку и заготовку. Для этого пользуясь методикой описанной в [3], где описан расчет Q_c – тепла перешедшего в стружку и Q_{pc} – тепла перешедшего в деталь и стружку при перемещении источника тепла на расстоянии $L1$ (см. рис. 1). Тепло перешедшее в деталь Q_p найдём вычитанием Q_c из Q_{pc} :

$$Q_p = Q_{pc} - Q_c. \quad (5)$$

Общее количество тепла выделившееся в зоне резания Q_t найдём:

$$Q_t = V_d \cdot P_z \cdot \frac{L1}{V \cdot 4.19}, \text{ кал} \quad (6)$$

где V_d – скорость вращения фрикционного диска м/с; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, измеряемая экспериментально, Н.

Зная Q_t можно найти тепло Q_d :

$$Q_d = Q_t - Q_{pc}. \quad (7)$$

Доли тепла от Q_t перешедшие в диск Q_{1d} , стружку Q_{1c} и деталь Q_{1p} соответственно находим:

$$Q_{1d} = Q_d / Q_t; \quad Q_{1c} = Q_c / Q_t; \quad Q_{1p} = Q_p / Q_t. \quad (8)$$

Для выявления влияния режимов резания на распределение тепла между диском, стружкой и деталью были выполнены эксперименты по прорезке канавки в составном образце (см. рис. 2) с варьированием скорости подачи V , скорости резания Vd и глубины резания h с измерением глубины Yu прогрева образца до 150°C и тангенциальной составляющей P_z силы резания. Условия эксперимента с результатами приведены в таблице 1.

Условия опытов соответствуют полному 3^3 факторному эксперименту. Уравнения регрессии с натуральными значениями факторов следующие:

$$Q_{1d} = -0.264 + 0.052 \cdot V + 5.616 \cdot 10^{-3} \cdot Vd + 0.683 \cdot h + 4.2 \cdot 10^{-4} \cdot V \cdot Vd - 0.045 \cdot V \cdot h - 5.364 \cdot 10^{-3} \cdot Vd \cdot h \quad (9)$$

$$Q_{1c} = 0.03 - 7.841 \cdot 10^{-4} \cdot V - 2.123 \cdot 10^{-4} \cdot Vd - 0.02 \cdot h - 5 \cdot 10^{-6} \cdot V \cdot Vd + 1.591 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot h + 1.727 \cdot 10^{-4} \cdot Vd \cdot h \quad (10)$$

$$Q_{1p} = 1.236 - 0.051 \cdot V - 5.426 \cdot 10^{-3} \cdot Vd - 0.665 \cdot h - 4.15 \cdot 10^{-4} \cdot V \cdot Vd + 0.044 \cdot V \cdot h + 5.209 \cdot 10^{-3} \cdot Vd \cdot h \quad (11)$$

где h мм, V мм/с, Vd м/с.

Таблица 1

№ опыта	Режимы резания			Результаты измерений		Q_{ld}	Q_{lc}	Q_{lp}
	$V, \text{мм/с}$	$h, \text{мм}$	$V_d, \text{м/с}$	$U_i, \text{мм}$	$P_z, \text{Н}$			
1	6	2,3	100	7	50,8	0,58	0,017	0,403
2	4	2,3	100	7,5	42,3	0,584	0,012	0,404
3	6	2,3	50	6,5	172,7	0,773	0,009	0,217
4	4	2,3	50	7	201,3	0,853	0,004	0,142
5	6	1,2	100	5,2	36,6	0,702	0,009	0,289
6	4	1,2	100	6,5	30,1	0,64	0,008	0,352
7	6	1,2	50	5,7	70,04	0,634	0,011	0,355
8	4	1,2	50	5,5	45,7	0,58	0,009	0,411

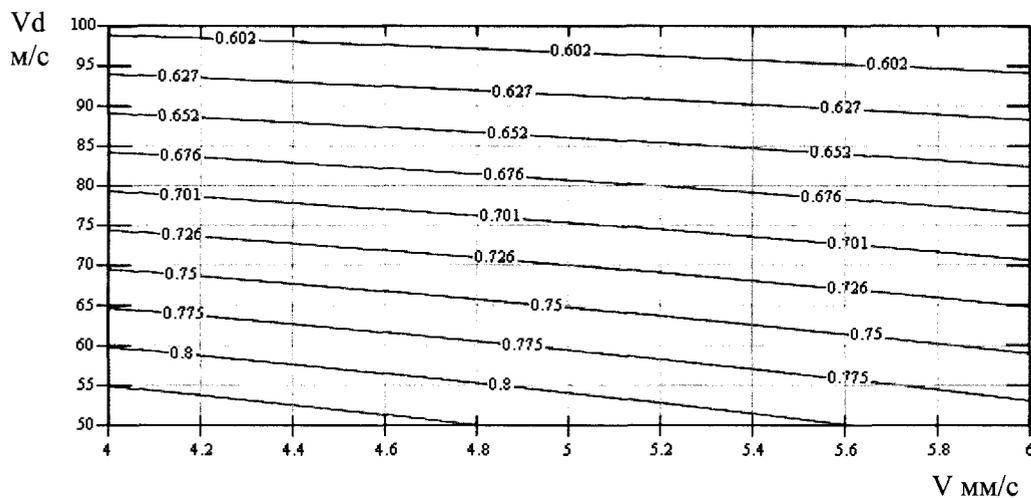


Рис. 4

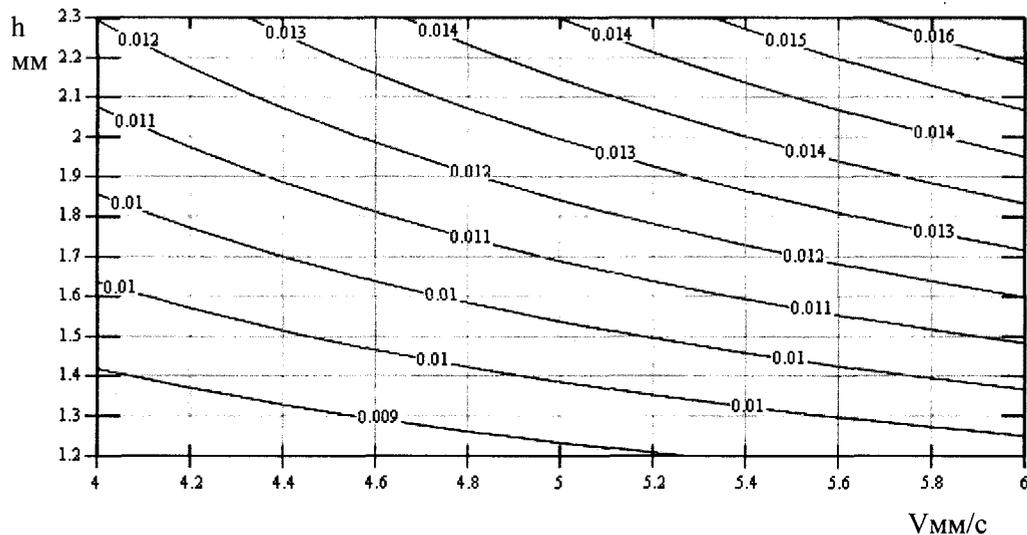


Рис. 5

Анализ табл.1 показывает, что для всего диапазона исследованных режимов резания доли тепла идущих в диск, стружку, деталь колеблются в следующих диапазонах:

$$Q_{ld} = 0,58 \dots 0,853;$$

$$Q_{lc} = 0,004 \dots 0,017;$$

$$Q_{lp} = 0,142 \dots 0,411.$$

Таким образом, наибольшая доля тепла переходит в диск, значительно меньшая в деталь и совсем небольшая доля тепла уносится стружкой. С точки зрения эффективности процесса резки, очевидно, необходимо стремиться как можно большую долю тепла сообщить стружке, тем самым разупрочняя её и облегчая её удаление. Также очевидно и желание обеспечить высокую стойкость инструмента - фрикционного диска, а значит уменьшить его нагрев. Анализ Q_{lc} и Q_{lc} наглядно можно сделать графическим образом, как показано на рис. 4 и рис. 5 по поверхностям отклика в виде линий равного отклика.

Анализ этих графиков указывает на целесообразность увеличения режимов резания, так как при этом доли тепла, идущие в диск (рис. 4), уменьшаются, а в стружку (рис.5) увеличиваются.

Литература:

1. Сизый Ю.А., Кулик Г. Г., экстремальное моделирование фрикционной разрезки с вращением заготовки. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве".
2. 5-я международная научно-техническая конференция. г. Харьков. 2002 г., 239-246 с.
3. Сизый Ю.А., Кулик Г.Г., Описание и анализ температурного поля при фрикционной разрезке заготовки с ее вращением. Вестник НТУ "ХПИ".-Харьков : НТУ "ХПИ".-202.-№3,131-142 с.
4. Сизый Ю.А., Кулик Г.Г., Хижнякова Н.А. Распределение тепла между стружкой и деталью при фрикционной разрезке. Труды Одесского политехнического университета. -Одесса : ОПУ,-201,-вып.5,221-226 с.

УДК 621.92

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Серховец О.И., Фесенко А.В., Ушаков А.Н

(г. Харьков, Украина)

The mathematical model of an adaptive control system of the process of grinding is offered which permits to raise processing capacity by its optimization at security of the given quality of a job surface and cutting of time on data origination for machine tools controlled through the computer.

В настоящее время требования к точности размеров, форме и качеству поверхностного слоя деталей, обрабатываемых на круглошлифовальных станках, существенно возросли. В связи с этим, актуальной является задача, позволяющая моделировать процесс шлифования и управлять им, с целью обеспечения вышеперечисленных требований. Для процесса круглого наружного врезного шлифования решение оптимизационной задачи целесообразно выполнять с использованием информации, поступающей из зоны резания. Для решения данной задачи, нами разработаны алгоритм управления станком рис.1 и экспериментальная установка автоматической системы управления процессом шлифования рис.2. Работа данной системы выполняется в следующей последовательности.

На первом этапе выполняется определение динамических характеристик конкретного станка: амплитуды колебаний, имеющей место между кругом и деталью A , частоты вынужденных колебаний ω , эквивалентного диаметра $D_э$, высоты волны на детали H .

На втором этапе осуществляется ввод паспортных данных станка: $J_{01,2}$ - жесткость передней и задней бабок, $h_{доп}$ - параметры контрольно - измерительных систем с их отклонениями $\Delta_{доп}$, исходных данных из рабочего чертежа детали: $D_и$ - диаметр изделия и его отклонения $\Delta D_и$, $P_о$ - припуск на обработку, B - ширина шлифуемой части изделия, HRC - твердость обрабатываемого изделия Ra - шероховатость обрабатываемой поверхности, а также A , ω , $D_э$, H . Исходная информация включает в себя параметры шлифовального круга.

Третий этап предусматривает расчет режимов резания и норм времени обработки. Для этого нами разработана система автоматизированного расчета режимов и норм времени "KRUG" [1]. На этом этапе выбираются режимы правки: скорость продольной (S_{np}), глубина поперечной (t_{np}) подачи и число зачистных проходов (n_{np}); частота вращения изделия ($n_{из}$), величины радиальных подач (S_r), и распределение припусков на этапах автоматического цикла (P_i). В процессе обработки система ЧПУ должна обеспечивать реализацию данных режимов.

На четвертом этапе выполняется правка (балансировка) шлифовального круга.

Далее реализуется пятый этап. На основании первичного расчета осуществляется шлифование первой партии. Во время обработки первой детали определяются фактические величины коэффициента режущей способности, жесткости, сил резания и после обработки выполняется измерение шероховатости обработанной поверхности. Эта информация используется при расчете оптимального цикла для последующих деталей. В реальных условиях обработки есть вероятность того, что по результатам шлифования первой детали возможны отклонения от требуемого качества. Эти явления возникают из-за нестабильности процесса шлифования, которые связаны с неуравновешенностью шлифовального круга, с неравномерностью распределения рабочих зерен по периферии круга, с неоднородностью твердости поверхностного слоя круга и детали, с параметрами динамической системы станка, и др.

При обработке детали выполняется сбор информации о протекании процесса шлифования и состоянии станка. Это осуществляется с помощью датчиков радиальной силы резания (P_r), перемещений шлифовальной бабки (X_i), прибора активного контроля (D_i). Уровень колебаний шлифовальной бабки (ΔA) контролируется с помощью датчика колебаний (тип ИЭ-1). Также предусмотрено измерение мощности резания N_i .

При обработке каждой новой партии деталей вводятся данные о геометрии, материале, термообработке, исходных параметрах качества поверхности и требованиях к конечным результатам процесса по точности, шероховатости, качеству поверхностного слоя детали.

По данным, полученным после обработки первичной информации, формируются управляющие команды исполнительным органам станка: механизму правки - скорость продольной (S_{np}), величина поперечной (t_{np})

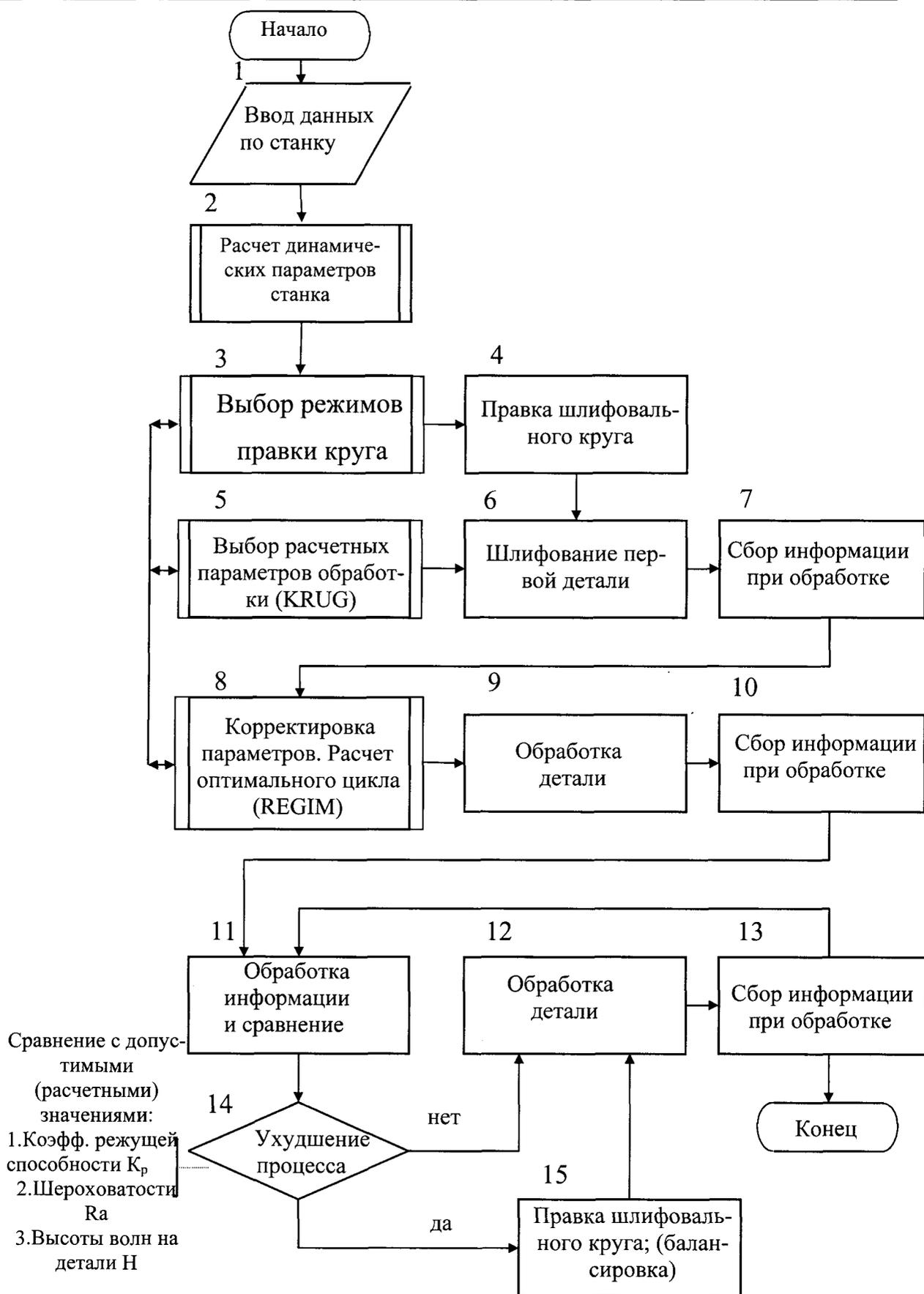


Рис.1. Алгоритм управления станком.

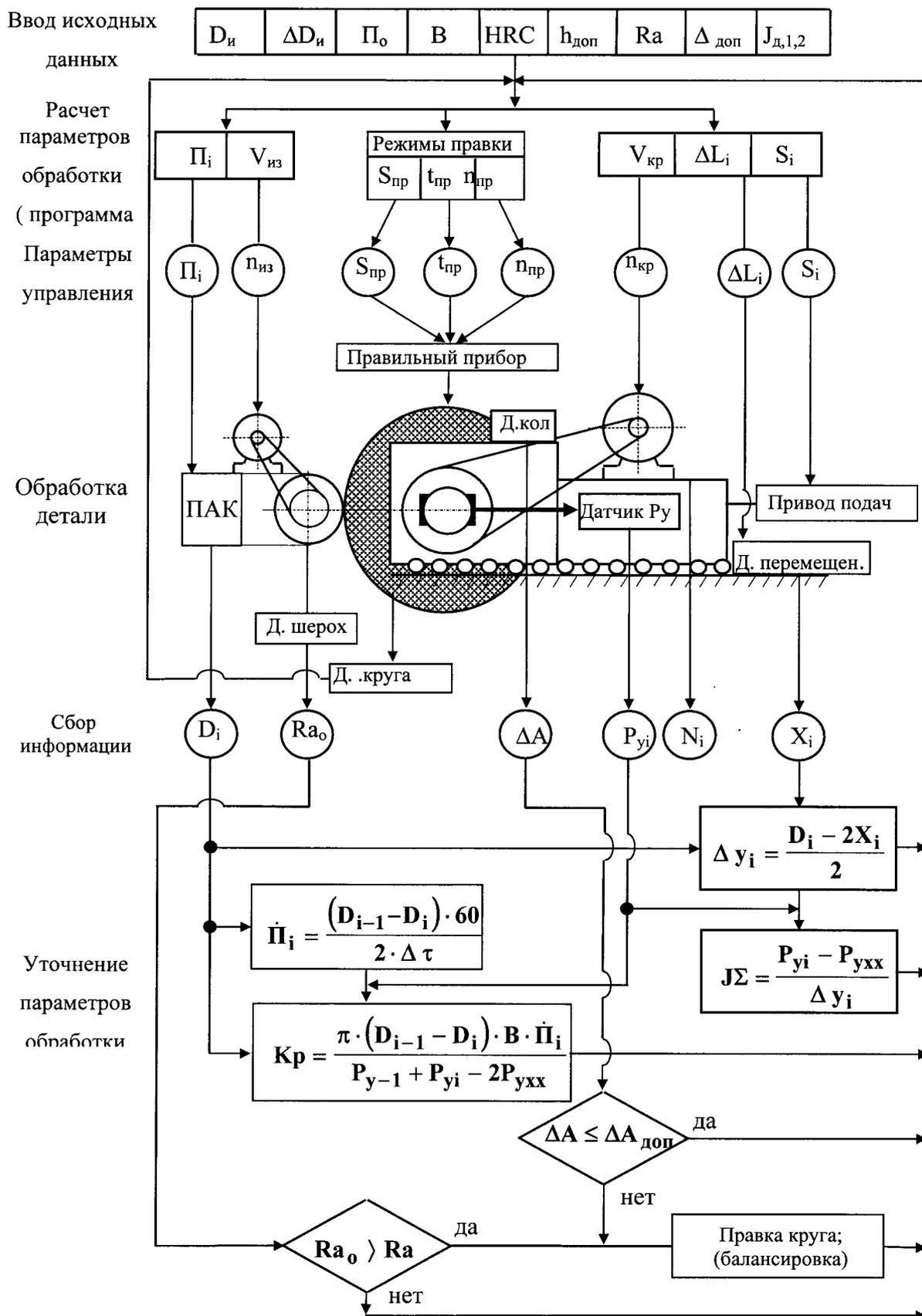


Рис.2. Экспериментальная установка автоматической системы управления процессом шлифования.

подач и число зачистных проходов ($n_{пр}$); приводе изделия - частота вращения ($n_{из}$), обеспечивающая требуемую круговую подачу; механизму подач - скорости подач на разных этапах автоматического цикла (S_i); широ-

кодиапазонному прибору активного контроля (ПАК) - диаметры переходов с черновой на чистовую и доводочную подачи (Π_i).

Во время обработки из зоны резания в ЭВМ станка поступает текущая информация о процессе шлифования. При этом постоянное сравнение величины перемещения шлифовальной бабки (по датчику перемещений) и текущего значения диаметра заготовки (по прибору ПАК) дает возможность определить деформацию (Δy_i) в зоне резания. Измерение текущего значения радиальной составляющей силы резания (по датчику силы) с последующим введением её в ЭВМ позволяет рассчитать фактическую жесткость технологической системы станка ($J\Sigma$) в зависимости от текущего значения радиальной силы резания P_{yi} , и показаний датчика на холостом ходу $P_{yx,x}$, возникающей при дрейфе нуля с интервалом опроса системы УЧПУ $\Delta\tau$ до достижения равенства: $P_{yф} = P_{yi} - P_{yx,x}$ где $P_{yф}$ - фактическое значение радиальной силы резания (без учета дрейфа нуля) и деформации технологической системы Δy_i . С другой стороны измерение текущих значений скорости съема припуска $\dot{\Pi}_i$ в зависимости от текущего значения шлифуемого диаметра D_{i-1} и D_i в соответствующие моменты времени τ_{i-1} и τ_i , и радиальной силы резания с последующей обработкой в ЭВМ позволяют определить фактический коэффициент режущей способности K_p , с помощью которого выполняется корректировка режимов шлифования последующих деталей.

В процессе обработки также фиксируется уровень колебаний шлифовальной бабки. Вся информация хранится в памяти ЭВМ для сравнения и принятия решений при обработке последующих деталей. По окончании автоматического цикла выполняется измерение шероховатости обработанной поверхности по параметру Ra (мобильным переносным прибором).

При завершении обработки первой детали вся полученная и обработанная на ЭВМ информация используется для корректировки режимов шлифования и построения оптимального по производительности цикла.

После каждой последующей обработки выполняется сравнение характеристик процесса с предыдущей по коэффициенту режущей способности и по уровню колебаний. В случае необходимости выполняется правка шлифовального круга, его балансировка и дополнительная корректировка режимов резания.

Вывод: Разработанный алгоритм управления станком и экспериментальная установка автоматической системы управления процессом шлифования позволяет выполнять шлифование с оптимальным по производительности цикле обработки при обеспечении заданного качества обрабатываемой поверхности детали.

Литература

1. Серховец О.И., Фесенко В.А., Ушаков А.Н. Расчет основных параметров круглого врезного шлифования на ЭВМ. Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е.Жуковского «ХАИ». Выпуск 14. - Харьков: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2000 г. - 415 с.- С.- 157-159.

УДК 621.923

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТЕХНИКИ ПОДАЧИ СОЖ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Степанов М.С., канд. техн. наук.

(г. Харьков, Украина)

In clause new principles creation engineering of submission metal-working lubricants in a zone of grinding which take into account a design of a detail and the circuit of grinding are offered.

Для достижения требуемых качества и точности обработки важен не только выбор СОЖ, но и эффективное ее использование, определяемое способом ее транспортирования в зону шлифования.

Способ и техника подачи СОЖ должны обеспечить благоприятные условия попадания жидкости в зону контакта и тем самым гарантировать ее активное участие в процессе резания.

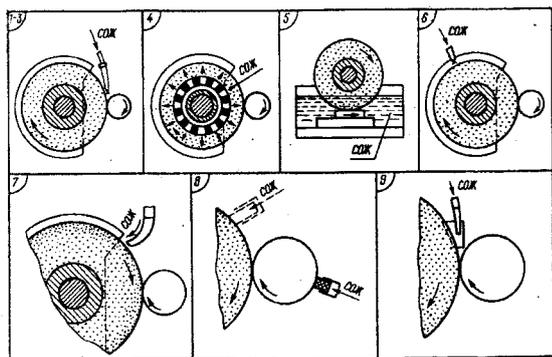


Рис.1. Способы подачи СОЖ в зону шлифования.

Исследования аэродинамических явлений, сопровождающих процесс круглого наружного шлифования, с помощью функции тока и численного моделирования позволили предложить новые пути повышения эффективности СОЖ, основанные на управлении формированием и движением воздушных потоков.

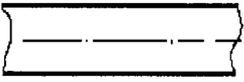
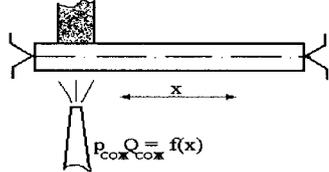
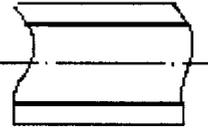
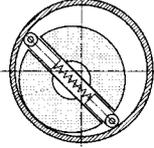
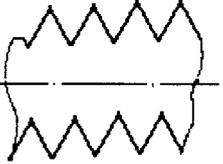
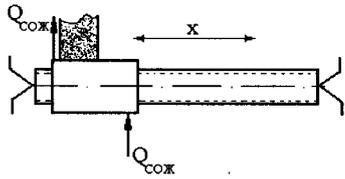
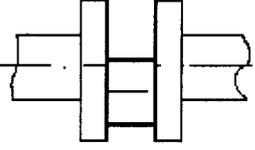
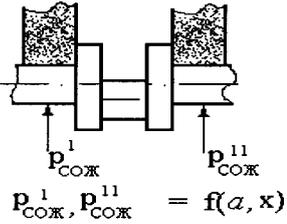
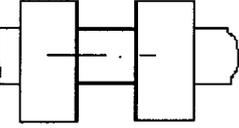
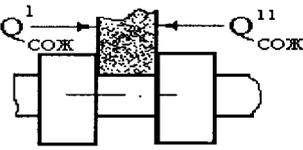
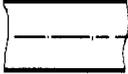
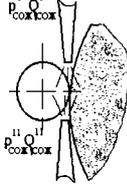
До настоящего времени в основе развития техники подачи СОЖ в зону контакта (рис.1) лежали три основных принципа на базе которых, созданы основные способы и их возможные комбинации [1]:

- повышение скорости движения СОЖ относительно объектов процесса резания;
- рационализация траектории движения жидкости;
- оптимизация расхода подачи СОЖ, активно участвующей в процессе резания, так как слишком

большое количество СОЖ приводит к увеличению суммарной гидродинамической силы в контакте и требует более мощного насосного оборудования, а недостаточный ее расход ухудшает условия теплообмена.

Таблица

Принципиально новые схемы способов подачи СОЖ

№	Форма обрабатываемой поверхности	Основные требования	Схема устройства или способа	Источник информации
1		Прямолинейность образующей		[*]
2		Упроченный поверхностный слой		[4]
3		Отсутствие прижогов на профиле резьбы, прямолинейность образующей		[5]
4		Минимальная погрешность в поперечном сечении		[*]
5		Отсутствие прижогов при максимальной производительности		[*]
6		Отсутствие прижогов при максимальной производительности		[6]

[*]- материалы в печати

Как показывает анализ, большинство из разработанных схем и способов обладают высокой степенью унификации и не учитывают большинство специфических особенностей, возникающих при шлифовании конкретной заготовки. Вместе с тем такой подход практически исчерпал себя и для повышения технологических возможностей СОЖ предлагаются новые положения которые, кроме режимных параметров обработки учитывают в максимальной степени конструктивные и другие особенности заготовки, инструмента и станка (табл.):

-проектирование элементов в конструкции станка должно производиться не только с учетом требований беспрепятственного проникновения СОЖ в зону контакта, но и гарантировать возможности повышения кинетической энергии потока СОЖ.

-при разработке техники подачи СОЖ следует использовать элементы конструкции заготовки для создания высоких давлений с целью обеспечения попадания СОЖ в зону контакта с одной стороны и повышения жесткости технологической системы с другой :

-при шлифовании маложестких заготовок следует для управления их деформациями использовать энергию струи СОЖ;

-целесообразно создавать условия устраняющие разбрызгивания СОЖ;

-предпочтительно при обработке заготовок с переменной жесткостью управлять гидравлическими параметрами;

-следует рационально использовать СОЖ на различных этапах цикла шлифования с целью снижения энергозатрат и повышения КПД[2];

-следует перераспределять потоки СОЖ таким образом, чтобы максимальное и минимальное значение давления и подачи СОЖ обеспечивалось в областях с наиболее и наименее нагруженными зернами [3].

Литература

1. Смазочно-охлаждающие жидкости для механической обработки. Руководство по эксплуатации. НИИМАШ, 1979, 68с.
2. Степанов М.С. Управление параметрами подачи СОЖ в цикле врезного шлифования. Резание и инструмент в технологических системах. №59, 2001, с. 179-180.
3. Степанов М.С. Нормативные значения давления и расхода подачи СОЖ на операциях продольного абразивного шлифования. Вестник НТУ «ХПИ», №11, 2001, с. 136-140.
4. Патент України на винахід №43691 В24В МКл⁷ 55/02 “Пристрій для кінцевої, з використанням змащувально-охолоджувальної рідини, обробки внутрішніх циліндричних поверхнь” / М.С.Степанов, О.Л.Коваленко, Борисов Д.В., Мішустін Д.Б., Морозов Р.В., -2001053216. Оубл. 17.12.2001. Бюл. №11.
5. Патент України на винахід №46497 В24В МКл⁷ 55/02 “Пристрій для подачі змащувально-охолоджувальної рідини під час шліфування довгомірних заготовок” / М.С.Степанов, А.М.Онищенко, Е.О.Шевченко, -2001075362. Оубл. 15.05.2002. Бюл. №5
6. Степанов М.С. Подача СОЖ при скоростном прерывистом шлифовании. Вестник НТУ «ХПИ», №6, 2001, с. 241-244.

УДК 533.9:534.1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ИОННОГО ТОКА В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАЗМЕННО-ИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Костюк Г.И., докт. техн. наук, Белов Н.Л., Костюк Е.Г., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Research of accommodation of density of an ionic current in displacement volume of the installation for plasma ionic processing

Применение плазменно-ионной обработки для упрочнения деталей машин выдвигает ряд высоких требований к упрочняемым деталям. Толщина покрытий не должна существенно зависеть от места размещения детали в рабочем объеме установки:

- Отличие толщины покрытия на одной детали не должна превышать 10%
- Рациональное конструирование технологической оснастки и обработка деталей с плоскостями, устанавливаемыми под различными углами к потоку требует исследования влияния угловых параметров потока по отношению к детали на плотность тока;
- Плотность тока как и напряжение на подложке определяет тепловой поток на деталь, а следовательно и температуру обработки, которая ограничивается температурами, приводящими к изменению кристаллического и фазового состава;
- Производительность обработки зависит так же от плотности тока и с позиций повышения производительности необходимо повышение плотности тока.

Анализ влияния плотности тока на качество и производительность показывает, что плотность тока является одним из основных физических параметров, влияющих на эффективность технологии

Проводилось изучение следующих зависимостей:

- Зависимостей плотности ионного тока от радиуса (пространственные кривые, учитывающие характер, азимутальных неоднородностей распределения ионного тока);
- Зависимостей плотностей ионного тока (максимальных значений, средних значений и минимальных значений) от напряжения на подложке (детали), от тока основного разряда, от давления азота и от тока фокусирующего магнита.

Примеры исследования влияния напряжения на подложке (рис. 1,а) и тока дуги (рис. 1,б) говорят о том, что

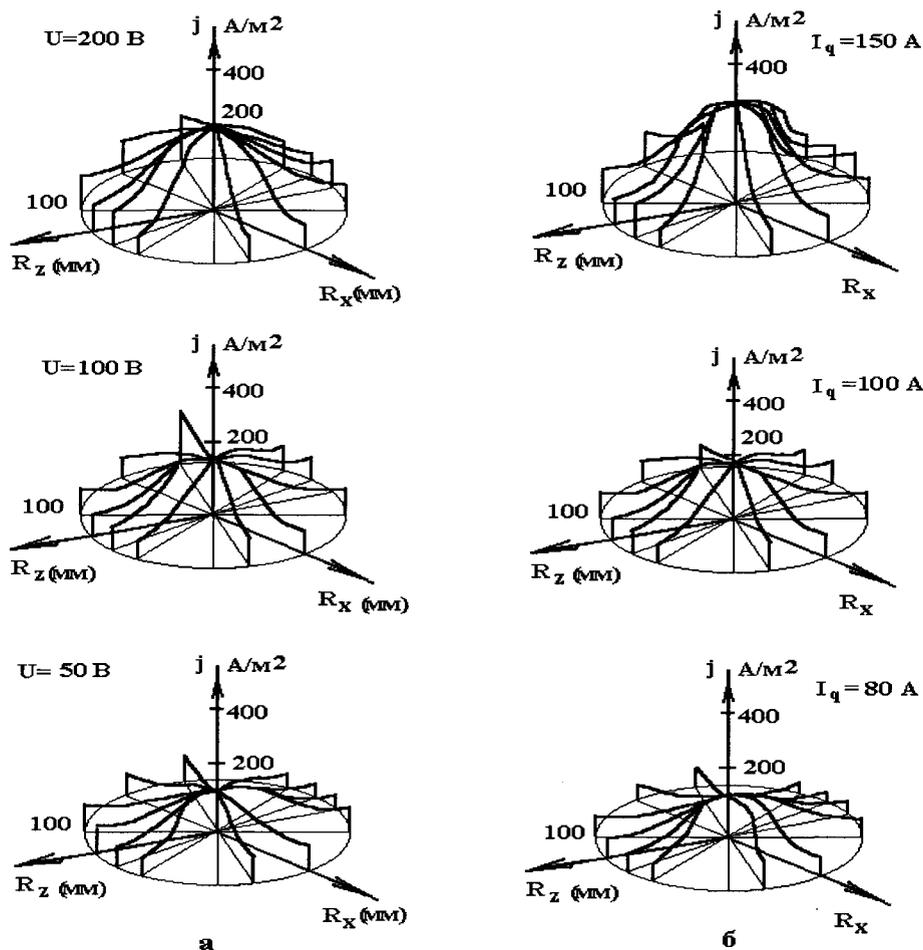


Рис. 1. Распределение плотности ионного тока по радиусу при работе одного источника: а) при изменении напряжения подложки; б) при изменении тока дуги.

при работе одного испарителя наблюдается некоторая неоднородность распределения плотности тока по угловой координате, а максимальные значения плотности тока достигают 100 A/m^2 , причем, влияние тока дуги на плотность тока более ощутима.

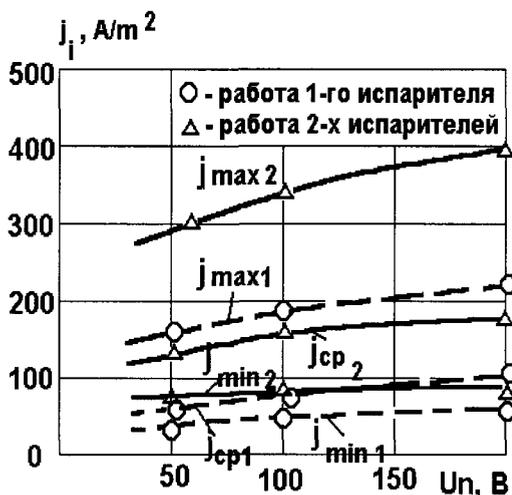


Рис. 2. Зависимость плотности тока от напряжения на подложке.

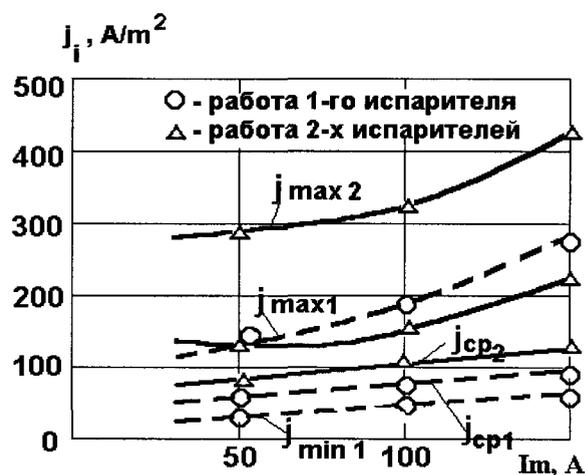


Рис. 3. Зависимость плотности тока от тока основного разряда.

Анализ зависимости плотности ионного тока (максимальных значений, средних и минимальных) от напряжения на подложке (детали) (рис. 2), от тока дуги (рис.3) от давления азота (рис. 4) и от тока фокусирующего магнита (рис. 5) говорит, что с ростом напряжений на подложке, тока основного разряда и тока фокусирующе-

го магнита плотность тока растет, тогда как с ростом давления реактивного газа падает. Следует отметить наиболее существенное влияние тока основного разряда и тока фокусирующего магнита на плотность тока, тогда как влияние напряжения на подложке и давление азота менее существенно.

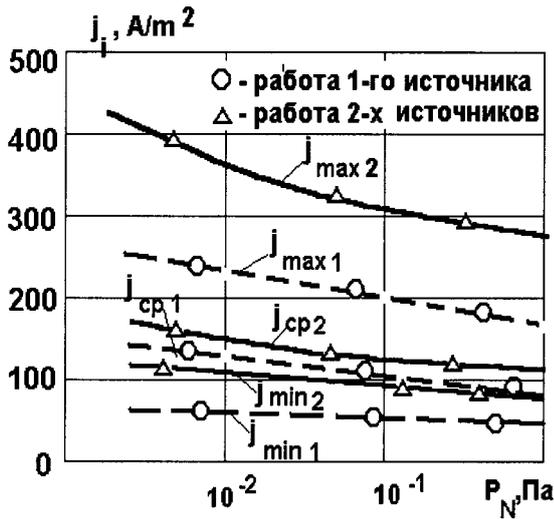


Рис. 4. Зависимость плотности тока от давления азота.

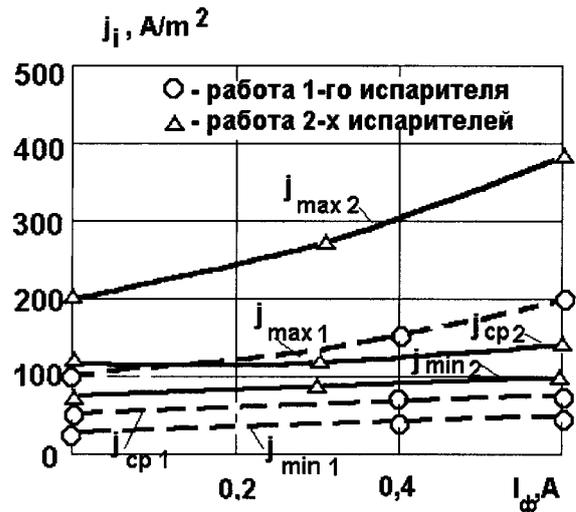
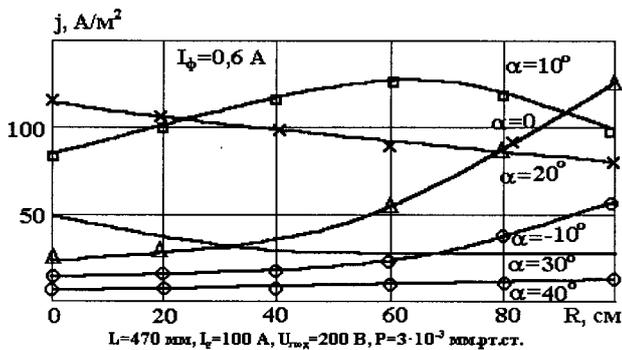
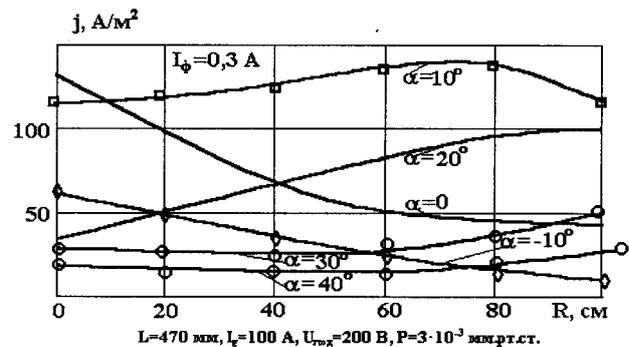


Рис. 5. Зависимость плотности тока от тока фокусирующего магнита.

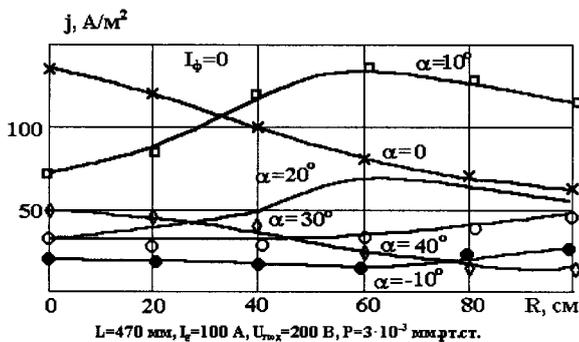
Исследование влияния тока фокусирующего электрода в различных точках подложки детали на характер угловых составляющих плотности тока представлены на рис. 6. Видно, что максимальные плотности тока реализуются не при нормальном падении потока ионов ($\alpha = 0$), а при углах 10° и 20° , что говорит о возможности использования этого эффекта для деталей имеющих соответствующие поверхности, а также для конструирования оснастки.



а)



б)



в)

Рис. 6. Распределение плотности ионного тока по радиусу при различных углах установки датчиков.

Исследование зависимостей плотности ионного тока от угла расположения датчика ионного тока для различных условий размещения датчика на подложке представлено на рис.7. Видно, что для различных условий фокусировки есть условия, когда реализуются максимальные плотности тока: для тока фокусирующего магнита, 0,3 А максимальные плотности тока реализуются для углов $10^\circ \dots 20^\circ$, для тока 0,6 А для углов от 0° до 20° ,

для $I_\phi = 0$ в основном вблизи 10° .

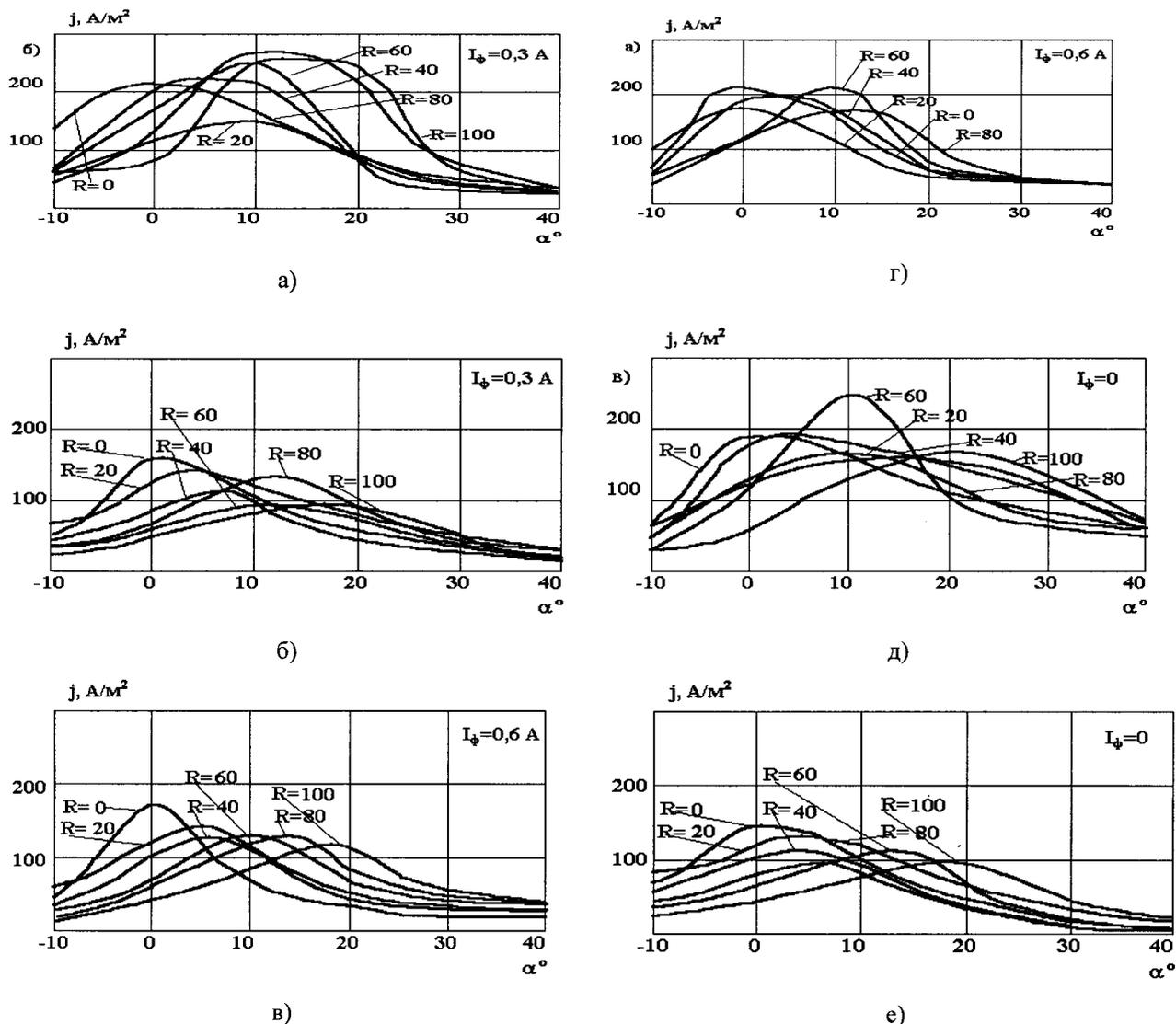


Рис. 7. Распределение плотности ионного тока по кривой координате в различных точках рабочей камеры (различные R) при различных токах фокусировки.

Проведенные исследования влияния различных параметров на распределения плотности тока в различных точках подложки и при различных углах падения потока позволяют получить функции физического параметра плотности тока и получить ее связь с технологическими параметрами.

УДК 621.7.01:621.791.1

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА РЕЛАКСАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Агеенко С.Б., Горелкова Л.Е., канд. техн. наук, Приходченко В.А., канд. техн. наук,
Спольник А.И., докт. физ-мат. наук, Волчок И.В., канд. физ-мат. наук

(г. Харьков, Украина)

It is shown that problem of a heightening of reliability of rotors turbo-compressors highly reverse of drives of agricultural engineering can be solved by application of ultrasonic machining of a welded node "the shaft – turbine". Ultrasonic treatment yields reduction of a level of residual technological stresses and heightening of relaxational stability of the shaft.

Одним из основных этапов изготовления ротора турбокомпрессора является сварка трением стального вала (40Х, 40Г) с турбиной из жаропрочного никелевого сплава СЖЛ-800, обеспечивающая высокую прочность сварного соединения из разнородных сплавов. Долговечность ротора в значительной степени определяется надежностью сварного узла, зависящей от уровня в нем остаточных сварочных напряжений.

При охлаждении сварки никелевый сплав не претерпевает фазовой перекристаллизации, а в стали протекает $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение с образованием структур различной морфологии, в том числе и закалочных, в зависимости от скорости охлаждения и химического состава слоя, прилегающего к стыку, который подвергся сложному термомеханическому воздействию. В результате структурное состояние узла в целом характеризуется высокой неоднородностью полей внутренних напряжений, что отражает характер распределения микротвердости на различном удалении от оси вала (рис.1). Наибольшее превышение значений микротвердости над фоновыми составляет 106% и наблюдается в приповерхностном слое стального вала, где линейная скорость вращения была максимальной. Значения микротвердости 500...5540 МПа свидетельствуют о наличии тросто-мартенситной структуры в стальном слое в зоне сварного шва.

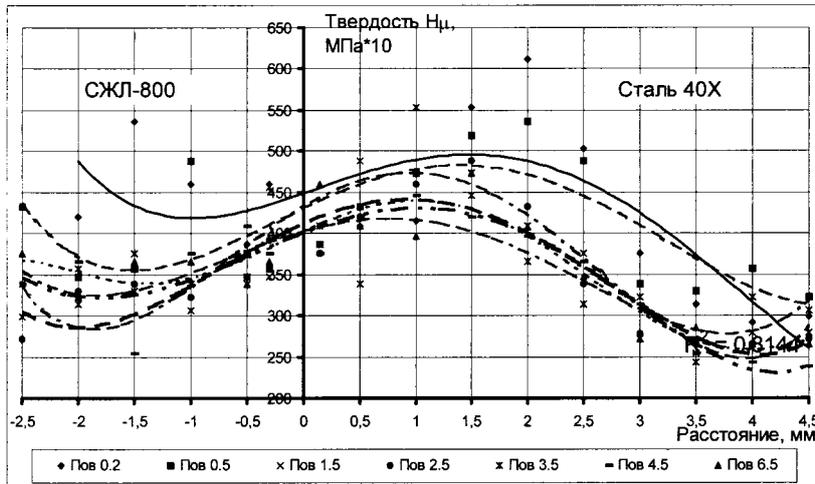


Рис.1. Послойное распределение микротвердости H_c в диаметральном сечении сварного узла непосредственно после сварки.

Термическая обработка сварного узла, направленная на снятие остаточных напряжений и получения однородной структуры, предполагающая нагрев выше критических точек, из-за различия коэффициентов линейного расширения материалов, протекания полиморфного превращения в стали и отсутствия такового в никелевом сплаве приводит к возникновению микро и макронапряжений.

Термическая обработка сварного узла, направленная на снятие остаточных напряжений и получения однородной структуры, предполагающая нагрев выше критических точек, из-за различия коэффициентов линейного расширения материалов, протекания полиморфного превращения в стали и отсутствия такового в никелевом сплаве приводит к возникновению микро и макронапряжений.

Нередко стендовые испытания, а также начальные стадии эксплуатации узла, вызывают релаксацию остаточных напряжений в виде изгиба вала ротора, с последующим дисбалансом и преждевременным его разрушением. В связи с этим представляет научный и практический интерес изучение и разработка таких методов снятия внутренних напряжений, при которых в изделии развиваются процессы микропластической деформации, сохраняющие размерную стабильность узла и, соответственно, его надежность при эксплуатации. Важнейшее требование заключается в том, чтобы постоянство размеров подвески ротора сохранялось в условиях длительной эксплуатации как при постоянной повышенной, так и при переменной температурах. К таким методам обработки можно отнести ультразвуковую обработку (УЗО), которая реализует пластические деформации в пределах микроупругости материала. Целью настоящей работы было изучение возможностей применения УЗО ($f \sim 20$ кГц) к узлу турбоколесо - вал и ее влияние на уровень внутренних напряжений в нем.

УЗО осуществляли после операции закалки шеек вала ТВЧ путем непосредственного жесткого (для создания акустического контакта) крепления хвостовика вала к концентратору ультразвуковых колебаний.

После объемной УЗО методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре (ДРОН-3) изучалось уширение дифракционных линий. Сопоставление рентгенограмм исходного материала и после УЗО показало, что ширина линий изменяется по закону тангенсов и, таким образом, в этом случае основным фактором, вносящим вклад в уширение дифракционной линии, являются микроискажения ($\frac{\Delta d}{d} = \frac{\beta}{4 \cdot \operatorname{tg} \theta}$, где β - уширение, θ - брегговский угол), определяющие уровень внутренних напряжений (σ).

Обработка ротора проводилась с амплитудой ультразвуковых колебаний ~ 20 мкм ($f \sim 18,5$ кГц), что обуславливало ультразвуковой нагрев за счет гистерезисных потерь колебательной энергии в материале. Температура контролировалась термопарой хромель-капель и в области шейки вала и составляла $180-200^\circ\text{C}$. Проведенные измерения и расчеты показали, что в результате применяемого режима УЗО в узле турбоколесо-вал имеет место существенное снятие внутренних напряжений, проявляющиеся в уменьшении физического уширения дифракционных линий, обусловленное снижением уровня микроискажений в материале пришовной области. Так как микроискажения определяются, в основном, количеством линейных структурных дефектов, то можно заключить, что при УЗО реализуются релаксационные процессы за счет уменьшения плотности этих дефектов.

Известно, что в условиях низкого отпуска происходит перераспределение углерода и снижение тетрагональности решетки мартенсита. Термоультразвуковая обработка, позволяющая создавать в материале повышенную плотность вакансий и дислокаций, создает термодинамические предпосылки ускорения диффузии углерода, и таким образом, его перераспределение будет происходить более интенсивно. В результате существенно сокращается время термической обработки, обеспечивающей необходимые свойства. Для достижения твердости $52 \dots 54$ HRC, при УЗО требуется время практически в $20 \dots 30$ раз меньше, чем при обычном печном отпуске 200°C .

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать заключение, о том, что применением УЗО возможно исключить печной низкотемпературный отпуск.

УДК 621.923

УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

Коломиец В.В., докт. техн. наук, Клименко С.А., докт. техн. наук,

Фабричникова И.А., Кленов О.С.

(г. Харьков, г. Киев, Украина)

Parts Strengthening by Cutting. V.V.Kolomiets, S.A.Klimenko, I.A.Fabrichnikova, O.S.Klyonov, parts strengthening finishing done by PEHM cutters is considered.

Физическое состояние поверхностного слоя деталей машин оказывает основное влияние на их эксплуатационные характеристики и долговечность. Остаточные напряжения, структурные состояния и микротвердость особенно влияют на эксплуатационные свойства деталей машин при окончательных методах обработки.

Установлено, что наличие в поверхностном слое остаточных растягивающих напряжений приводит к низкой работоспособности деталей и малой их долговечности [1]. Применение при чистовой обработке инструментов

из сверхтвердых материалов (ПСТМ) приводит к образованию в поверхностном нанесенном слое только сжимающих остаточных напряжений, которые увеличивают работоспособность деталей [2].

Проверка величин остаточных напряжений показала, что при обработке закаленной стали резцами из эльбора-Р в поверхностном слое образуются только сжимающие тангенциальные и радиальные остаточные макронапряжения с глубиной залегания до 0,1 мм. Величина и степень деформации металла при точении зависит от ряда факторов, сочетание которых определяет физическое состояние поверхностного слоя. Важным при этом является сочетание твердости обрабаты-

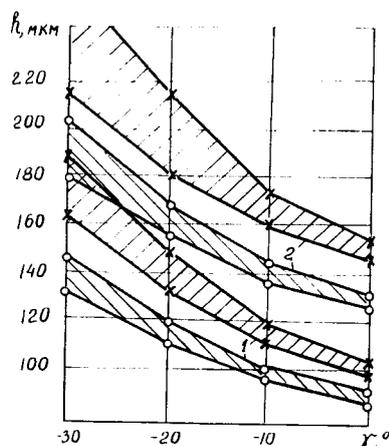


Рис. 1. Влияние переднего угла γ при чистовом точении: 1— Нп-12X18H9T, 2— ПП-Нп-10X14T резцами из $\times-\times$ T15K6; \circ — гексанита-Р.

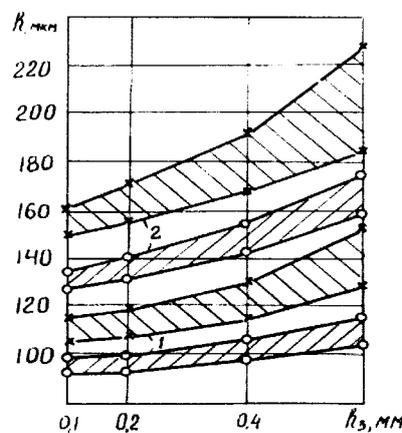


Рис. 2. Влияние износа резца h_3 при чистовом точении: 1— Нп-12X18H9T, 2— ПП-Нп-10X14T резцами из $\times-\times$ T15K6; \circ — гексанита-Р.

ваемой поверхности и геометрии инструмента. Из геометрических параметров режущего инструмента на процесс упрочнения поверхностного слоя обрабатываемой детали основное влияние оказывает величина переднего угла, от которого зависит стружкообразование (усадка стружки ξ и величина угла сдвига β) [3]. Так при чистовом точении деталей, восстановленных наплавленными материалами различной твердости Нп-12X18H9T (HRC 35) и ПП-Нп-10X14T (HRC 52) резцами из твердого сплава T15K6 и из сверхтвердого материала на основе нитрида бора типа гексанит-Р (K10) и киборита (K11), при изменении переднего угла γ от 0° до -30° глубина наклепанного слоя изменяется по-разному. Если при точении материала с большей склонностью к наклепу Нп-12X18H9T резцами из твердого сплава T15K6 глубина наклепанного слоя изменяется в 1,8 раза, то при точении материала с меньшей склонностью к наклепу ПП-Нп-10X14T этими же резцами глубина наклепа изменяется в 1,5 раза (рис.1).

Таблица

Характеристики наклепа Нп-12X18H9T после точения резцами из гексанита-Р

Скорость резания, м/с	Глубина наклепа, h , мм				Степень наклепа, N , %			
	Износ резца по задней поверхности, h_3 , мм							
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,1	0,2	0,4	0,6
1,5	0,13	0,14	0,16	0,19	18	26	42	58
2,0	0,09	0,10	0,12	0,15	15	23	35	42
2,5	0,08	0,09	0,11	0,13	13	20	28	38
3,0	0,09	0,10	0,12	0,14	14	22	33	41
3,5	0,11	0,12	0,14	0,17	16	25	40	48
4,0	0,13	0,14	0,16	0,20	18	28	43	58

Примечание: $S = 0,1$ мм/об; $t = 0,2$ мм. Без СОЖ.

При такой же обработке этих же наплавленных материалов резцами из сверхтвердых материалов глубина наклепанного слоя от изменения величины переднего угла изменяется в большей степени. Так при точении материала Нп-12X18H9T глубина наклепанного слоя от изменения переднего угла увеличивается в 2,8 раза, а при точении материала ПП-Нп-10X14T она в два раза меньше. Поэтому величина переднего угла при точении мате-

риалов высокой твердости должна выбираться из условия максимальной прочности режущего инструмента, при которой наблюдается его высокая стойкость.

По мере износа режущего инструмента из любого инструментального материала увеличивается радиус округления его режущих кромок и при большой величине износа его значение при чистовом точении становится больше толщины среза ($\rho > a$).

Кроме того установлено, что при увеличении износа резца по задней поверхности сильно увеличивается радиальная составляющая силы резания P_y , которая оказывает основное влияние на глубину наклепанного слоя (рис.2).

Однако, величина износа инструмента больше влияет на характеристики наклепа с одновременным изменением и скорости резания. Из таблицы видно, что при увеличении скорости резания v глубина и степень наклепа имеют экстремальный характер с минимумом при оптимальной скорости резания для данного обрабатываемого материала.

Таким образом доказано, что при чистовом точении материалов резцами из ПСТМ в результате упругих пластических деформаций происходит значительное упрочнение поверхностного слоя, которое оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики деталей машин.

Литература

1. Кудрявцев П.И. Остаточные сварочные напряжения и прочность соединений. – М.: Машиностроение, 1964. – 95с.
2. Кравченко Б.А., Чертов Л.Я., Шин И.Г. Формирование остаточных напряжений при точении твердых сплавов резцами из карбонадо. // Вестник машиностроения, 1981. – №12. – С.48-49.
3. Коломиец В.В. Новые инструментальные материалы и область их применения. Учебное пособие. – Киев: УМК ВО, 1990. – 64с.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОЧЕНИЕМ РЕЗЦАМИ ИЗ КИБОРИТА

Ридный Р.В.

(г. Харьков, Украина)

Carry out optimisation of the conditions of turning melting surfaces of cutters with round plates from cborit mark K11 gives the possibility to receive such parameters of quality which provide best hour of first wearing.

Все важнейшие эксплуатационные свойства определяются трением и износом. Характеристики явлений трения и износа определяются в значительной мере микрогеометрией трущихся поверхностей. Протекание процесса изнашивания происходит в три этапа: приработочный износ, нормальный износ и катастрофический износ.

Приработочный износ определяет величину общего износа; темп и величину нормального износа; схватывание, задиры, заедания в процессе нормального износа; размещение и расход смазочных материалов; температуру в зоне трения. Приработочный износ характеризуется прирабатываемостью. Прирабатываемость поверхности – это склонность к образованию в кратчайший срок с минимальным износом без дефектов и схватывания оптимальной микрогеометрии, обеспечивающей максимальную её износостойкость.

Влияние формы и параметров поверхностного слоя деталей на эксплуатационные свойства рассматривалось во многих работах отечественных и зарубежных авторов [1, 2, 3]. Однако вопрос этот не теряет своей актуальности. Так как чем точнее будет выполнена оптимизация отдельных параметров микрогеометрии поверхности, тем более существенным будет их влияние на отдельные эксплуатационные свойства и долговечность механизма в целом.

В связи с этим были проанализированы закономерности формирования микронеровностей, которые образуются на поверхности штоков гидроцилиндров тракторов, которые были наплавлены легированной проволокой Нп-30ХГСА электродуговым способом и подвергнуты лезвийной обработке инструментом из СТМ - К11 (киборит, диаметром 7 мм) без СОЖ. Анализ проводился по параметрам R_a , η_s и форме микронеровностей.

Точение наплавленных поверхностей проводилось по планированию эксперимента с целью получения эмпирических зависимостей показателей качества от факторов, которые оказывают наибольшее влияние на параметры шероховатости: режимы резания (скорость резания и подача), а также износ резца по задней поверхности. Для создания математической модели был выбран ротатабельный план второго порядка на три фактора. Интервалы варьирования факторов: скорость резания $V=1,4-2,8$ м/с, подача $S=0,09-0,15$ мм/об, износ резца по задней поверхности $h_s=0,03-0,37$ мм. Следует отметить то, что глубина резания не принималась во внимание потому, что при чистовом точении на шероховатость она существенного влияния не оказывает.

В результате проведенных расчётов было получено уравнение регрессии:

$$R_a=0,81X_1+0,063X_2+0,252X_3-0,127X_1X_2+0,103X_1X_3+2,510^{-3}X_2X_3-0,07X_1^2-0,114X_2^2+0,328X_3^2.$$

Анализ уравнения показал, что наибольшее влияние на среднюю арифметическую высоту неровностей (в дальнейшем высоту неровностей) оказывает износ режущего инструмента по задней поверхности. Увеличение скорости резания приводит к уменьшению высоты неровностей, а увеличение подачи – к росту высоты.

Параметры микронеровностей и их форма влияют на характер трения и износа, что в свою очередь определяет многие эксплуатационные свойства, в том числе прирабатываемость. Как отмечалось выше, приработочный износ определяет в конечном итоге величину общего износа и характеризуется прирабатываемостью. Наилучшей прирабатываемостью обладает поверхность с микронеровностями, которые не имеют очень острых вершин в начальный момент времени.

Значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей оказывает характер изменения опорной (несущей) площади каждой из сопрягаемых поверхностей.

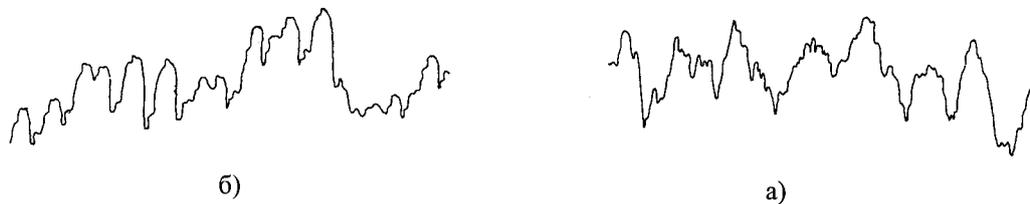


Рис. 1. Профилограммы обработанной наплавленной поверхности резцами с круглыми пластинами из киборита (К11) с параметрами:

а) – $V = 2,5 \text{ м/с}$, $S = 0,1 \text{ мм/об}$, $h_3 = 0,1 \text{ мм}$; б) – $V = 2,5 \text{ м/с}$, $S = 0,14 \text{ мм/об}$, $h_3 = 0,3 \text{ мм}$.

При точении с различными сочетаниями V , S и h_3 форма неровностей отличается: при точении с параметрами: $V = 2,5 \text{ м/с}$, $S = 0,1 \text{ мм/об}$, $h_3 = 0,1 \text{ мм}$, неровности получаются меньшей высоты и однородные (рис. 1а), а при точении с $V = 2,5 \text{ м/с}$, $S = 0,14 \text{ мм/об}$, $h_3 = 0,3 \text{ мм}$ получаются более высокие и неоднородные (неравномерные) выступы, (рис. 1б). В свою очередь такое изменение формы микронеровностей приводит к изменению опорной площади поверхности (табл. 1). Площадь опорной поверхности оценивали по параметрам:

$$\varepsilon_i = \frac{a_i}{\bar{H}_{max}}$$

где: ε_i - относительное сближение на данном уровне; a_i - уровень, отсчитанный по профилограмме от линии \bar{H}_{ac} , мм; \bar{H}_{max} - математическое ожидание максимальной высоты профиля, мм.

$$\eta_{si} = \frac{\Delta L_i}{L}$$

где: η_{si} - относительная опорная длина профиля на данном уровне; ΔL_i - сумма длин отрезков профиля на данном уровне, мм; L - суммарная длина профилограмм измеряемых участков, мм.

Таблица 1.

Относительная опорная длина профиля η_s на различных уровнях поверхностей обработанных точением с различными параметрами

№ опыта	Режимы резания и износ инструмента по задней поверхности		Уровни измерения, $l-\varepsilon$								
			0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
1	$V = 2,5 \text{ м/с}$ $S = 0,14 \text{ мм/об}$	$h_{31} = 0,1 \text{ мм}$	0.05	0.12	0.27	0.48	0.61	0.76	0.85	0.91	0.96
		$h_{32} = 0,3 \text{ мм}$	0.06	0.13	0.16	0.26	0.4	0.55	0.7	0.92	0.97
2	$V = 2,5 \text{ м/с}$ $h_3 = 0,3 \text{ мм}$	$S_1 = 0,1 \text{ мм/об}$	0.1	0.18	0.32	0.49	0.69	0.83	0.89	0.93	0.98
		$S_2 = 0,14 \text{ мм/об}$	0.06	0.13	0.16	0.26	0.4	0.55	0.7	0.92	0.97
3	$h_3 = 0,1 \text{ мм}$ $S = 0,1 \text{ мм/об}$	$V_1 = 1,7 \text{ м/с}$	0.02	0.04	0.1	0.32	0.56	0.76	0.86	0.93	0.98
		$V_2 = 2,5 \text{ м/с}$	0.04	0.1	0.25	0.45	0.68	0.78	0.88	0.93	0.96

Из сопоставления результатов измерения относительной опорной длины η_s следует, что несущая способность поверхностей, обработанных с различными значениями v , s и h_3 существенно отличается.

Увеличение скорости резания всегда приводит к уменьшению высоты микронеровностей, что в свою очередь вызывает незначительный рост опорной площади (табл.1, опыт №3): при $V = 1,7 \text{ м/с}$ $\eta_s = 0.1$; при $V = 2,5 \text{ м/с}$ $\eta_s = 0,25$.

Увеличение подачи приводит к увеличению шага неровностей, что уменьшает количество выступов на единицу длины и неизбежно вызывает уменьшение фактической площади соприкосновения поверхностей (табл.1, опыт №2): $S = 0,1 \text{ мм/об}$ $\eta_s = 0,32$; при $S = 0.14 \text{ мм/об}$ $\eta_s = 0,16$.

Изменение величины износа резца по задней поверхности также вызывает значительное изменение опорной площади (табл.1, опыт №1): $h_3 = 0,1$ $\eta_s = 0,27$; при $h_3 = 0,3$ $\eta_s = 0,16$. Увеличение износа ведёт к росту составляющей

силы P_y и интенсивности её колебаний, что вызывает рост высоты микронеровностей и уменьшение опорной площади.

Если судить по начальным участкам кривых, то можно сделать вывод о том, что в процессе приработки возрастание площади опорной поверхности будет значительно более интенсивным у поверхности (на уровне 30-40 % от R_{max}). Поэтому на эксплуатационные свойства поверхностей деталей оказывают наибольшее влияние именно неровности, расположенные на уровне 30-40 % от R_{max} .

На основании проведенного анализа можно рекомендовать оптимальные параметры процесса резания и износа реза, которые способствуют образованию поверхностей с наибольшей опорной площадью на уровне 30-40% от R_{max} : $V=2,5\text{ м/с}$, $s=0,1\text{ мм/об}$, $h_s=0,1\text{ мм}$.

Шероховатость поверхности детали оказывает влияние на эксплуатационные свойства (износостойкость) только в период приработки. От шероховатости зависит также длительность этого периода. Поэтому при создании оптимального уровня шероховатости, имеющей большую опорную площадь, сокращается продолжительность приработки, предотвращается развитие явлений повреждаемости.

Литература

1. Шнайдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства.- Л.: Машиностроение, 1972.- 240с.
2. Сулима А.М., Шулов Ю.Д., Ягодкин. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 243с.
3. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 232с.

УДК 621.923

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛИТОВЫХ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОБУРОВОЙ ТЕХНИКЕ

Ткаченко В.П.

(г. Харьков, Украина)

The results of long-term work on creation of reliable face condensation for of an electric equipment, and also machines and devices of various industries are generalized.

В ОАО завод «Потенциал» (г. Харьков) освоено производство прогрессивных конструкций релитовых торцовых уплотнений для электробуров, погружных электродвигателей серии ПЭД и бытовых насосов. В резуль-

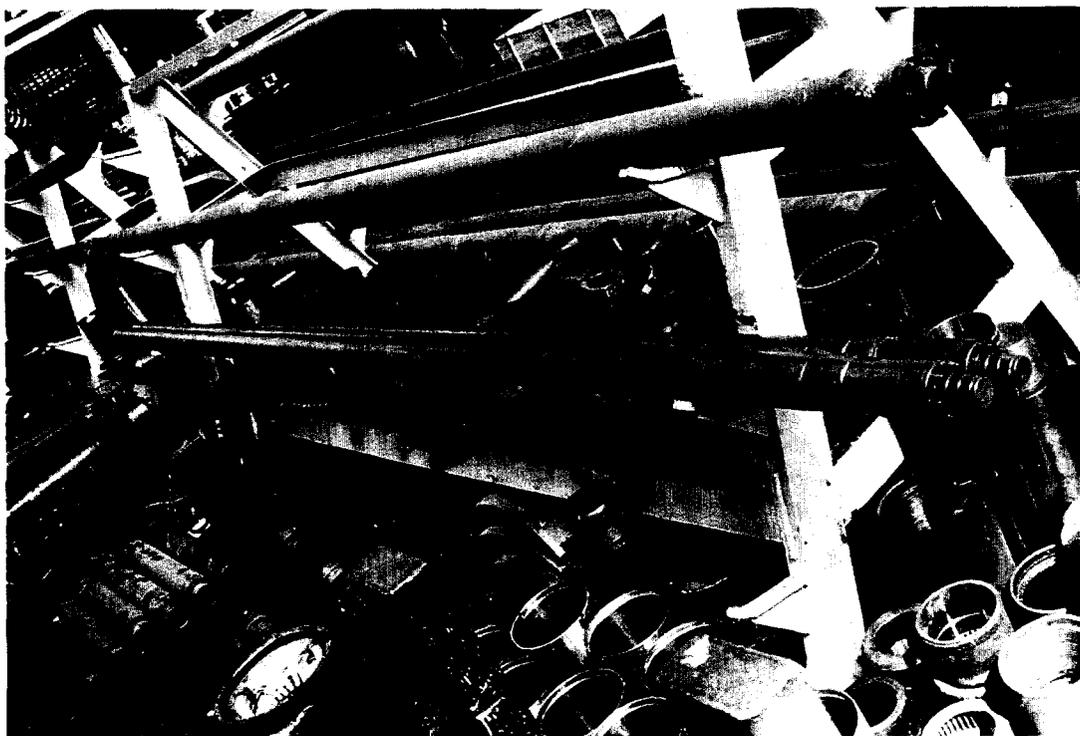


Рис.1. Погружные электродвигатели.

тате решена важная народно-хозяйственная задача, что получило признание в бывшем СССР и за рубежом.

Теоретические и экспериментальные исследования, а также многолетний опыт эксплуатации уплотнений в электробурах и погружных электродвигателях ПЭД, позволили разработать новый подход к решению проблемы создания надежных торцовых уплотнений. Было установлено, что в зазоре пары трения торцовых уплотнений возможно знакопеременное течение жидкости, что связано с влиянием динамики уплотнений. Следовательно, при малых перепадах давления масла зазор пары трения может заполняться промывочной или пластовой жидкостью, которые обычно содержат абразивные частицы. Поэтому, трущиеся поверхности уплотнений погружного электрооборудования должны, в первую очередь, обладать высокой износостойкостью. Этим условиям не соответствовали применявшиеся ранее торцовые уплотнения:

- в электробурах с парой трения «сталь-бронза»;
- в погружных электродвигателях – «углеграфит 2П100Ф – минералокерамика ЦМ-332» (торцовые уплотнения Нальчикского машиностроительного завода).

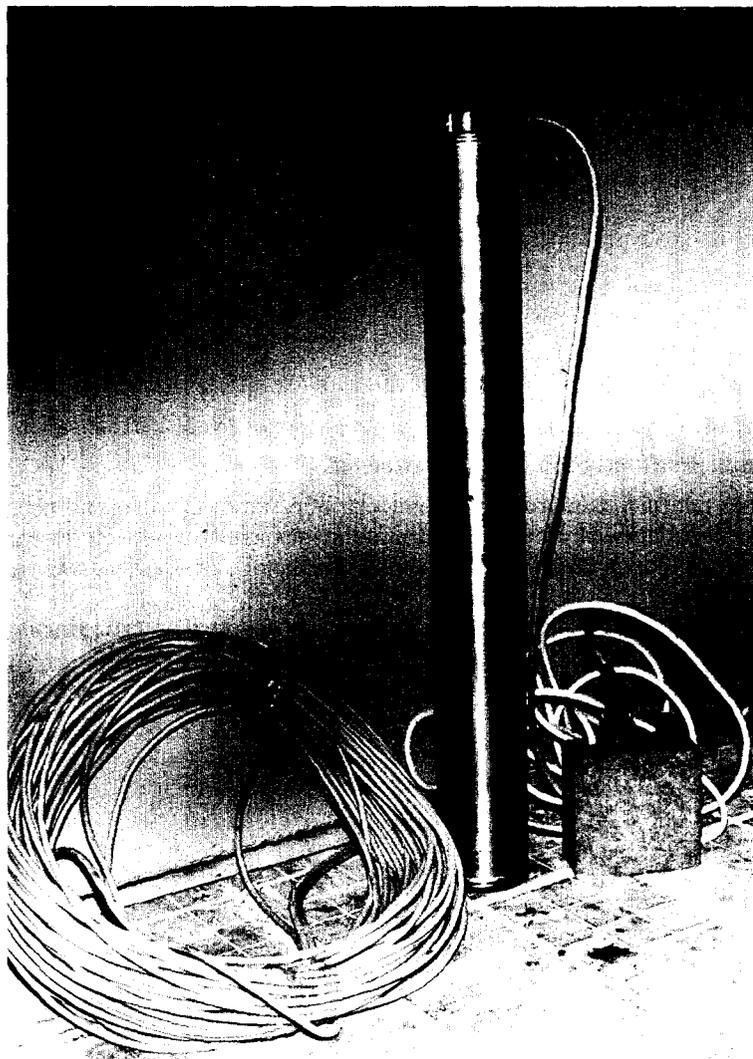


Рис.2. Бытовой насос.

Разработанные релитовые торцовые уплотнения, в которых оба кольца имеют одинаковую трущуюся поверхность, обладают высокой износостойкостью благодаря большой твердости зерен релита и хорошим антифрикционными свойствами, что определяется присутствием медной связки (компонента релитового слоя).

Основная особенность способа получения износостойкой поверхности состоит в том, что кольца торцового уплотнения изготавливаются из любой стали (в том числе нержавеющей стали) и лишь на торцовой поверхности выполняется рабочий износостойкий релитовый слой, прочно связанный со стальной основой. Высокая износостойкость обеспечивается благодаря применению твердых зерен релита, представляющего собой литой карбид вольфрама эвтектической структуры ($WC + W_2C$). Преимущество релитовых торцовых уплотнений состоит еще и в том, что наряду с высокой износостойкостью и антифрикционностью они лишены хрупкости и склонности к терморастрескиванию и являются наиболее технологичными и ремонтпригодными по сравнению с зарубежными аналогами.

Высокая твердость релитового слоя уплотнения и высокие требования к качеству его обработки (параметр шероховатости $R_a < 0,1$ мкм, неплоскостность – менее 0,9 мкм) вызвали большие трудности при разработке технологии обработки рабочих поверхностей уплотнений. Работы по созданию и совершенствованию

технологии механической обработки рабочих поверхностей уплотнений проводились в ОАО завод «Потенциал» более 20 лет. В результате создана и успешно функционирует высокоэффективная технология алмазно-абразивной обработки релитовых торцовых уплотнений. Съем основной части припуска релитового слоя (толщиной более 1 мм) уплотнений производится на плоскошлифовальном станке в многеместных приспособлениях с применением алмазных и абразивных кругов. Габаритные алмазные круги на металлической связке диаметром 400 мм используются в режиме алмазного электроэрозионного шлифования, а также в режиме периодической электроэрозионной правки. Экспериментально установлено, что абразивный круг при шлифовании твердого релитового слоя быстро изнашивается. Например, вследствие увеличенного износа абразивного круга фактическая глубина шлифования меньше номинальной глубины шлифования в 3 раза. Поэтому, применение алмазного круга (для которого фактор «размерного износа» исключен) позволяет повысить производительность и качество обработки на операции предварительного шлифования. Доказана экономическая эффективность применения алмазного круга на металлической связке М1-01. Применение круга на металлической

связке М2-01 оказалось малоэффективным в силу потери режущей способности алмазного круга как при обычном, так и электроэрозионном шлифовании.

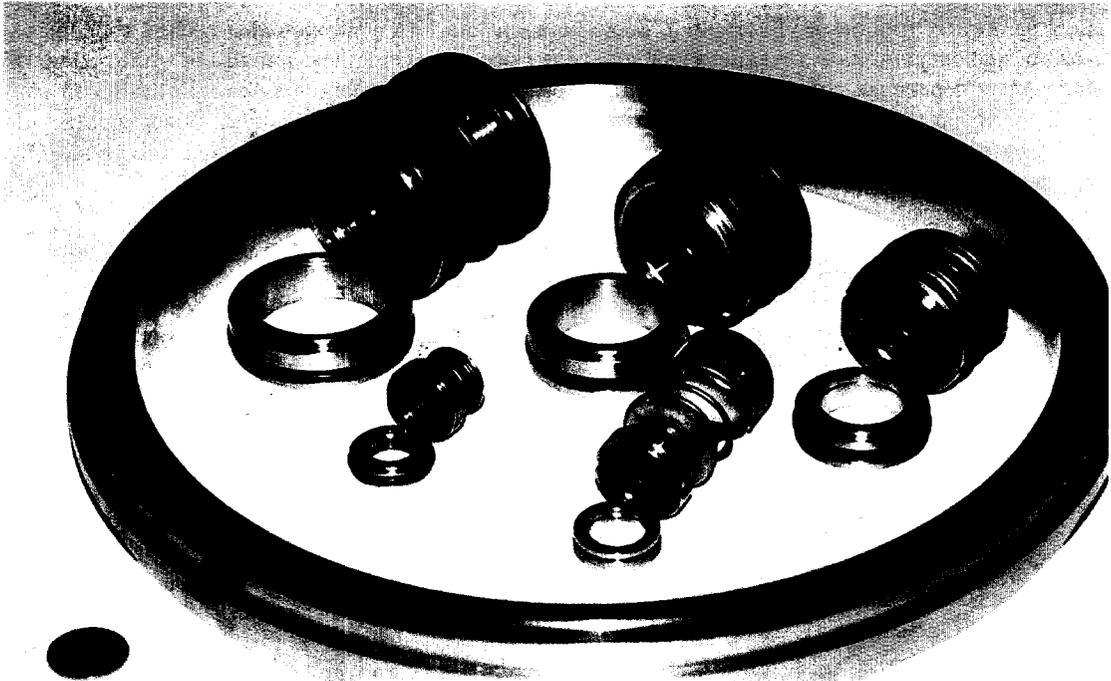


Рис.3. Конструкции релитовых торцовых уплотнений.

Для обеспечения высоких показателей качества (шероховатости) и точности обработки предложено после операции предварительного шлифования выполнить промежуточную операцию шлифования торцевой поверхности уплотнения торцом алмазного круга, а затем – окончательную операцию притирки с использованием алмазного порошка.

Предложенная операция шлифования торцом алмазного круга торца вращающегося кольца (уплотнения)

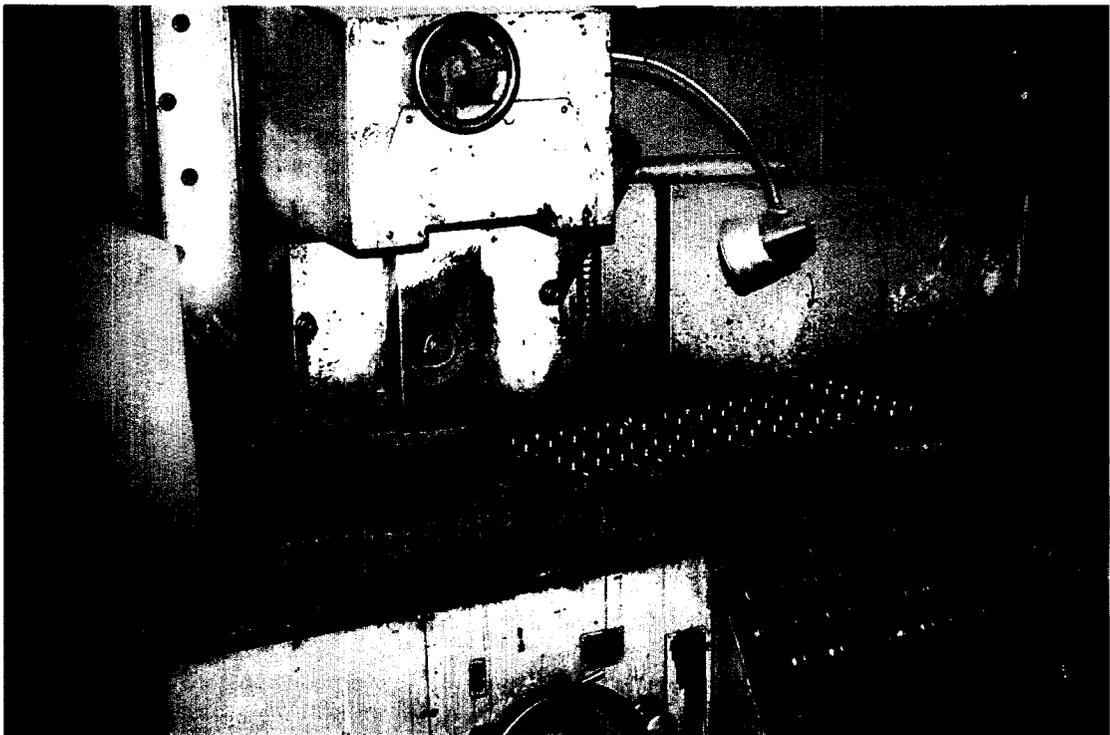


Рис.4. Обработка колец (уплотнений) на плоскошлифовальном станке.

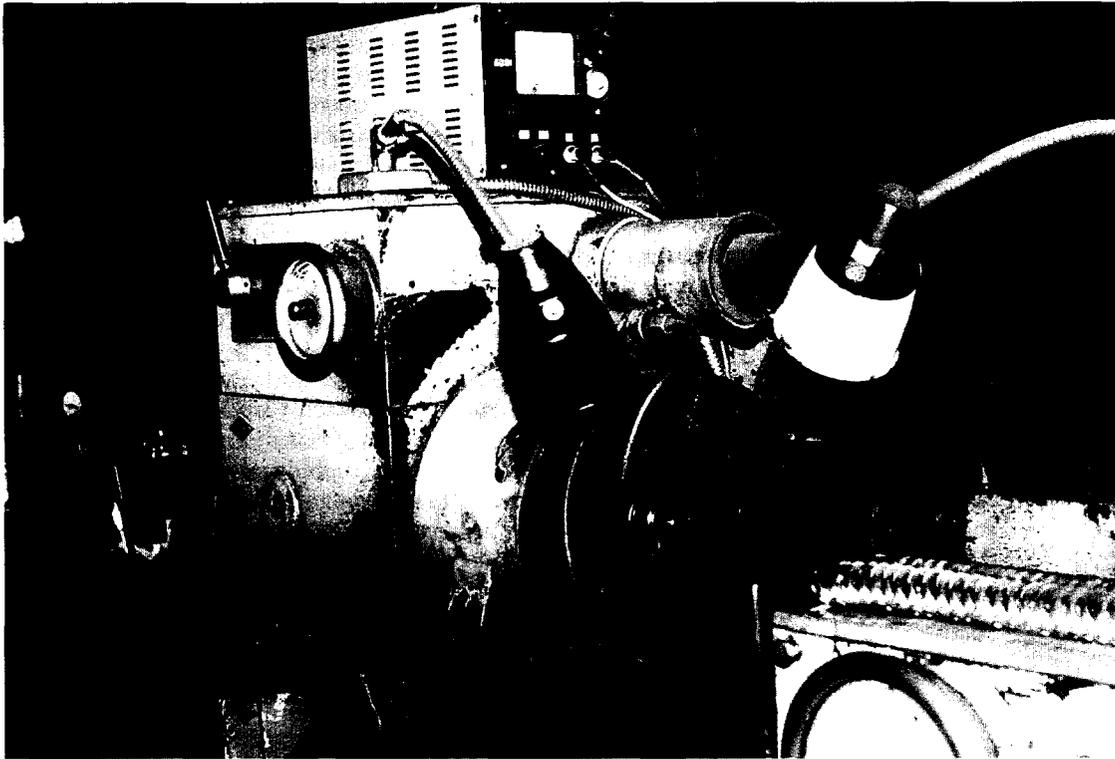


Рис.5. Шлифование торца кольца торцом алмазного круга на внутришлифовальном станке с применением электроэрозионной правки.

оказалась весьма эффективной, т.к. существенно снижает трудоемкость последующей операции притирки, повышает производительность, экономичность и качество алмазно-абразивной обработки уплотнения в целом. Процесс торцевого алмазного шлифования реализуется на внутришлифовальном станке. Обрабатываемое кольцо (уплотнение) крепится в специальном цанговом зажиме патрона станка. Алмазный круг формы 12A2 45° 150

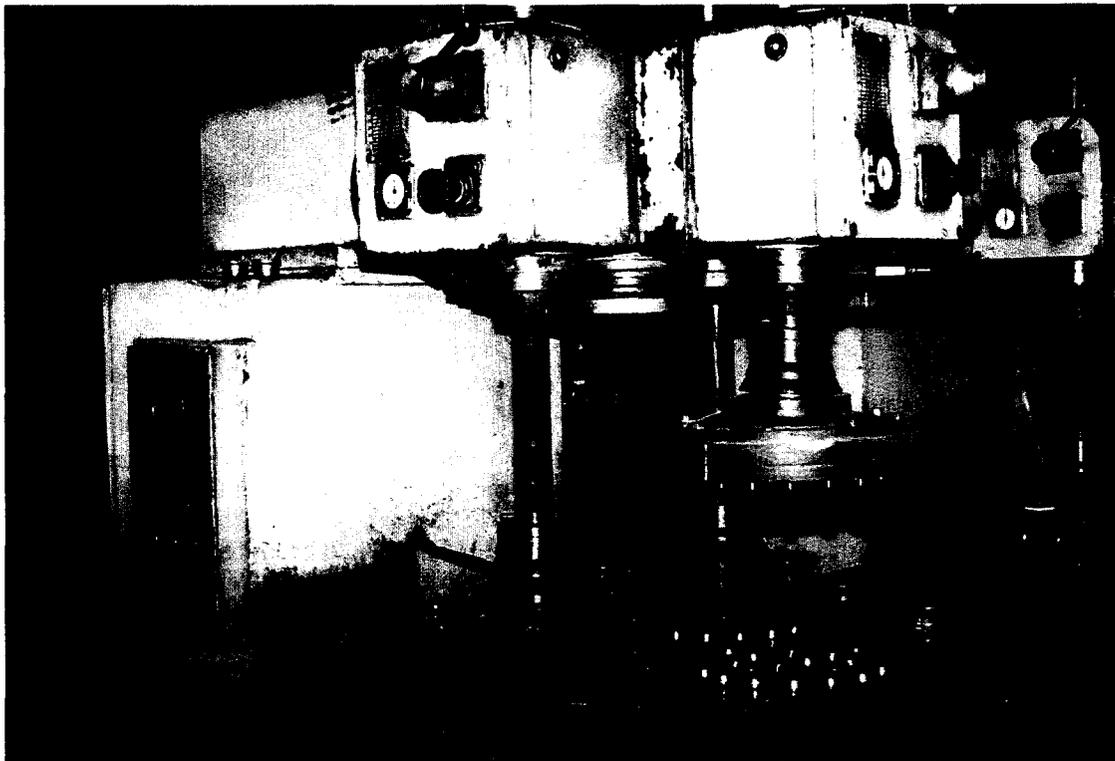


Рис.6. Притирка колец (уплотнений).

х 10 x 3 x 32 крепится на шпинделе и подводится до касания с обрабатываемым кольцом с помощью механизма продольной подачи внутришлифовального станка. Данный процесс шлифования, как отмечалось выше, эффективен для выполнения последующей операции притирки, однако, потребовал проведения большого комплекса научно-исследовательских работ. Например, первоначально был сделан упор на применение алмазных кругов на органических связках. Эти круги могут работать в режиме самозатачивания, но с весьма большим износом. Применение алмазных кругов на более прочных металлических связках оказалось неэффективно, так как наблюдалась быстрая потеря их режущей способности во времени. Попытки использования прогрессивной технологии электроэрозионной правки кругов также первоначально успеха не принесли, так как алмазные круги на органической связке обеспечивали большую производительность обработки. Проблема состояла в том, что процесс шлифования одного кольца кратковременный (3-6 сек), а зона шлифования находится рядом с рабочим – шлифовщиком, который «вручную» устанавливает и убирает обрабатываемые кольца в патрон станка. В результате реализовать непрерывную электроэрозионную правку алмазного круга на металлической связке не представляется возможным, что в итоге не позволило повысить производительность обработки. Положительное решение было найдено за счет правильной организации применения периодической электроэрозионной правки. Вначале после установки нового круга на станок электроэрозионной правкой устраняется биение круга, затем, через каждые 50 отшлифованных колец производится «подзаправка» круга продолжительностью 30...60 сек. Производительность шлифования таким кругом на 30-40% была меньше производительности шлифования кругом на органической связке. Однако, с учетом снижения удельного расхода алмаза до 10 раз, это делало возможным эффективное применение алмазных кругов на металлических связках взамен алмазных кругов на ор-

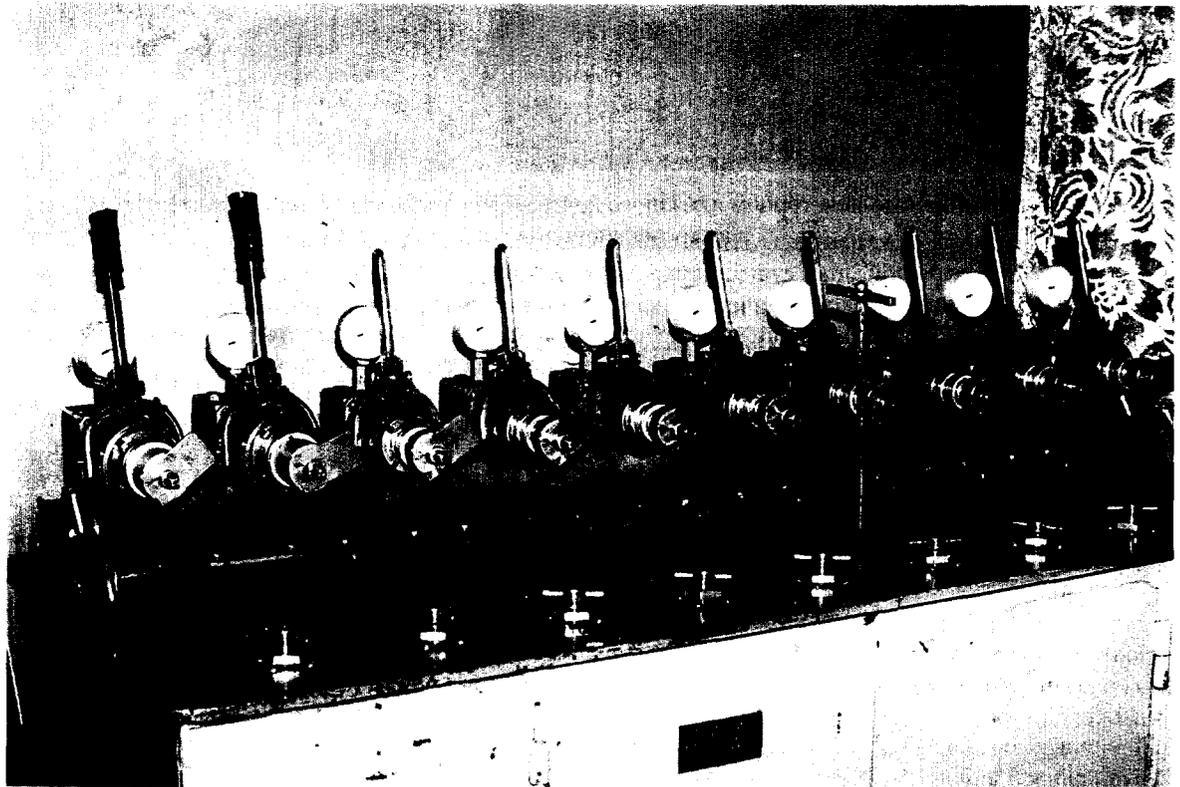


Рис.7. Стенд испытаний релитовых торцовых уплотнений.

ганических связках. Окончательное решение проблемы было получено в конце 90-х годов благодаря применению алмазных кругов на металлической связке М1-01 производства Полтавского алмазного завода. Эти круги оказались достаточно работоспособными даже без применения электроэрозионной периодической правки. Начальное биение круга выводится в течении шлифования 300...400 колец. Производительность обработки при этом находится на уровне производительности шлифования алмазными кругами на органической связке, а износ круга – до 10-ти раз меньше. Необходимо отметить важное значение фактора обучения рабочих-шлифовальщиков работе с алмазными кругами на металлической связке М1-01, особенно в первоначальный момент – после установки круга на станок, когда необходимо в процессе шлифования устранить его биение. Благодаря знанию особенностей работы данного круга удалось научить рабочего управлять процессом и главное – преодолеть психологический барьер рабочего – доказать, что при правильной организации процесса алмазные круги на металлических связках обладают значительно большими возможностями, чем другие круги. В процессе торцового шлифования обеспечивается шероховатость обработки $Ra = 0,25...0,4$ мкм, существенно повышается точность (плоскостность) обработки. Съем припуска составляет 0,1...0,15 мм.

Введение данной операции упрощает достижение высоких показателей обработки на окончательной операции алмазной притирки, выполняемой с использованием специальных многоместных приспособлений на станке с вращающимся столом, на который наносится алмазный порошок первоначально зернистостью 28/20...220/14, затем зернистостью 10/7...7/5. После притирки следует операция по устранению заусенцев и формированию фасок на рабочих поверхностях уплотнений с помощью специального шлифовального полотна на сверлильном станке. В результате внедрения релитовых торцовых уплотнений в электробурах межремонтный период работы увеличился в три-четыре раза и более. Дальнейшее совершенствование релитовых торцовых уплотнений электробуров было связано с увеличением перепадов давления при бурении скважин гидромониторными долотами. В связи с этим были проведены научно-исследовательские и конструкторские работы по разработке торцовых релитовых уплотнений, обеспечивающих надежную работу электробуров при перепадах давления 100 кгс/см^2 при работе с гидромониторными долотами с герметизированными опорами. Повышение надежности электробуров способствовало их успешному применению также при бурении уникальных горизонтальных скважин на нефть, специальных скважин под опоры неклассных мостов, для подземной газификации в Кузбассе, в бурении скважин под дном рек. Особое значение имеет повышение надежности погружных электродвигателей серии ПЭД, с помощью которых обеспечивается более 50 % добычи нефти в СНГ. Применение релитовых уплотнений способствовало увеличению наработки на отказ погружных электродвигателей в полтора-два раза. При длительной работе в погружных электродвигателях ПЭД несколько лет без подъема из скважины, утечка через релитовые торцовые уплотнения не превышает $0,1-0,2 \text{ см}^3/\text{г}$, т.е. практически обеспечивается безрасходный режим работы.

Разработанные релитовые торцовые уплотнения серии 1Р и 2Р (ТУ 16-553.001-79 и ТУ 16-305.028-85), были аттестованы на государственный Знак качества и поставлялись заводом «Потенциал» с 1980 года заводам-изготовителям погружных двигателей – Харьковскому и Кутаисскому электромеханическим заводам (ХЭМЗу и КЭМЗу), Альметьевскому заводу погружных насосов (АЗПИ), ремонтным предприятиям Нефтепрома. Кроме погружного электрооборудования релитовые торцовые уплотнения были применены:

в турбогенераторах ТГ8-500 Харьковского завода «Электротяжмаш» (Нововоронежская АЭС, Троицкая, Назаровская и Экибастузская ГРЭС); в химических аппаратах ПЩ063-6,4 в производстве сорбита на Йошкар-Олинском витаминном заводе; в винтовых насосах ПО «Ливгидромаш» г.Ливны; в насосах перекачки технологического конденсата при $t = 135^\circ\text{C}$ на Новгородском ПО «Азот»; в насосах перекачки раствора глицерина с кристаллами поваренной соли, ПО «Каустик» г.Стерлитамак; в насосах производства полистирола ПО «Азот» г.Днепродзержинск; в комбайнах 1КВ1 «ВНИПИрудмаш» г.Кривой Рог; в высокооборотных турбодетандерных агрегатах ВНПО «Союзтурбогаз» при скорости скольжения до 70 м/сек; в соковых насосах сахарных заводов.

При этом обеспечено значительное повышение герметичности, наработки на отказ при работе в различных условиях, в том числе в щелочных средах, где уплотнения из силицированного графита оказались непригодными. В настоящее время ОАО завод «Потенциал» занимается разработкой и изготовлением релитовых торцовых уплотнений для насосов и аппаратов предприятий различных отраслей промышленности, в том числе и предприятий пищевой промышленности. Для химически активных сред изготавливаются релитовые уплотнения, рабочие поверхности которых выполнены из релита с хромоникелевой связкой, что значительно расширяет область применения релитовых уплотнений. Перспективы применения релитовых уплотнений связаны с дальнейшим расширением области использования уплотнений, возможностью их экспорта и продажи зарубежным фирмам.

УДК 681.31:621.941.236

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ

Марчук В.І., канд. техн. наук, Денисюк В.Ю., Кайдик О.Л.

(м. Луцьк, Україна)

Presented results of studies of influence of processes of processing on optical characteristics of surfaces of details. The development trends a CAD system of technological processes of machining job are offered.

До найважливіших показників якості деталей відноситься їхня точність. Вимоги до точності виготовлення виробів безупинно ростуть, а темпи цього росту більш високі, чим темпи росту можливостей технології й устаткування для забезпечення необхідного її рівня. Одним з аспектів точності є топологія оброблених поверхонь деталей. Топологія поверхонь деталей вивчає деякі зі складових результуючої похибки - ті з них, що визначаються геометрією поверхні деталі і вихідної інструментальної поверхні, їх відносною орієнтацією і параметрами кінематики формоутворення. Як це прийнято топологія оброблюваних поверхонь розглядається тільки з врахуванням похибок, внесених власне процесом формоутворення – з обліком залишкового детермінованого регулярного мікрорельєфу на обробленій поверхні деталі. Величини виникаючих при цьому похибок завжди можуть бути розраховані аналітично. Для цього досить відомостей про геометрії поверхонь D і I , їхньої відносною орієнтації і параметрах кінематики формоутворення. Похибки устаткування й оснащення, похибки орієнтування, базування і кріплення деталі інструмента й інші до уваги не приймаються. Не розглядаються також похибки, для розрахунку величин яких додатково потрібно інформація про фізичні процеси, що протікають при обробці деталей на металорізальних верстатах [1].

Для обработки багатых деталей характерно точкове торкання поверхні D деталі і вихідної інструментальної поверхні I . Наприклад, точкове торкання поверхонь D і I має місце при нарізуванні зубчастих коліс, шліцевих валів і інших зубцюватих деталей черв'ячними фрезами й ін. При обробці складних поверхонь деталей на багатокоординатних верстатах із ЧПК точкове торкання поверхонь D і I має місце практично завжди - такий вид їхнього торкання є переважаючим. У зв'язку з тим, що при точковому торканні потенціальні можливості кінематики формоутворення найбільші, з цього погляду точковий вид торкання поверхонь D і I варто розглядати як найбільш загальний. При точковому торканні сполучених поверхонь протягом кінцевого проміжку часу не можна геометрично точно формоутворити поверхню деталі рухом однієї точки K торкання поверхонь D і I . Аналогічне спостерігається при лінійному торканні цих поверхонь, але дискретному відтворенні в реальному інструменті його поверхні I . Узагальнюючи, можна констатувати, що точкове торкання поверхонь D і I і дискретне відтворення в реальному інструменті вихідної інструментальної поверхні I як по окремі, так і в сукупності, виключають можливість геометрично точного формоутворення номінальної поверхні D_n деталі. У цьому випадку має місце дискретне формоутворення, при якому неминуче утворяться принципово непереборні без наступної обробки деталі похибки у виді залишкового детермінованого регулярного мікрорельєфу. Дискретне формоутворення поверхонь деталей - це формоутворення, що має місце при точковому торканні поверхні деталі і вихідної інструментальної поверхні, при дискретному відтворенні в реальному інструменті його вихідної інструментальної чи поверхні при точковому торканні поверхонь D і I і дискретному відтворенні поверхні I одночасно.

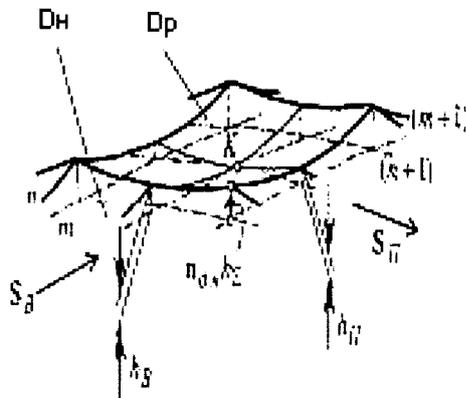


Рис. 1. Елементарний осередок на обробленій поверхні деталі.

При дискретному формоутворенні залишковий детермінований регулярний мікрорельєф на обробленій поверхні деталі утвориться неминуче, а причини цього явища досить очевидні. У процесі обробки крайки зубів ріжучого інструмента, роблячи складний багатопараметричний рух щодо заготовки, описують дискретне сімейство поверхонь різання, що розділяють операційний припуск на зрізані і не зрізані (залишкові) частини. У результаті інтерференції сусідніх поверхонь різання, утворених не обов'язково суміжними крайками багатолезового інструмента, що ріжуть, чи єдиною крайкою ріжучого однолезного інструмента, утворюються залишкові гребінці, що є причиною появи органічних похибок оброблених поверхонь деталей.

Результуюча похибка формоутворення h_{Σ} визначається висотою гребінців h_B хвилястості, утвореної уздовж рядків формоутворення, і висотою гребінців h_{Π} огранювання, утвореної поперек рядків формоутворення. Обидві складові h_B і h_{Π} , як і сама результуюча похибка h_{Σ} , відраховуються уздовж нормалі n_{D_n} до номінальної поверхні деталі D_n .

Через труднощі виміру і дефіциту вимірювальних засобів величини елементарних похибок h_B і h_{Π} зазвичай розраховують. У багатьох випадках розрахункові значення цих елементарних складових є єдиним джерелом достовірної інформації про величину результуючої похибки h_{Σ} формоутворення.

Ділянка реальної поверхні D_p деталі, що знаходиться між двома сусідніми дугами m і $(m+1)$ подачі уздовж рядка формоутворення, і двома сусідніми дугами n і $(n+1)$ подачі поперек рядка формоутворення умовимося називати елементарним осередком регулярного мікрорельєфу на обробленій поверхні D_p деталі (рис. 1). Довжина дуги S_B елементарного осередку уздовж траєкторії формоутворення чисельно дорівнює подачі на зуб інструмента, а довжина дуги S_{Π} поперек рядків - подачі на рядок формоутворення. Параметри h_B , S_B , h_{Π} і S_{Π} елементарного осередку в загальному випадку зміни в межах оброблюваної ділянки поверхні D , а їхні поточні значення залежать від параметрів кривизни поверхонь D і I в точці K , їхньої відносної локальної орієнтації, допуску $[h]$ на точність формоутворення і параметрів кінематики формоутворення. Тому величина h_{Σ} що результує похибки формоутворення в поточній i -й точці на поверхні D деталі дорівнює:

$$h_{\Sigma,i} = h_{\Sigma,i} \left(h_{B,i}, h_{\Pi,i} \right), \quad (1)$$

де $h_{B,i}$ і $h_{\Pi,i}$ - значення складових h_B і h_{Π} у поточній точці поверхні D деталі (очевидно, що $h_{B,i} = h_{B,i} (U_D, V_D)$,

$$h_{\Pi,i} = h_{\Pi,i} (U_D, V_D).$$

Кількісно вимоги, пропоновані до точності формоутворення, можна оцінити по величині найбільшої похибки, що виникає при обробці. Результуюча похибка h_{Σ} формоутворення буде тим менше, чим менше її максимальне значення в межах всієї оброблюваної ділянки складної поверхні деталі. Тому оцінювати точність формоутворення величиною найбільшої результуючої похибки формоутворення $h_{\Sigma(\max)}$ правомірно, тим більше, що її

значення може бути розраховано з необхідною точністю. Можливості більш повного використання потенційних можливостей технології обробки складних поверхонь деталей на багатокоординатних верстатах із ЧПК в цьому випадку розширюються за рахунок того, що з'являється можливість розробляти в деякому змісті граничні спо-

соби обробки, застосування яких забезпечує рівність максимальної похибки $h_{\Sigma}^{(\max)}$ допуску $[h]$ на точність формоутворення $(h_{\Sigma}^{(\max)} = [h])$ у межах всієї оброблюваної ділянки поверхні деталі. Продуктивність обробки в цьому випадку збільшиться і досягає свого граничного значення.

Прийнято вважати, що при багатокоординатному формоутворенні складних поверхонь D деталей з великим ступенем точності справедливий принцип суперпозиції елементарних складових результуючої похибки формоутворення. Виходячи з допустимості його застосування результуюча похибка формоутворення в поточній точці номінальної поверхні D_n дорівнює $h_{\Sigma} = ah_B + bh_{II}$, де a і b - деякі константи для поточної точки K на поверхні D_n ($0 < a \leq 1$; $0 < b \leq 1$).

Результуюча похибка формоутворення максимальна, коли $a=b=1$ - для такого випадку

$$h_{\Sigma}^{(\max)} = h_B^{(\max)} + h_{II}^{(\max)} \quad (2)$$

У загальному випадку залежність $h_{\Sigma} = h_{\Sigma}(h_B, h_{II})$ має більш складний нелінійний характер.

Якщо поверхні D і I торкаються одна іншої по лінії, то в плоскому нормальному перерізі, дотичному до цієї лінії, вихідна інструментальна поверхня I гранично конформна номінальній поверхні деталі D_n . У цьому випадку одна зі складових похибки h_{Σ} дорівнює нулю. Як правило, $h_B = 0$ і в цьому випадку $h_{\Sigma} = h_{II}$. Принципово можливі способи обробки, коли $h_{II} = 0$, тоді $h_{\Sigma} = h_B$.

Якщо обробка виконується інструментом, що цілком відтворює вихідну інструментальну поверхню I , як це має місце при шліфуванні, то $h_B = 0$ і, як наслідок, $h_{\Sigma} = h_{II}$. Якщо ж при повному відтворенні в реальному інструменті його поверхні I вона лінійно торкається поверхні D_n , формоутворення номінальної поверхні деталі перстає бути дискретним і позбавлено органічних похибок. У цьому випадку $h_B = 0$, $h_{II} = 0$ і в результаті $h_{\Sigma} = 0$.

З умов формоутворення випливає, що висота h_{Σ} остаточного регулярного мікрорельєфу залежить від величини подачі S_I на оберт деталі і від значень кутів в плані φ і φ_1 . Якщо зменшити кути в плані φ і φ_1 , то при незмінній подачі S_I висота остаточних гребінців зменшиться. Повне виключення можливості утворення залишкових гребінців, коли $h_{\Sigma} = 0$, спостерігається у випадку використання інструментів з кутами в плані, рівними $\varphi = 0^\circ$ і $\varphi_1 = 0^\circ$. Реально це може бути здійснено лише на досить короткій (довжиною порядку $(1,1 \div 1,2) S_I$) допоміжній крайці інструменту. У розглянутому випадку залишковий регулярний мікрорельєф не утвориться і тому $h_{\Sigma} = 0$.

У перетині складної поверхні деталі площиною, що проходить через контактну нормаль перпендикулярно напрямку рядка формоутворення, профіль номінальної поверхні D_n торкається відповідного перетину вихідної інструментальної поверхні I інструмента.

За аналогією запишемо формулу для розрахунку елементарної складової h_{II} результуючої похибки формоутворення:

$$h_{II} = R_{D,II} - (R_{D,II} + R_{I,II}) \cos \frac{\tilde{S}_{II}}{2R_{D,II}} + \sqrt{R_{I,II}^2 - (R_{D,II} + R_{I,II})^2 \sin^2 \frac{\tilde{S}_{II}}{2R_{D,II}}} \quad (3)$$

Значення нормальних радіусів кривизни $R_{D,II}$ і $R_{I,II}$ розраховуються за формулами:

$$R_{D,II} = \frac{E_D G_D}{G_D L_D \cos^2 \xi + M_D \sqrt{E_D G_D} \sin 2\xi + E_D N_D \sin^2 \xi} \quad (4)$$

$$R_{I,II} = \frac{E_I G_I}{G_I L_I \cos^2 (\xi + \mu) + M_I \sqrt{E_I G_I} \sin 2(\xi + \mu) + E_I N_I \sin^2 (\xi + \mu)} \quad (5)$$

При ортогональній ($Ud_{(i)}, Vd_{(i)}$) параметризації поверхонь D і I формули спрощуються:

$$R_{D,II} = (L_D \cos^2 \xi + M_D \sin 2\xi + N_D \sin^2 \xi)^{-1} \quad (6)$$

Як і вище справедлива наближена формула:

$$R_{I,II} = [L_I \cos^2 (\xi + \mu) + M_I \sin 2(\xi + \mu) + N_I \sin^2 (\xi + \mu)]^{-1} \quad (7)$$

Як і вище справедлива наближена формула:

$$h_{II} \cong \frac{R_{D,II} (R_{D,II} + R_{I,II}) \left(1 - \cos \frac{\tilde{S}_{II}}{2R_{D,II}}\right)}{R_{D,II} - (R_{D,II} + R_{I,II}) \cos \frac{\tilde{S}_{II}}{2R_{D,II}}} \quad (8)$$

Приведені вище узагальнені залежності досить громіздкі. Застосовувати їх в інженерній практиці без використання відповідної обчислювальної техніки незручно. Тому знаходять застосування спрощені формули для розрахунку величин елементарних складових h_B і h_{II} результуючої похибки h_C формоутворення.

Як приклад розглянемо один з наближених підходів до розрахунку висоти гранності h_{II} для випадку формоутворення ввігнутої ділянки поверхні деталі (рис. 2). Отримані таким шляхом результати будуть справедливі також для розрахунку h_{II} при обробці випуклих ділянок складної поверхні деталі і при розрахунку висоти хвилястості h_B .

При формоутворенні двох сусідніх рядків на поверхні D деталі інструмент I займає послідовні положення. Заміняючи профіль плоского нормального перетину поверхні деталі дугою кола радіуса $R_{D,II}$, запишемо чому рівні координати наступної точки профілю D :

$$X_{D,II} = R_{D,II} \sin \theta_{D,II}; \quad Y_{D,II} = R_{D,II} \cos \theta_{D,II},$$

де θ - кутовий параметр поточної точки профілю (відраховується від осі $X_{D,II}$).

Координати центрів кривизни $O_I^{(1)}$ і $O_I^{(2)}$ профілю перетину вихідної інструментальної поверхні рівні:

$$X_{O,I} = (R_{D,II} - R_{I,II}) \sin \varphi; \quad Y_{O,I} = (R_{D,II} - R_{I,II}) \cos \varphi,$$

де φ - половина кута між радіус-векторами, що проходять з центру O_D кривизни профілю поверхні D , деталі і центрами кривизни $O_I^{(1)}$ і $O_I^{(2)}$ вихідної інструментальної поверхні I в двох її послідовних положеннях щодо деталі.

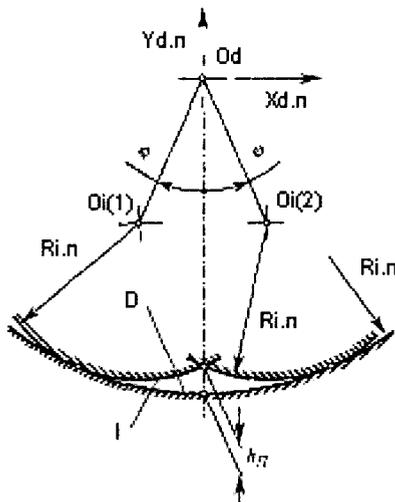


Рис. 2. Схема для розрахунку висоти гранності

Координати точки перетинання профілю нормального перетину інструмента з віссю ординат і, відповідно, з аналогічним сусіднім профілем знаходиться з

$$\left[X_{D,II} - (R_{D,II} - R_{I,II}) \sin \varphi \right]^2 + \left[Y_{D,II} - (R_{D,II} - R_{I,II}) \cos \varphi \right]^2 = R_{I,II}^2.$$

Звідси випливає, що координати вершинної точки гранності рівні.

$$X_{D,II} = 0; \quad Y_{D,II} = (R_{D,II} - R_{I,II}) \cos \varphi + \sqrt{R_{I,II}^2 - (R_{D,II} - R_{I,II})^2 \sin^2 \varphi}$$

Тому що кут φ малий, зручно використовувати розкладання в ряд Тейлора тригонометричних функцій з точністю до $O(\varphi^3)$. Одержимо:

$$\begin{aligned} X_{D,II} &= (R_{D,II} - R_{I,II}) \left(1 - \frac{\varphi^2}{2} \right) + R_{I,II} \left[1 - \frac{\varphi^2}{2} \left(\frac{R_{D,II} - R_{I,II}}{R_{I,II}} \right)^2 \right] = \\ &= R_{D,II} - \frac{\varphi^2}{2R_{I,II}} R_{D,II} (R_{D,II} - R_{I,II}). \end{aligned}$$

Звідси випливає, що складова h_{II} дорівнює

$$h_{II} \cong \frac{\varphi^2}{2R_{I,II}} R_{D,II} (R_{D,II} - R_{I,II}) \quad (9)$$

Очевидно, що ця формула є наближеною.

З останнього результату випливає, що в міру зменшення h_{II} , тобто в міру збільшення точності обробки, величина кута φ , що відповідає цьому значенню h_{II} , асимптотично прагне до

$$\varphi = \sqrt{\frac{2R_{I,II} h_{II}}{R_{D,II} (R_{D,II} - R_{I,II})}}.$$

При визначених допущеннях наближені залежності можуть бути отримані з узагальнених залежностей а відхилення наближених результатів від точних визначається тим, наскільки істотні спрощення допущені при висновку наближених формул.

Розглянутий підхід може бути розвинутий на випадок, коли радіуси кривизни профілю нормального перетину вихідної інструментальної поверхні I на двох сусідніх проходах істотно відрізняються один від іншого і приймають значення $R_{I,II}^{(1)}$ і $R_{I,II}^{(2)}$.

Описаний підхід до знаходження похибок формоутворення використаний при розробці адаптивної автоматизованої системи керування точністю при механічній обробці деталей конічних роликотідшипників. Значення попередньо прогнозованих похибок формоутворення відносяться до складу вхідної інформації при моделюванні мікро- та макрорельєфу поверхонь деталей при механічній обробці.

Література

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебн. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.
2. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. – М.: Машиностроение, 1969. – 172 с.

УДК 621.7.705

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССА УДАРНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ ЖИДКОСТЬЮ

Мовшович А.Я., докт. техн. наук, Свиридов Ю.М., Фролов Е.А., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The solutions on increase of technical and technological levels of production, essential reliability augmentation both durability of parts of machines and rigging, decrease of metal consumption and labour input of manufacturing of technological rigging are adduced.

Технологические возможности ударной импульсной штамповки жидкостью определяются как показателями штампуемости материалов в условиях ударного нагружения жидкостью (степенью вытяжки, раздачи, относительной глубиной формовки, максимальной степенью деформации, энергией формообразования), так и техническими характеристиками машин для осуществления метода (уровнем развиваемого давления, размером выходного сечения рабочей камеры, пространством под технологическую оснастку, максимальной энергией удара, длительностью цикла).

В настоящее время разработана гамма машин для импульсной штамповки жидкостью. Наибольшее распространение получила импульсная пневматическая машина модели Т1324.

Заготовки деформируются под действием импульса давления, возникающего при ударе бойка по передающей среде, находящейся в рабочей камере. Боек разгоняется сжатым воздухом цеховой пневмосети, рассчитанной на 0,63 МПа. Для взвода бойка в исходное положение в машине используется энергия сжатого воздуха, вытесняемого при разгоне бойка из ствола в воздушные карманы рабочей камеры. Сжатие воздуха в подбойковой области, конечно, оказывает заметное влияние на максимальную скорость бойка. В зависимости от конструктивного исполнения оборудования объем воздушных карманов может заметно колебаться по сравнению с объемом ствола, вследствие чего уменьшается или увеличивается энергия удара. Зная разницу между давлением газа в ресивере и избыточным давлением газа в стволе, можно легко рассчитать энергию удара. Максимальная энергоемкость установки 25 кДж. Воздух в ресивер подается от цеховой пневмосети.

Импульсная пневматическая машина мод. Т1324 (рис. 1) с камерой для штамповки гидроэластичной средой предназначена для штамповки листовых и трубчатых заготовок жидкостью или через эластичную диафрагму, выполненную из резины толщиной до 10 мм. Эластичная диафрагма дает возможность вести «сухой» процесс, т.е. заготовка и матрица не смачиваются штампуемой средой (станочной эмульсией). Это улучшает условия труда обслуживающего персонала, повышает производительность, так как отпадает необходимость в очистке матрицы от капель эмульсии. Однако применение диафрагмы снижает энергию удара, а также сужает технологические возможности машины, так как через диафрагму нельзя осуществлять процессы пробивки-вырубки, глубокой вытяжки, раздачи.

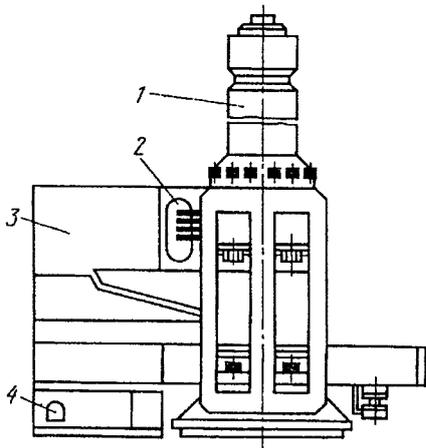


Рис. 1. Импульсная пневматическая машина мод. Т1324: 1, 3 – блоки (ударный и привода); 2 – гидро-пневматическая система; 4 – дозатор.

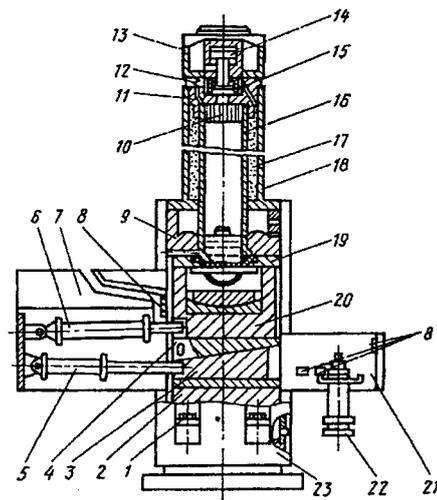


Рис. 2. Ударный блок машины мод. Т1324.

Машина мод. Т1324, имеющая составную станину рамного типа, включает в себя блоки — ударный 1 и привода 3, дозатор 4, гидропневматическую систему 2 (рис. 1). Ударный блок 1 обеспечивает: дозирование и накопление объема сжатого воздуха, разгон и удар бойка по жидкости, взвод бойка в исходное положение, ввод контейнера с технологической оснасткой в рабочую зону, прижим оснастки к выходному сечению рабочей камеры, необходимый режим работы оснастки, вывод контейнера, выталкивание готового изделия. Блок привода 3 и гидропневматическая система 2 обеспечивают функционирование гидравлических и пневматических механизмов пресса. С помощью дозатора 4 рабочая камера наполняется станочной эмульсией в необходимом количестве.

Ударный блок (рис. 2) включает в себя энергетический и технологический блоки, соединенные между собой посредством двух щек 23 и болтов 1. Блок содержит станину 2, направляющие 21, по которым гидроцилиндром 6 перемещается контейнер 20 с технологической оснасткой, и механизм зажима, включающий клин 3, контрклин 4 и два гидроцилиндра 5. На направляющих в зоне обслуживания установлен выталкиватель 22. Положение клина и контейнера контролируется концевыми выключателями 8. Матрица с заготовкой прижимается к фланцу 19 рабочей камеры 9. На камеру установлен аккумулятор 18 со стволом 77, в верхней части которого цангой 16 удерживается боек 10. На фланце 11 энергетического блока установлены клапаны сброса давления 12 из надбойковой полости, механизм пуска 14 с клапаном 15, кожух 13. На направляющих с тыльной стороны закреплен глушитель 7. Фланец 19 крепится к рабочей камере на четырех болтах, что позволяет быстро заменить фланец одного размера на фланец другого размера, т.е. изменять выходное сечение рабочей камеры в зависимости от технологической потребности.

Машина мод. Т1324 может функционировать в ручном (наладочном), полуавтоматическом с одним ударом, полуавтоматическом с несколькими (до 10) ударами и тренировочном режимах. В ручном режиме все операции цикла, кроме взвода бойка, выполняются оператором последовательным нажатием соответствующих кнопок, в тренировочном — многократно повторяется цикл работы без участия оператора (в тренировочном режиме испытывают машину на надежность). В полуавтоматическом режиме машина выполняет полный цикл штамповки самостоятельно до установки следующей заготовки.

В полуавтоматическом режиме с одним ударом в цикле машина работает следующим образом. После установки заготовки в оснастку оператор нажатием кнопки запускает машину. Контейнер под воздействием гидроцилиндра 6 вводится в рабочую зону пресса (под выходное сечение рабочей камеры). Здесь оснастка с заготовкой клиновым механизмом прижимается к фланцу 19. Через специальный клапан дозатор подает жидкость в рабочую камеру. Избыток жидкости отводится снова в дозатор. После наполнения камеры эмульсией срабатывает пусковой механизм, который перемещает клапан 75, открывая окно, связывающее аккумулятор со стволом. Под действием сжатого воздуха боек разгоняется в стволе и ударяет по жидкости в рабочей камере. При этом возникает импульс давления, деформирующий заготовку по форме матрицы. Сразу после удара по жидкости боек взводится и фиксируется цангой в верхнем положении. После этого клиновым механизмом разжимает оснастку, эмульсия из камеры вытекает в контейнер и через лоток — в дозатор, а контейнер под действием гидроцилиндра 6 выводится в исходное положение. Оператор с помощью выталкивателя извлекает готовую деталь и устанавливает новую заготовку, после чего машина готова к новому циклу.

Машину обслуживает один человек.

Ударный блок машины необходимо устанавливать на бетонный фундамент глубиной 1000 мм, между станиной и фундаментом должен быть уложен резиновый лист толщиной не менее 25 мм.

На машине мод. Т1324 предпочтительнее осуществлять операции вытяжки, раздачи, формовки крупногабаритных деталей, рельефной формовки пространственных заготовок, пробивки-вырубки пространственных заготовок.

Рассматривая технологические возможности процесса ударной штамповки жидкостью, остановимся, в основном, на наиболее типичных формоизменяющих операциях - вытяжке, формовке, раздаче.

Операция вытяжки является одной из самых сложных при всех методах импульсной штамповки.

Процесс импульсной вытяжки сопровождается перемещениями элементов заготовки, осуществляемыми с высокими скоростями. Из-за значительного перемещения заготовки заметно изменяется объем рабочей камеры. В некоторых случаях высвобожденный вследствие этого объем может быть даже сравним с объемом рабочей камеры. Кроме того, процесс характеризуется сложным механизмом нагружения заготовки, включающим воздействие на нее ударной волны, потока кавитирующей жидкости, гидропотока, квазистатического давления. В зависимости от конкретных условий вытяжки долевое участие каждой из указанных составных частей нагружения в процессе деформирования заготовки может изменяться в широких пределах. Помимо этого, процесс вытяжки сопровождается обратным воздействием деформируемой заготовки на уровень и характер распределения во времени деформирующего импульса давления. В то же время на процесс деформирования заготовки оказывают влияние множество технологических параметров (отношение массы жидкости в рабочей камере к массе бойка, степень вытяжки, форма и размер рабочей камеры, радиус перетяжного ребра матрицы и др.). Эти обстоятельства приводят к особой сложности как математического описания процесса вытяжки, так и технологических исследований по сравнению с другими процессами импульсной штамповки. Однако такие технологические преимущества процесса, как возможность получения деталей сложной конфигурации, в том числе из труднодеформируемых материалов, изделий повышенной точности и качества поверхности деталей, сокращение количества переходов предопределили широкое распространение процесса ударной вытяжки жидкостью.

В настоящее время разработано и исследовано множество технологических схем импульсной вытяжки. Широкое распространение на практике получили схемы, приведенные на рис.3. Каждая из схем обладает определенными особенностями, которые необходимо учитывать при разработке технологических процессов вытяжки ударной штамповкой жидкостью.

Прямая (свободная) вытяжка (рис.3.а) является наиболее простой и легкоосуществимой на практике. При использовании этой схемы наиболее ярко проявляется одно из главных преимуществ ударной штамповки жидкостью - сокращение расходов на изготовление оснастки. В то же время прямая схема вытяжки отличается простотой ведения технологического процесса и сравнительно высокой производительностью труда. Схему целе-

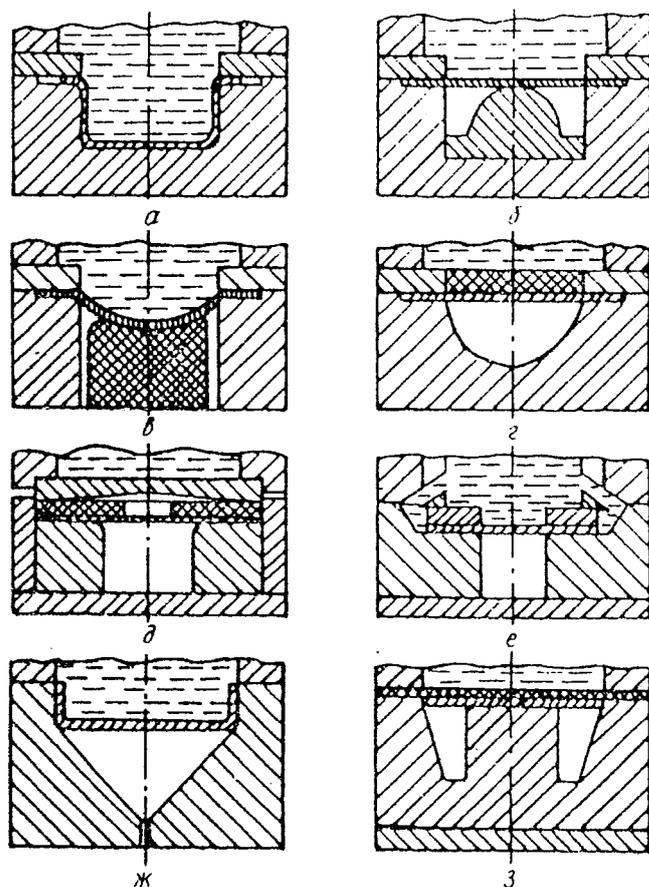


Рис. 3. Схемы импульсной вытяжки:

а – прямой; б – реверсивной; в – с противодавлением; г – с присоединенной массой; д – фрикционной; е – с подпором; ж – из пространственной заготовки; з – обтяжки по пуансону.

детали. В зависимости от конкретных условий присоединенные массы бывают упругими (резина, полиуретан), пластичными (свинец, пластилин), твердыми (металлы, пластмасса). Присоединенные массы всегда располагаются на заготовке и позволяют интенсифицировать процесс вытяжки за счет сил контактного трения между присоединенной массой и заготовкой. Применение твердых присоединенных масс уменьшает энергию, необходимую для вытяжки изделия при одновременном выравнивании деформаций по контуру детали. Применение упругих присоединенных масс снижает максимальные скорости деформирования (что весьма благоприятно для импульсной вытяжки), повышает степень вытяжки на 15 - 25%, уменьшает максимальные утонения на 30-40%. Аналогичные результаты получены и при ударной штамповке-вытяжке жидкостью. К недостаткам схемы следует отнести снижение производительности из-за установки и извлечения присоединенной массы из готового изделия.

Глубокую вытяжку с помощью импульсных методов можно получить, используя схему фрикционной вытяжки (рис.3.д). Этот метод позволяет получать детали со степенями вытяжки $K = 3 \div 5$. При этом возможно получение изделий, в которых почти полностью отсутствует утонение центральной части заготовки. Однако метод отличается низкой производительностью, так как для осуществления полной вытяжки заготовки необходимы десятки нагружений упругого элемента, повышенным расходом энергии и низкой стойкостью упругого элемента.

Схему вытяжки с подпором в торец плоской заготовки (рис.3.е) целесообразно применять при вытяжке изделий с предельными значениями степеней вытяжки и из материалов, склонных к образованию задиrow на матрице (сплавы титановые, ВЖ98, ЭП693ВД). Благодаря подпору в торец заготовки жидкость под давлением непрерывно поступает между заготовкой и матрицей, создавая устойчивый режим гидродинамического трения в процессе вытяжки заготовки и предохраняя таким образом матрицу от задиrow.

Высокого качества поверхности изделия на всех участках можно достичь, используя схему обтяжки по пуансону (рис.3.з), так как в этом случае отсутствует перемещение заготовки по поверхности штампа. Однако сложность уплотнения заготовки (приходится применять эластичные диафрагмы), а также небольшие степени вытяжки ограничивают применение данной схемы.

сообразно применять при вытяжке деталей типа тел вращения с соотношением $h/d \leq 0,4 \div 0,5$ и неглубоких коробчатых деталей. Однако при получении изделий по этой схеме они отличаются высоким уровнем деформаций (40 и более) в центральной части заготовки.

Для получения деталей с незначительным утонением донной части и устранения неравномерной утяжки фланца заготовки разработана схема реверсивной вытяжки (рис.3.б). Использование этой схемы особенно эффективно при получении тонкостенных изделий (относительная толщина заготовки $S/D_3 \leq 0,008$). Но процесс набора материала требует повышенных давлений, а следовательно, и энергий нагружения. Кроме того, резко снижается производительность процесса из-за двух штамповочных переходов и потери времени на установку и извлечение вставки для набора материала. Такого же типа детали можно получать и по схеме (вытяжки с противодавлением (рис.3.в).

С целью уменьшения растягивающих напряжений, возникающих в центральной части заготовки, применяют присоединенные массы (рис.3.г), представляющие собой пластины или объемные тела, в плане повторяющие характерные очертания

Значительный эффект может быть достигнут при вытяжке изделий сложных форм из пространственной заготовки (заготовки с определенной кривизной), при этом значительно уменьшается количество переходов (рис.3.ж).

В настоящее время наибольшее распространение в производстве получила схема прямой вытяжки. Это объясняется тем, что она наиболее проста и легко осуществима на практике. Схема вытяжки с присоединенной массой позволяет получить более высокие степени вытяжки и более равномерное распределение деформаций по сечению вытягиваемых изделий. Поэтому рассмотрим технологические возможности метода ударной штамповки жидкостью в основном применительно к этим двум схемам.

Основным параметром, определяющим весь технологический процесс вытяжки, является степень вытяжки. Для того, чтобы установить, может ли вытяжка быть произведена в одну операцию или потребуется несколько перетяжных операций, необходимо располагать значениями предельных степеней вытяжки различных материалов. Предельная степень вытяжки $K_{пр}$ заготовки является интегральным показателем способности материалов к вытяжке в условиях гидроударного нагружения и представляет собой отношение $D_{з\max} / d_{нз}$, где $D_{з\max}$ - максимальный диаметр заготовки, полную вытяжку которой можно провести без разрушения за одно нагружение; $d_{нз}$ - диаметр вытягиваемого изделия.

Выбор степени вытяжки является ответственным моментом при разработке технологического процесса вытяжки, так как от правильности выбора зависит экономичность и качество штамповки.

Вторым важным параметром, который необходимо учитывать при проектировании и оценке эффективности процесса вытяжки, является степень утонения опасного сечения изделия. При импульсных методах значение этого параметра повышается, так как в этом случае благодаря высоким скоростям деформации утонение может достигать 50% и более. Кроме того, между степенями вытяжки и утонения существует прямая зависимость. Поэтому для определения технологических возможностей процесса гидроударной вытяжки необходимо использовать предельную степень вытяжки и радиальную деформацию ε_r в опасном сечении, которая изменяется в зависимости от степени вытяжки. Опасным сечением вытягиваемого гидроударным методом по прямой схеме вытяжки стаканчика является центр доньшка, где ε_r достигают своего максимума, а по схеме вытяжки с присоединенной массой - радиусный переход между стенкой и доньшком. При этом уровень радиальных деформаций является отражением того, насколько полученная степень вытяжки заготовки отличается от предельной.

Эксперименты показали, что наибольшее влияние на предельную степень вытяжки оказывают следующие факторы: качество, состояние поверхности и другие свойства материала заготовки; технологическая схема вытяжки (вытяжка свободная, с присоединенной массой, с использованием методов, интенсифицирующих процесс); радиус закругления кромки матрицы r_m , относительная толщина заготовки S / D_z , скорость нагружения заготовки (параметр α); фрикционные свойства материала матрицы и заготовки, качество смазки. Практикой установлено, что перечисленные факторы однотипно влияют на все применяемые в листовой штамповке материалы. При этом предельная степень вытяжки более всего зависит от деформационных свойств металлов. Таким образом, имея значения предельной степени вытяжки различных листовых материалов, полученных при определенных конструктивных параметрах импульсной машины и технологической оснастки и, зная степень и характер влияния основных факторов на предельную степень вытяжки

$$K_{пр\text{уст}} = K_{пр\text{о}} K_{\alpha} K_{r_m} K_S K_{мп},$$

где $K_{пр\text{о}}$ - предельная степень вытяжки, полученная экспериментально,

$K_{пр\text{о}}$, K_{α} , K_{r_m} , K_S , $K_{мп}$ - коэффициенты учитывающие скорость погружения (α), радиус закругления матрицы (K_r), относительная толщина заготовки (K_S), наличие смазки и её качество ($K_{мп}$).

Для большинства применяемых материалов коэффициент степени вытяжки колеблется в пределах 1,85 - 2,15.

УДК 658.52.01

ВЛИЯНИЕ ГИБКОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ПОТРЕБНОСТЬ В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ-СПУТНИКАХ.

Ряховский А.В., канд. техн. наук, Мовшович А.Я., докт. техн. наук,

Буденный М.М., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Are submitted to a fundamentals of a technique of definition of need in adaptations - satellites.

Частным случаем реализации механообработки в гибкой производственной системе (ГПС) является использование приспособлений-спутников. Их применение создает необходимые условия для автоматизации установки и закрепления деталей в рабочем пространстве станка, повышает отдачу от станков с ЧПУ путем вынесения вспомогательных операций по установке и закреплению детали в приспособлении за пределы станка.

В составе ГПС разрабатываются спутниковые системы, отличающиеся различной гибкостью. Под спутниковой системой понимается совокупность взаимосвязанных операций производственного процесса с использованием приспособлений-спутников. Гибкость спутниковой системы создается за счет переналаживаемости ее технических средств в целях обеспечения различных вариантов движения детали по станкам и приспособлени-

ям. В системах с максимальным уровнем гибкости (табл.1) деталь можно установить на любое приспособление-спутник и обработать на любом станке, произвольно изменяя порядок ее движения.

Таблица 1

Варианты спутниковых систем с различным уровнем гибкости

Уровень гибкости	Характеристика движения деталей					
	по станкам со спутниками		по спутникам		порядок движения	
	Закрепленными за данным станком	Передаваемыми на любой станок	Взаимозаменяемым для одинаковых деталей	Взаимозаменяемым для различных деталей	Партионная обработка одинаковых деталей	Обработка различных деталей в произвольном порядке
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						

Примечания:

1. В порядке возрастания номеров от 1 до 8 приведены варианты с понижением уровня гибкости.
2. Заштрихованными клетками отмечены характеристики варианта спутниковой системы соответствующего уровня гибкости.

Для создания эффективной спутниковой системы необходимо определить, как влияет изменение ее гибкости на потребность в приспособлениях-спутниках. В научной литературе эти вопросы еще не нашли достаточного отражения. На практике потребность в приспособлениях-спутниках (далее - спутниках) определяется без учета различных уровней ее функционирования.

Например, в работе [1] потребность в приспособлениях предполагается определить исходя из предварительного закрепления детали-операций за определенным станком и расчета запаса спутников для каждого станка по отношению сменного фонда его работы к штучному времени выполнения минимальной по длительности операции. Тем самым предполагаются единственный уровень гибкости спутниковой системы и конкретные условия ее работы: все запланированные к обработке партии деталей заранее устанавливаются на спутниках. В других условиях работы такие расчеты приводят к искажению оценки потребности в спутниках.

Далее определена зависимость для проектных расчетов оборотного запаса спутников при снаряжении их деталями в процессе обработки и показано, как изменяется потребность в спутниках при изменении гибкости спутниковой системы.

По оборотному запасу определяется то минимальное количество спутников, которые обеспечивают работу всех станков с ЧПУ без простоев при движении спутников от станков, где обрабатывается группа различных деталей, на вспомогательные операции и обратно для обработки следующих деталей. Обратный запас является основной составной частью общего запаса спутников. В системе с максимальной гибкостью (уровень 1) величина общего запаса равна сумме оборотного и страхового ($\approx 10\%$ от оборотного), а при минимальной гибкости спутниковой системы общий запас складывается из страхового и нескольких оборотных, количество которых равно количеству различных групп детали-операций, выполняемых в ГПС.

В основу определения потребности в спутниках положено рассмотрение соотношений времени выполнения основных операций обработки деталей на станках с ЧПУ и связанных с ними вспомогательных операций. К вспомогательным относятся операции, которые выполняются после основной с использованием одного и того же спутника. К вспомогательным относятся операции транспортирования детали, закрепления, раскрепления ее в приспособлении, сборки-разборки самого спутника, если он разбирается после обработки детали, мойки детали на спутнике и др. При расчете времени выполнения вспомогательной операции следует учитывать вынужденные простои детали в очереди на данную операцию, которая может возникнуть при одновременной транспортировке на вспомогательное оборудование деталей с разных станков.

Построим основные зависимости для определения оборотного запаса спутников.

Для выполнения одной j -той основной операции обработки партии деталей на одном станке потребуется один спутник N_{cnj} на станке и несколько N_{cnji} спутников для выполнения вспомогательных операций следующих за основной. Общее количество спутников N_{cnoj} составит:

$$N_{cnoj} = N_{cnj} + N_{cnji}, \quad (1)$$

где $N_{cnj}=1$; N_{cnji} определяет отношение времени выполнения совокупности вспомогательных операций после j -й основной $\sum_i T_{bji}$ к штучному времени обработки детали по j -й операции.

Поэтому формулу (1) можно записать следующим образом:

$$N_{cnj} = 1 + \left[\frac{\sum_i T_{bji}}{T_{wj}} \right], * \quad (2)$$

Если спутники взаимозаменяемы по отношению к различным станкам, т. е. спутник может попасть на любой станок, то выполнение этой же j -й операции на нескольких N_o станках одновременно можно рассматривать как обработку деталей на одном станке, эквивалентом по производительности N_o станкам. Тогда количество спутников на эквивалентном станке равно N_o , а время выполнения основной операции уменьшается в N_o раз, т. е. равно T_{wj} / N_o . Поэтому формула определения потребности в спутниках при выполнении j -й операции на нескольких станках одновременно примет вид

$$N_{cnj}^o = N_o N_{cnj} + \left[\frac{\sum_i T_{bij}}{T_{wj}} N_o \right]. \quad (3)$$

Если к станку от него одновременно транспортируется "пачка" из \bar{N}_{cn} спутников, то потребность в них возрастает в соответствующее количество раз и формула (3) изменяется следующим образом:

$$N_{cnj} = \bar{N}_{cn} \left\{ N_o + \left[\frac{\sum_i T_{bij}}{T_{wj}} N_o \right] \right\}. \quad (4)$$

Когда на всех N_o станках обрабатываются различные детали в произвольном порядке их движения по спутникам и станкам, то запас спутников на вспомогательных операциях необходимое количество спутников, гарантирующих обработку деталей без простоев станков, можно определить по среднему отношению времени выполнения вспомогательных операций к времени основных. Среднее отношение находится путем деления суммарного времени выполнения всех вспомогательных операций на суммарное штучное время всех основных, выполняемых для обработки указанной совместной партии различных деталей.

*Скобки $[]$ и $\lceil \rceil$ в формуле (2) и последующих обозначают округление полученного числа до ближайшего меньшего $[]$ и большего $\lceil \rceil$ числа.

Хорошие результаты, проверенные на моделях вручную, дает формула расчета* оборотного запаса спутников при выполнении любой детали-операции множества n_2 с использованием любого спутника и станка: при полной взаимозаменяемости спутника по отношению к деталям и станкам, обработке деталей на станках в любой требуемой последовательности (уровень 1)

$$N_{cn1} = \bar{N}_{cn} \left\{ N_o + \frac{\sum_{j=1}^{n_2} \sum_{i=1}^{n_b} T_{bij}}{\sum_{j=1}^{n_2} T_{wj}} N_o \right\}, \quad (5)$$

где \bar{N}_{cn} - количество спутников одновременно транспортируемых на станок и от станка, шт.; N_o - количество одновременно работающих станков с применением спутников (парк станков ГПС), шт.; T_{bij} - время выполнения i -й вспомогательной операции, связанной с j -й основной, вместе с временем ожидания i -й операции в очереди, ч; T_{wj} - штучное время выполнения j -й операции обработки детали на станке с ЧПУ, входящей в множество n_2 , станко-ч.

При применении системы с меньшим уровнем гибкости, когда за каждым станком закреплен e -й запас спутников, которые с одного станка не передаются на другой (уровень 5), для выполнения n_2 детали-операций на N_o станках потребуется сумма e -х запасов, каждый из которых связан с группой n_2^e детали-операций. Для этого случая формула (5) примет вид

$$N_{cn2} = \sum_{e=1}^{N_o} \bar{N}_{cn}^e \left\{ 1 + \left[\frac{\sum_j^{n_2^e} \sum_i^{n_b^e} T_{bij}^e}{\sum_j T_{wj}^e} \right] + N_{gon}^e \right\}, * \quad (6)$$

где $e=1, 2, \dots, N_o$ - верхний индекс, обозначающий номер станка (последний номер N_o совпадает с общим количеством станков); N_{don}^e - дополнительное количество спутников ($N_{don}^e = 0-2$ шт.); $N_{don}^e > 0$, если, например, на e -м станке среднее отношение времени всех вспомогательных операций ко времени основных меньше единицы, но имеется j -я операция, относительно которой выполняется условие

$$\sum_i T_{bij}^e > T_{w(j+1)}^e$$

Формула (6) проверялась моделированием при тех же ограничениях, что и (5).

*Моделированием проверялись результаты расчета по формуле (5) при условии, что максимальное время выполнения совокупности вспомогательных операций, связанных с j -й основной, не более чем в три раза превосходит соответствующее минимальное время, и количество станков N_o больше двух.

*Описание всех ситуаций, при которых $N_{don} > 0$, здесь не приводится.

При закреплении спутников за партией одинаковых деталей, их невзаимозаменяемости по отношению к различным станкам и фиксированном партионном порядке движения одинаковых деталей (уровень 8) формула расчета оборотного запаса спутников примет вид

$$N_{cn3}^1 = \sum_j \left(1 + \frac{\sum_i T_{bij}}{T_{wj}} \right) \bar{N}_{cn}$$

где j -числа от 1 до n_o в порядке расчета, обозначающее операции, одновременно выполняемые на N_o станках с ЧПУ, т.е. $n_o = N_o$.

Для обеспечения сопоставимости сделанных ниже расчетов определим суммарный оборотный запас спутников, требующихся для выполнения множества деталей-операций n_2 с использованием системы с пониженным уровнем гибкости (уровень 8)

$$N_{cn3} = \sum_j \left(1 + \frac{\sum_i T_{bij}}{T_{wj}} \right) \bar{N}_{cnj} N_{oj}, \quad (7)$$

где \bar{N}_{cnj} - количество спутников в пачке, одновременно транспортируемых к станку и от него для выполнения j -й операции (\bar{N}_{cnj} учитывается если для обработки партии деталей требуется несколько пачек спутников) шт.; N_{oj} - количество одновременно используемых станков с ЧПУ для обработки одной и той же партии деталей по j -й операции, шт.

Анализ формул (5), (6), (7) показывает, что при снижении гибкости системы потребность в спутниках возрастает.

Действительно, даже при $N_{don} = 0$, $N_{cn1} < N_{cn2} < N_{cn3}$ если

$$\frac{\sum_{j=1}^{n_2} \sum_{i=1}^{n_b} T_{bij}}{\sum_{j=1}^{n_2} T_{wj}} N_o \left[\left\langle \sum_{e=1}^{N_o} \right. \right] \frac{\sum_{j=1}^{n_2} \sum_{i=1}^{n_b} T_{bij}^e}{\sum_{j=1}^{n_2} T_{wj}^e} \left[\left\langle \sum_{j=1}^{n_2} \right. \right] \frac{\sum_{i=1}^{n_b} T_{bij}}{T_{wj}} \quad (8)$$

Обозначив выражения в скобках в неравенстве (8) через А, Б, С, можно записать в виде

$$\left[AN_o \left[\left\langle \sum_{e=1}^{N_o} \right. \right] B^e \left[\left\langle \sum_{j=1}^{n_2} \right. \right] C_j \right] \quad (9)$$

Следует отметить, что в выражении $\sum_j^{n_2} C_j$ количество $n_2 \geq N_o$.

Известно, что $AN_o \approx \sum_e^{N_o} B^e \approx \sum_j^{N_o} C_j$, так как А является средним отношением для слагаемых Б^е и С_ж. Но в расчете N_{cn1} значение AN_o округляется до ближайшего большего числа один раз, в то время как число округлений в расчете N_{cn2} в N_o раз больше, а при расчете N_{cn3} в n_2 раз. Если $n_2 > N_o$, то $\sum_j^{n_2} C_j$ явно больше $\sum_e^{N_o} B^e$.

Итак, неравенство (8) выполняется.

Покажем на числовых примерах, как изменяется оборотный запас спутников при изменении гибкости спутниковой системы, используемой для выполнения n_2 деталей-операций на N_o станках. Следует рассмотреть три ва-

рианта спутниковых систем и соответствующих ГПС: с максимальной (уровень 1), ограниченной (уровень 5) и пониженной гибкостью (уровень 8).

Примером системы с максимальной гибкостью может служить участок по обработке корпусных деталей фирмы Cincinnati Milacron [2]. Расчет оборотного запаса спутников для этой системы будет выполняться по формуле (5).

Запас спутников для ГПС с ограниченной гибкостью спутниковой системы (уровень 5) определяется по формуле (6). Такие ГПС можно построить с использованием, например, станков ИР500МФ4, при этом обеспечивая транспортирование палет-спутников в зоны выполнения вспомогательных операций с последующим их возвращением на этот же станок. За каждым станком может быть закреплено больше двух спутников. На станок могут передаваться различные детали в произвольном порядке, если для их обработки достаточно того запаса инструментов, которые находятся в магазине станка, и имеется соответствующая система управления движением спутников.

Таблица 2

Результаты расчета величины оборотного запаса спутников в ГПС с различным уровнем гибкости спутниковой системы

Количество станков с ЧПУ в ГПС	Среднее отношение времени операций, вспомогательных к основным $\frac{\sum_j \sum_i T_{bij}}{\sum_j T_{wj}}$	Величина оборотных запасов спутников В ГПС различной гибкости			
		максимальной (уровень 1)	ограниченной (уровень 2)	пониженной (уровень 8) при отношении количества выполняемых детали-операций к количеству станков с ЧПУ	
				$\frac{n_2}{N_o} \leq 1$	$\frac{n_2}{N_o} = 2-5$
4	0,26	6	8	8	16-40
	0,6	7	8	8	16-40
	1,05	9	12	12	24-60
	1,26	10	12	12	24-60
	1,5	11	12	12	24-60
	2,4	14	16	16	32-80
6	0,26	8	12	12	24-60
	0,6	10	12	12	24-60
	1,05	13	18	18	36-90
	1,26	14	18	18	36-90
	1,5	16	18	18	36-90
	2,4	21	24	24	48-120
8	0,26	11	16	16	32-80
	0,6	13	16	16	32-80
	1,05	17	24	24	48-120
	1,26	19	24	24	48-120
	1,5	21	24	24	48-120
	2,4	28	32	32	64-160

Примечания. Результаты получены при следующих допущениях:

1. спутники передаются на станок и обратно по одному, т. е. $\bar{N}_{cn} = 1$, а потребность в дополнительных спутниках не возникает, т. е. $N_{don} = 0$.
2. Принято одинаковое отношение времени выполнения вспомогательных операций к времени основных как в пределах всего множества n_2 , так и в пределах составляющих групп, выполняемых на отдельных станках.
3. В ГПС пониженной гибкости (уровень 8) каждая детали-операция выполняется на одном станке.

В этой системе палеты-спутники с одного станка не могут передаваться на другой, Такие ГПС подобны механообрабатывающему автоматизированному комплексу типа МАК-0.

В ГПС с пониженной гибкостью спутниковой системы (уровень 8) на одном или нескольких станках ведется партионная обработка деталей одного наименования, после чего станки переналаживаются на обработку другой партии. В ГПС такого типа детали нельзя передавать на станок в произвольном порядке. В настоящее время подобная схема создания ГПС является наиболее распространенной. Примером является внедренный автоматизированный комплекс МАК-1.

В таблице 2 приведены результаты расчета оборотного запаса спутников. В состав комплекта приспособления-спутника включают также палету станка, если ее передают со станка на склад транспортно-накопительной системы и обратно. Оригинальная часть приспособления-спутника называется наладкой.

Результаты расчета показывают, что понижение гибкости системы от максимальной к ограниченной существенно не увеличивает оборотный запас спутников, если они взаимозаменяемы по отношению к деталям. Поэтому с точки зрения достижения экономии на спутниках не всегда целесообразно требовать от изготовителей станков обеспечения взаимозаменяемости палет к установке на любой станок. Наибольшая разница в оборотных запасах спутников появляется при минимальном отношении вспомогательного и штучного времени выполнения операций. Минимальный оборотный запас спутников в ГПС максимальной гибкости на единицу больше количества станков, а при ограниченной гибкости запас становится кратным количеству станков.

Разница в оборотных запасах спутников при переходе от ограниченной к пониженной гибкости системы становится особенно ощутимой при возрастании отношения n_2/N_0 . Кроме того, даже если оборотный запас спутников мало изменяется при создании системы с пониженной гибкостью (уровень 8), то количество наладок в ней резко возрастает.

Минимальное количество одинаковых наладок в ГПС при обработке различных деталей берется в произвольном порядке, так как на каждую детали-операцию требуется одна наладка, а в ГПС пониженной гибкости (уровень 8) количество наладок равно оборотным запасам спутников.

Поэтому решение о целесообразности применения спутниковой системы пониженной гибкости следует принимать после тщательного экономического анализа.

Выводы

1. Оборотный запас спутников при снаряжении их деталями в процессе работы станков в ГПС определяют следующие факторы: отношение времени выполнения вспомогательных операций к штучному времени обработки деталей на станках, количество одновременно работающих станков с ЧПУ, одновременно транспортируемых спутников к станку и от станка, а также количество выполняемых на этих станках детали-операций.
2. Понижение уровня гибкости спутниковой системы приводит к увеличению потребности в спутниках и наладках. Минимальное количество спутников требуется при максимальном уровне гибкости спутниковой системы, а минимальное количество наладок - в системах, обеспечивающих произвольный порядок движения деталей.

Литература

1. Агапова З. И., Элькин А. И., Поздеев В. М. Автоматизированное решение задач организационной подготовки производства. Тезисы докл. семинара "Обмен опытом в области применения методов разработки программ на ЭВМ". - Ижевск, 1982, с. 5-6.
2. Гибкие производственные комплексы. Под ред. П. Н. Беянина, В. А. Лешенко. - М.: Машиностроение, 1984, с 89-92.

УДК 621.9.929

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ СМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЛЕКТА УНИФИЦИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Ряховский А.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The findings of investigation of tight - strained state of a body of a cube of a unitized technological equipment is ad-duced.

Для определения влияния Т-образных пазов на прочность и жесткость плит проведено исследование напряженно-деформированного состояния узкой полосы, вырезанной из плиты и шарнирно опертой по концам, как показано на рис. 1а. В качестве нагрузки принята сила Q , приложенная в центре пролета и равная

$$Q = \frac{Q' S}{I} \quad (1)$$

где Q' - общая нагрузка на плиту;

S - толщина полосы;

I - габаритный размер плиты в направлении оси, перпендикулярной оси xOy .

Из ранее принятых условий установлено, что $Q' = 10$ кН, $I = 450$ мм, $S = 1$ мм; тогда $Q = 0,022$ кН. Поскольку картина нагружения исследуемого образца симметрична относительно оси Oy , аналогичные прочностные и жесткостные параметры будут получены и при рассмотрении консоли половинной длины, нагруженной половинным усилием $Q/2$ на свободном конце (рис. 1б). Данная расчетная схема дает возможность варьирования местами расположения опоры или, соответственно, нагружающего усилия $Q/2$ за счет изменения параметра 1.

Для достоверного анализа напряженно-деформированного состояния исследованиям были подвергнуты 13 вариантов полосы, отличающихся друг от друга геометрическими параметрами (табл.1). При этом изменяемые и расчетные параметры устанавливались по данным конструкторской документации исследуемых плит.

При расчете напряженно-деформированного состояния исследуемых образцов использовалась конечноэлементная сетка разбивки полос,

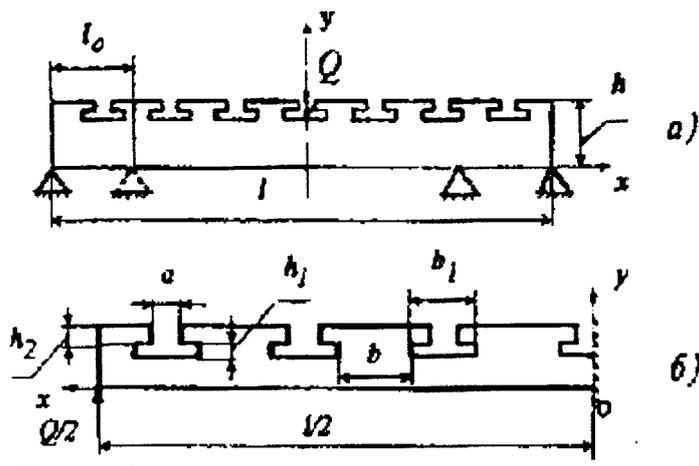


Рис.1. Расчетная схема полосы, вырезанной из универсальной сменной плиты.

представленная на рис. 2. Картина деформирования исходной формы полосы приведена на рис. 3, схема смещения отдельных сечений $x = \text{const}$ образца - на рис.4. Данные распределения свидетельствуют о том, что картина деформирования полосы по характеру соответствует гипотезе плоских сечений. Сечения $x = \text{const}$ смещаются и поворачиваются без удлинения или укорочения и почти без искривления первоначально прямолинейной формы. Доминирующей деформацией полосы является перемещение v (рис. 3), уровень которого примерно в 6 раз выше, чем u .

Максимальное значение $v = 81$ мкм достигается на наружном крае полосы; при приближении к за-

щемленному краю перемещения v монотонно убывают до нулевого значения.

Таблица 1.

Геометрические параметры образцов плоской полосы исследуемых универсальных сменных плит, мм.

Варианты	l	l_0	a	b	h	h_0	h_2
1. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	36	40	8	10
2. Плита без пазов	450	0	-	-	40	-	-
3. Плита без пазов	450	0	-	-	22	-	-
4. Плита без пазов	450	0	-	-	29	-	-
5. Плита с пазом 16 мм	450	34	16	36	40	8	10
6. Плита с пазом 16 мм	450	40	16	36	40	8	10
7. Плита с пазом 16 мм	450	53	16	36	40	8	10
8. Плита с пазом 16 мм	450	75	16	36	40	8	10
9. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	36	40	11	10
10. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	36	40	15	10
11. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	30	40	8	10
12. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	20	40	8	10
13. Плита с пазом 12 мм	450	0	16	40	40	8	8

Для напряженного состояния полосы характерно преобладание напряжений δ_x , уровень которых в 3 раза превышает уровень δ_y и в 4 раза - τ_{xy} . Эпюры напряжений δ_x в наиболее характерных сечениях $x = \text{const}$ и $y = \text{const}$ представлены на рис.5, 6.

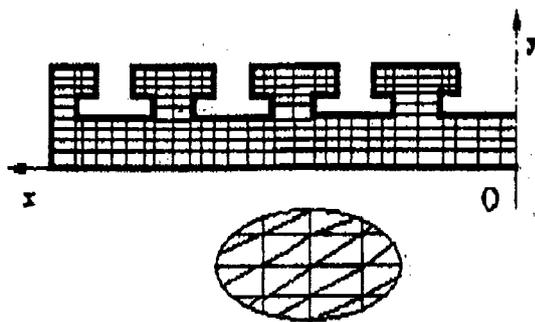


Рис.2. Схема конечноэлементной разбивки полосы универсальной сменной плиты.

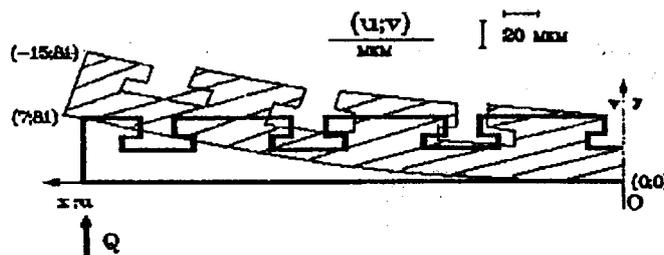


Рис.3. Картина деформирования полосы с Т-образными пазами.

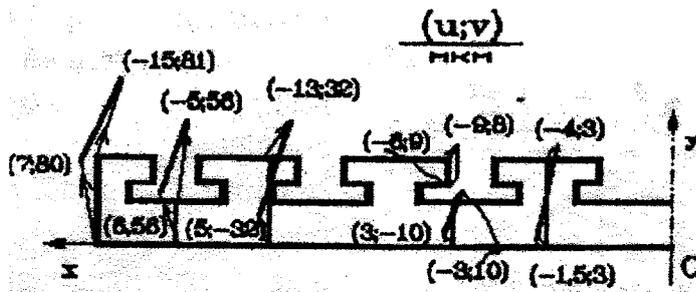


Рис.4. Схема смещения отдельных сечений полосы с T-образными пазами

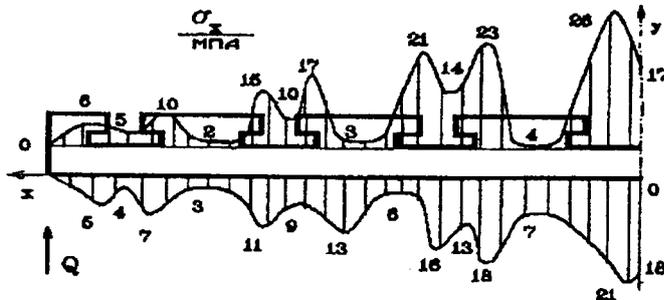


Рис.5. Эпюры напряжений δ_x в полосе с T-образными пазами в сечениях $y = \text{const}$.

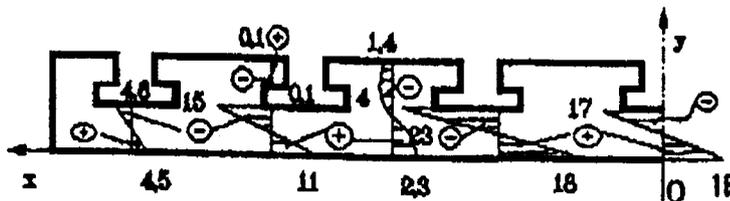


Рис.6. Распределение напряжений δ_x в плоском образце с T-образными пазами в сечениях $x = \text{const}$.

Из рисунков видно, что уровень напряжений в зоне пазов существенно выше, чем в зоне выступов (гребешков), причем резкая концентрация напряжений наблюдается в области сопряжения гребешок-паз. Максимального значения напряжения δ_x достигают в зоне консольного защемления и составляют 25МПа, на нагруженном крае $\delta_x = 0$.

Распределение напряжений в сечениях $x = \text{const}$ по характеру близко к линейному закону, за исключением зон в районе гребешков, где закон их изменения по координате y существенно отличается от линейного.

Эквивалентные напряжения δ_s , вычисленные по энергетической теории, по характеру распределения и абсолютным величинам (рис.7) соответствуют доминирующим напряжениям δ_x .

На рис.8 представлены картины деформирования полос без T-образных пазов высотой $h = 22,29$ и 40 мм. Из рисунка видно, что переход от высоты 40 мм к 22 мм приводит к росту перемещений в 5 раз при сохранении характера распределения, свойственного и полосе с T-образными пазами (рис.3). При этом прогибы последней $v = 81$ мкм занимают промежуточное положение между прогибами полос высотой 40 мм (28 мкм) и 22 мм (142 мкм).

Таким образом можно заключить, что $v_1 = k_v^{(2)}$, (2)

где: v_1, v_2 – максимальные прогибы соответственно для первого и второго варианта исполнения полос по табл. 1; $k_v^{(2)}$ – коэффициент перевода прогибов v от полосы второго варианта исполнения к полосе первого варианта.

Таблица 2.

Параметры напряженно-деформированного состояния образцов плоской полосы исследуемых универсальных сменных плит.^{*)}

№ варианта по табл. 1	V , мкм	δ_x , МПа	δ_s , МПа	τ_{xy} , МПа	δ_s , МПа	k_v	k_s
1	81	26,3	8,5	6,7	25,9	1,0	1,0
2	28	9,3	3,6	1,6	8,5	2,9	2,82
3	143	34,3	11,3	6,6	32,7	0,57	0,76
4	64	16,4	6,0	3,1	15,3	1,46	1,6
5	62	22,5	7,2	5,7	22,2	1,3	1,16
7	52	20,4	6,6	5,1	20,1	1,56	1,28
8	41	17,9	5,8	4,5	17,7	2,0	1,26
9	82	26,7	8,6	6,9	26,4	0,99	0,98
10	87	28,7	9,3	7,3	28,4	0,93	0,91
11	81	17,1	5,8	4,9	17,6	1,0	1,53
12	85	15,2	5,9	4,0	14,1	0,95	1,72
13	66	19,3	6,1	3,2	19,2	1,23	1,36

^{*)}В таблице приведены максимальные значения параметров.

Напряжения δ_x , эпюры которых приведены на рис.9, в полосе высотой 40 мм имеют близкий к линейному закон изменения по координате x (нулевое значение - на нагруженном краю, максимальное в зоне защемления) и линейный по координате y (нулевое значение у линии $y = h/2$). Это соответствует характеру распределения δ_x в консольно закрепленном стержне с аналогичной схемой нагружения. Учитывая, что тенденция распределения

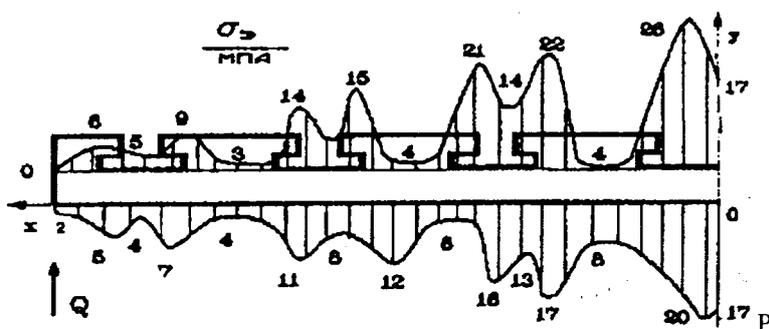


Рис.7. Эпюры эквивалентных напряжений δ_x в плоском образце плиты.

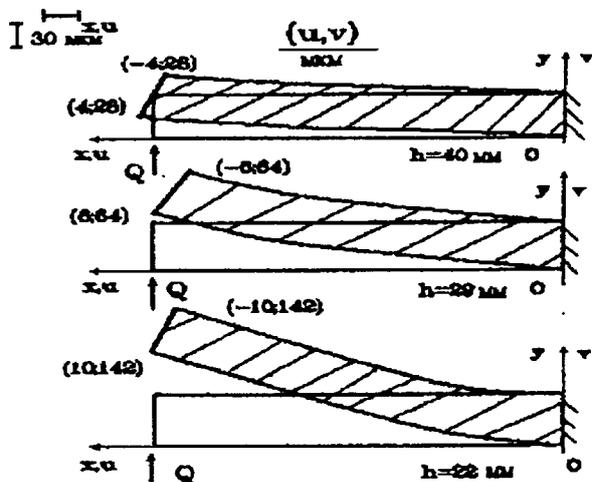


Рис.8. Картина деформирования полос сменных плит постоянной толщины с высотой 40, 29 и 22 мм.

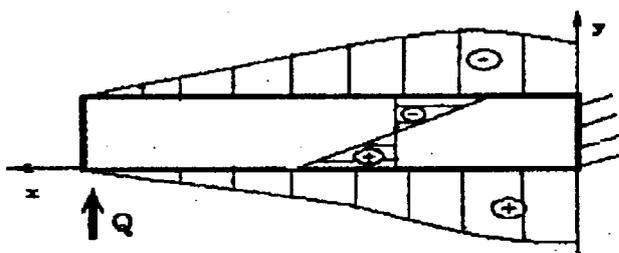


Рис.9. Напряжения δ_x в сплошной полосе универсальной сменной плиты высотой 40 мм.

-уменьшение ширины паза a с 16 до 12 мм приводит к повышению жесткости плиты в 1,23 раза и снижению уровня напряжений в 1,32 раза (варианты 1,13 по табл.2).

δ_x в полосе с T-образными пазами соответствует в среднем (за исключением зон резкого изменения геометрической формы) приведенной на рис.9 картинке, можно также предположить, что

$$\delta_1 = k \delta_2^{(2)} \quad (3)$$

где δ_1, δ_2 - максимальные напряжения соответственно для первого и второго вариантов полос по табл.1; k - коэффициент перевода напряжений δ_x от полосы второго варианта исполнения к полосе первого варианта.

Используя выражения (2), (3), ранее полученные результаты исследования универсальных сменных плит без T-образных пазов и данные табл.2, устанавливаем максимальные значения параметров напряженно-деформированного состояния универсальных сменных плит с T-образными пазами (табл.3).

Анализ ранее полученных данных и представленных в табл.2, 3, позволяет сделать следующие выводы:

- действующие в универсальных сменных плитах напряжения в 1,4-4,2 раза ниже допускаемых их значений, что говорит о достаточной прочности плит;

- двухкратное увеличение размера паза h (варианты 1,9, 10 по табл.2) при неизменной высоте h приводит к росту уровня прогибов на 7,4% и напряжений на 9,5%, что практически не влияет на жесткость и прочность плит;

- с увеличением расстояния b_1 между краями T-образных пазов в 1,8 раза (варианты 1,11,12 по табл.2) прогибы плит увеличиваются на 4,9% при значительном снижении уровня действующих напряжений, что обусловлено их перераспределением и уменьшением степени концентрации в сопряжении "паз-гребешок";

- увеличение расстояния l_0 от края плиты до опоры вызывает монотонное снижение уровня прогибов и напряжений (варианты 5-8 по табл.2), что положительно сказывается на жесткости и прочности плит;

Таблица 3.

Максимальные значения параметров напряженно-деформированного состояния универсальных сменных плит с T-образными пазами

Индекс плиты (габариты, мм)	Тип нагружения	w , мкм	δ_x , МПа	δ_y , МПа	τ_{xy} , МПа	δ_z , МПа
МДВ 7401.4001 (450×300×40)	P	2,1	5,9	3,24	1,54	5,84
	M_x	1,42	4,3	4,94	1,2	4,26
	M_y	1,39	4,6	1,6	1,2	4,55
МДВ 740 1.4002 (450×450×40)	P	2,9	4,5	2,1	1,17	4,5
	M_x	5,8	14,1	2,1	3,7	13,97
	M_y	2,7	8,2	3,0	2,1	8,2

УДК 621.7.077

СБОРКА И СВАРКА КРУПНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ СТЕНДАХ

Подобедов В.В., канд. техн. наук, Роменский В.И., канд. техн. наук,
Бородин В.А., канд. техн. наук, Гриценко Г.Д., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The layouts several of benches for assembly and welding of large metallic structures are adduced, a number of parts and modular units of these benches is described.

При изготовлении крупных металлоконструкций на сборку под сварку приходится до 30% всей трудоемкости выполняемых операций. Наибольшие затраты труда приходятся на разметку деталей под сборку, взаимную ориентацию и выверку элементов металлоконструкций, фиксацию этих элементов в процессе прихватки и сварки. Эти операции требуют значительных затрат ручного, физически тяжелого труда, при их выполнении постоянно заняты электромостовые краны и бригада слесарей-сборщиков.

Использование специальных стенов для сборки под сварку крупных металлоконструкций целесообразно лишь при серийном изготовлении последних, так как эти стенов весьма трудоемки, металлоемки и постоянно занимают значительные производственные площади цехов металлоконструкций. Для достижения высокой точности сборки часто повторяющихся изделий используют комплексно-механизированные линии и стенов, обеспечивающие механизацию операций поджатия и закрепления элементов сварных конструкций. Для сборки под сварку часто меняющейся номенклатуры сварных конструкций наиболее эффективна система переналаживаемой оснастки, обеспечивающая сборку разнообразных стенов за короткое время из готовых сборочных единиц и деталей.

Анализ выпуска крупных металлоконструкций на предприятиях тяжелого машиностроения показывает, что среди них преобладают рамные конструкции, их объем составляет до 80%.

В зависимости от габаритов сварных конструкций возможны два варианта их базирования. Для изделий с габаритными размерами до 5000x2000x1500 мм его целесообразно осуществлять на стационарных плитах, изготавливаемых в двух исполнениях - с Т-образными пазами шириной в 12 и 16 мм, габаритными размерами L x B x H 720x480x120, 1200x720x120 и 1200x1200x120 мм, устанавливаемых на специальных регулируемых подставках.

Примерная конструкция базовой плиты изображена на рис. 1. На лицевых сторонах плиты выполнены Т-образные пазы шириной 12Н10 или 16Н10, расположенные с шагом соответственно 60+0,12 или 120+0,2 мм. С помощью этих пазов на плите посредством шпонок и болтов фиксируются и закрепляются элементы переналаживаемой оснастки, образующие корпус приспособления. На боковых поверхностях плиты выполнены соразмерные с основными продольные Т-образные и поперечные шпоночные пазы. С их помощью на базовые плиты можно устанавливать различные элементы (например, угольники, опоры) и тем самым осуществлять наращивание ее рабочих поверхностей. Кроме этого, эти пазы позволяют осуществлять фиксацию плит при их стыковке между собой.

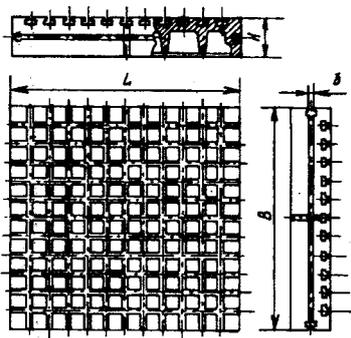


Рис. 1. Базовая плита.

На машиностроительных предприятиях широкое применение нашли комплекты универсально-сборных приспособлений для сборочно-сварочных работ (УСПС) с пазами шириной 12 мм, содержащие 88 наименований и 670 типоразмеров стандартизированных деталей и сборочных единиц (ГОСТ 17827-72 - ГОСТ 17913-72), а также с пазами шириной 16 мм, содержащие 114 наименований и 399 типоразмеров деталей и сборочных единиц (ГОСТ 17934-72 - ГОСТ 18047-72).

По своему функциональному назначению детали и сборочные единицы УСПС разделяются на следующие группы: базовые, опорно-корпусные, фиксирующие, установочно-направляющие, прижимные, крепежные и разные.

Для сборки металлоконструкций с габаритными размерами 5000x2000x1500 мм возможны варианты переналаживаемых стенов, монтаж которых выполняют на площадях из стационарно установленных плитных настилов, имеющих обычно в цехах металлоконструкций. При этом нет необходимости в точной нивелировке положения плит настила между собой и каждой плиты в отдельности.

Комплект оснастки для компоновки переналаживаемых стенов включает более тридцати наименований и типоразмеров базовых, фиксирующих и крепежных узлов оснастки многократного применения.

В комплект переналаживаемых стенов в качестве базовых деталей входят базовые и силовые угольники (рис. 2).

Базовые угольники (рис. 2, а) имеют три вертикальных паза шириной 40 мм. Два паза расположены на боковых поверхностях угольника, а один - на лицевой. По обеим сторонам пазов прикреплены рифленые планки, служащие для закрепления на угольниках опорных, фиксирующих, центрирующих и других сборочных единиц, входящих в комплект. Четыре отверстия на основании угольника служат для установки в них опор, обеспечивающих нивелировку угольников, закрепляемых на стеновых плитах. Т-образные пазы шириной 60 мм ис-

пользуют для установки упоров, регулирующих положение лицевой стороны угольника при компоновке стенда. Силовые угольники (рис. 2, б) отличаются от базовых отсутствием продольного паза и рифленых планок на лицевой стороне. Паза имеются лишь на боковых сторонах угольника.

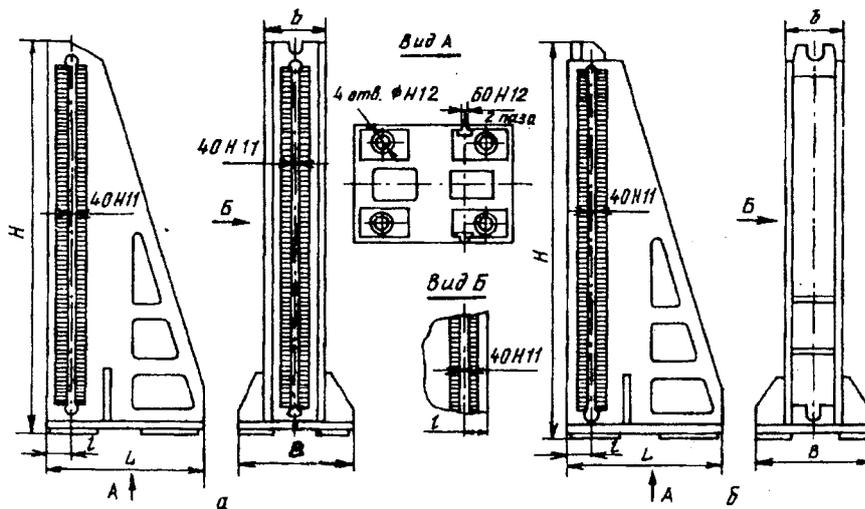


Рис. 2. Базовый (а) и силовой (б) угольники.

2, стойку 3 с кольцом 4 и стакан 5, который приварен к столу. На наружной поверхности стакана имеется резьба и четыре продольных паза, куда входит подпружиненный стопор фиксатора. Такая же резьба выполнена в отверстиях кольца 4, сваренного в стойку 3. При вращении стол перемещается в вертикальном направлении. Он может быть зафиксирован через каждую четверть оборота. Таким образом, высота стола может быть установлена от 300 до 465 мм с интервалом регулировки 0,5 мм (шаг резьбы 2 мм). Подставка (рис. 3, б) служит для установки на заданную высоту регулируемой подставки (рис. 3, в). Между собой подставки можно соединять специальными вставками, входящими в отверстия диаметром 105 мм. В комплект входят 4 типоразмера подставок длиной 150, 250, 400 и 700 мм. Регулируемая подставка состоит из винта 8, гайки 6 и ручек 7. Резьба винта и гайки трапециевидная. Регулируемые подставки поставляются двух типоразмеров, с винтами длиной 156 и 206. Ход каждого винта в гайке 40 мм.

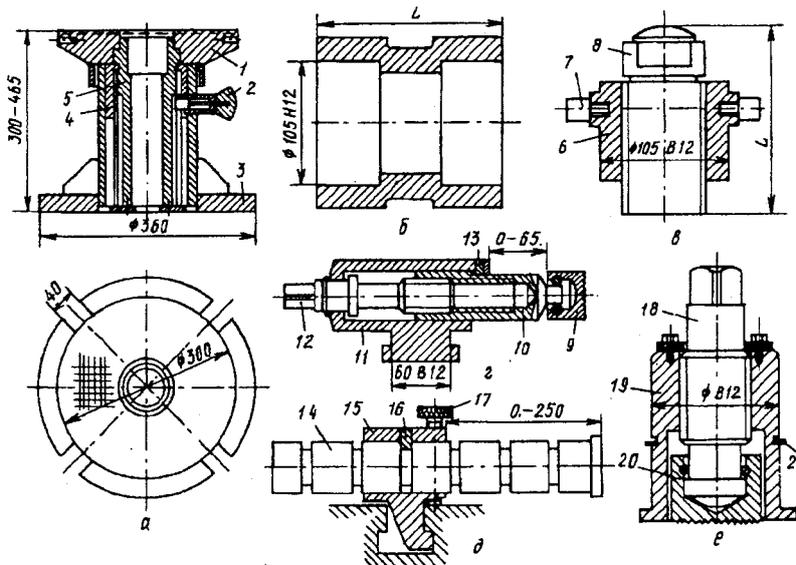


Рис. 3. Детали и сборочные единицы перенастраиваемых стендов:
а - подставка; 1 - стол; 2 - фиксатор; 3 - стойка; 4 - кольцо; 5 - стакан;
б - подставка; в - регулируемая подставка;
б - гайка; 7 - ручка; 8, 12, 17, 18 - винты;
г - упор; 9 - пята; 10 - шток; 11 - корпус; 13 - планка;
д - регулируемый упор; 14 - пиноль; 15 - корпус; 16 - фиксатор;
е - опора: 19 - корпус; 20 - пята; 21 - пружинное кольцо.

Крепежные и базисные узлы крепят на угольниках с помощью этих пазов. В комплект входят 4 типоразмера угольников высотой Н 1860, 2360, 2630 и 3630 мм, длиной L 800, 900 и 1300 мм. Ширина В основания всех угольников 650 мм, одинакова и ширина рабочей части угольников - 330 мм.

Подставку (рис. 3, а) применяют для установки свариваемых элементов и регулировки их положения в вертикальном направлении. Она включает стол I с рифлениями на рабочей поверхности, фиксатор

Упор (рис. 3, г) устанавливают в Т-образные пазы на основании угольников. Вращая винт 12, зафиксированный в корпусе II, перемещают шток 10 с пятой 9 на конце. Планка 13, взаимодействующая с лыской на штоке, предотвращает его вращение. Пята упора при установке угольника упирается в неподвижную опору, закрепленную на стендовой плите.

В качестве такой опоры может быть использован регулируемый упор (рис. 3, д). В корпусе 15 упора установлена пиноль 14 с кольцевыми пазами, расположенными на расстоянии 50 мм друг от друга. Продольное перемещение пинюли в корпусе предотвращает фиксатор 16. Корпус вставляют в Т-образный паз стендовой

В качестве такой опоры может быть использован регулируемый упор (рис. 3, д). В кор-

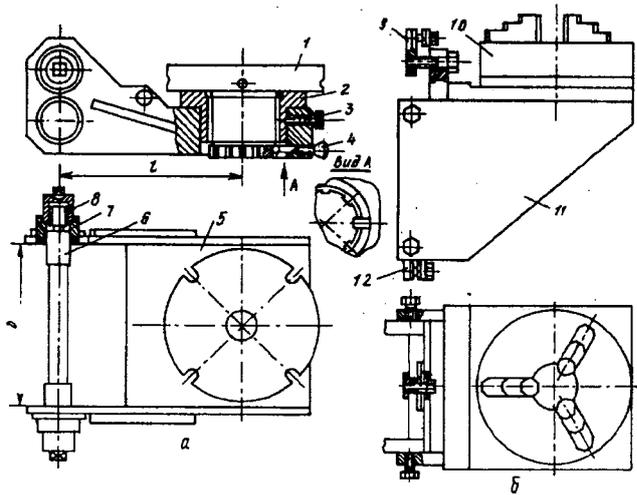


Рис. 4. Регулируемый кронштейн (а) и центрирующее устройство (б):

1 - опора; 2 - резьбовая втулка; 3, 6 - винты; 4 - фиксатор; 5 - корпус; 7 - накладка; 8 - гайка; 9, 12 - узлы крепления; 10 - самоцентрирующий патрон; 11 - кронштейн.

ку используют продольные пазы на боковых его сторонах. Крепление осуществляют винтом 6, проходящим через одно из сквозных отверстий в кронштейне. Используя одно из этих отверстий для размещения оси, обеспечивают увеличение интервала регулировки высоты положения кронштейна на угольнике. Винт 6 одновременно пропускают и через продольные пазы угольника. При этом рифления накладок 7 взаимодействуют с рифлениями планок, расположенных на угольнике (см. рис 2) вдоль его продольных пазов шириной 40 мм. Закрепление кронштейна на угольнике осуществляют гайками 8 (см. рис. 4). Для обеспечения горизонтального положения рабочей поверхности опоры I при компоновке стенда корпус опирается на две подставки (см. рис. 3, а), в которые вставлены регулируемые подставки (см. рис. 3, в).

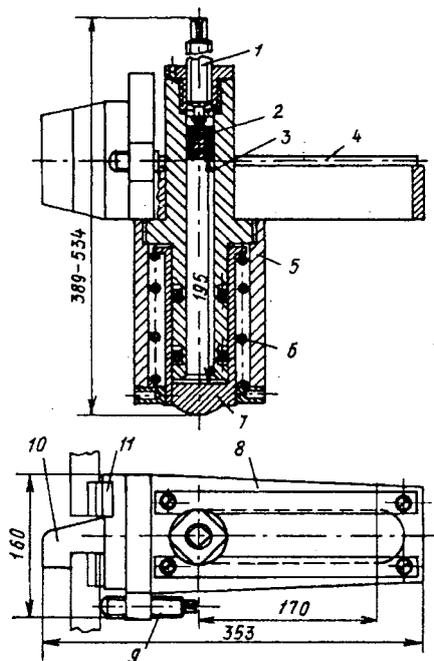


Рис. 5. Механогидравлический прижим:
1, 9 - винты; 2 - поршень; 3 - пиноль; 4 - планка; 5 - стакан; 6 - пружина; 7 - цилиндр; 8 - корпус; 10 - Г-образный зацеп; 11 - рейка.

пусе 15 упора установлена пиноль 14 с кольцевыми пазами, расположенными на расстоянии 50 мм друг от друга. Продольное перемещение пиноли в корпусе предотвращает фиксатор 16. Корпус вставляют в Т-образный паз стеновой плиты и закрепляют в нем винтом 17. Используя регулируемый упор в сочетании с упором (рис. 3, г), можно устанавливать угольники на стеновых плитах с расстоянием между пазами до 250 мм.

Опоры (рис. 3, е) вставляют в соответствующие отверстия угольников и закрепляют в них пружинным кольцом 21. Нивелировку угольников производят вращением винта 18. При этом угольник опирается на пять 20 четырех опор.

Регулируемый кронштейн (рис. 4, а) применяют для установки элементов собираемой металлоконструкции на определенной высоте. Кронштейн устанавливают на лицевой поверхности базового или силового угольника (рис. 2).

Для крепления кронштейна к угольнику используют продольные пазы на боковых его сторонах. Крепление осуществляют винтом 6, проходящим через одно из сквозных отверстий в кронштейне. Используя одно из этих отверстий для размещения оси, обеспечивают увеличение интервала регулировки высоты положения кронштейна на угольнике. Винт 6 одновременно пропускают и через продольные пазы угольника. При этом рифления накладок 7 взаимодействуют с рифлениями планок, расположенных на угольнике (см. рис 2) вдоль его продольных пазов шириной 40 мм. Закрепление кронштейна на угольнике осуществляют гайками 8 (см. рис. 4). Для обеспечения горизонтального положения рабочей поверхности опоры I при компоновке стенда корпус опирается на две подставки (см. рис. 3, а), в которые вставлены регулируемые подставки (см. рис. 3, в).

Опора 1 (см. рис. 4) установлена в резьбовой втулке 2, закрепленной в корпусе винтом 3. Восемь пазов, расположенных на нижней части опоры, и фиксатор 4, установленный в корпусе 5, позволяют при шаге резьбы опоры и резьбовой втулки, равном 4 мм, фиксировать положение стола по высоте через каждые 0,5 мм. Общий ход опоры кронштейна при ее вращении не более 20 мм. В комплекте предусмотрено два типоразмера регулируемых кронштейнов с межосевым расстоянием L 350 и 460 мм.

Центрирующее устройство (рис. 4, б) применяют в двух исполнениях: нижнем (изображено на рисунке) и верхнем (его площадка с самоцентрирующим патроном расположена снизу). На кронштейне II установлены самоцентрирующий патрон 10 и узлы крепления 9 и 12 устройства к угольнику. Центрирующие устройства применяют для фиксации деталей типа втулок при сборке металлоконструкций. В компоновках стендов используют кронштейн II без самоцентрирующего патрона в качестве нерегулируемой опоры.

В компоновках переналаживаемых стендов для закрепления и поджима элементов собираемой металлоконструкции применяют, главным образом, механизированные зажимные устройства с механогидравлическим и магнитным приводами.

Механогидравлический прижим (рис. 5) применяют для поджима элементов металлоконструкций в вертикальном направлении. Корпус 8 закрепляют на угольнике винтом 9. При этом Г-образный зацеп 10 входит в продольный паз базового угольника, а рифления рейки II взаимодействуют с рифлениями соответствующей рифленой планки угольника. В продольном пазу корпуса расположена пиноль 3, удерживаемая двумя планками 4, входящими в соответствующие пазы на

пиноли. В полость пиноли залито масло. Перемещаемый винтом 1 поршень 2 создает в этой полости давление, передаваемое на цилиндр 7, поперечное сечение полости которого больше поперечного сечения полости пиноли. За счет разницы этих поперечных сечений усилие, с которым воздействует цилиндр на элемент металлоконструкции, увеличивается. Пружина 6, помещенная в стакан 5, служит для возврата цилиндра в исходное положение при перемещении поршня 2 вверх. Прижим рассчитан на усилие 50 кН, его рабочий ход 50 мм. При настройке стэнда пиноль перемещают в пазу корпуса на требуемое расстояние от лицевой поверхности угольника.

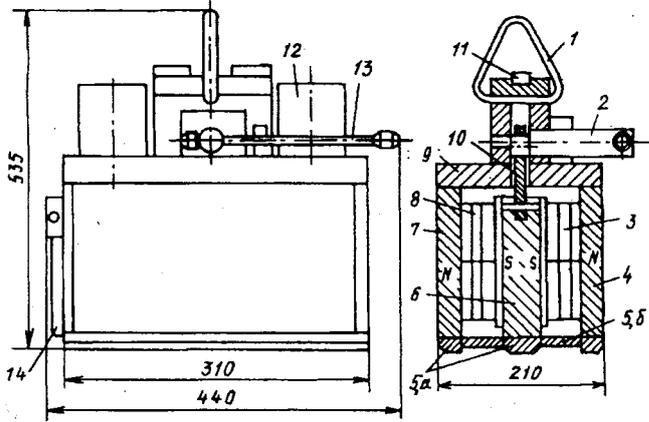


Рис. 6. Магнитный захват:

1 – серьга; 2 – эксцентрик; 3, 8 – магнитные блоки; 4, 7 – магнитопроводы; 5 – адаптерная плита (а, б – пластины); 6 – сердечник; 9 – корпус; 10 – тяга; 11 – шпонка; 12 – кожух; 13 – рукоятка; 14 – откидная серьга.

магнитопроводами 4, 7 и адаптерной плитой 5. Корпус и магнитопроводы выполнены из малоуглеродистой стали, оказывающей незначительное сопротивление магнитному потоку, который создают магнитные блоки 3, 8, состоящие из набора намагниченных пластин из материалов, способных трансформировать магнитную индукцию. Пластины размещены таким образом, чтобы к сердечнику 6 были направлены южные полюса пластин, а к магнито-проводам 4, 7 – северные. Адаптерная плита 5 состоит из сваренных между собой чередующихся пластин. Пластины 5, а выполнены из ферромагнитного материала, а пластины 5, б – из материала, не пропускающего магнитный поток

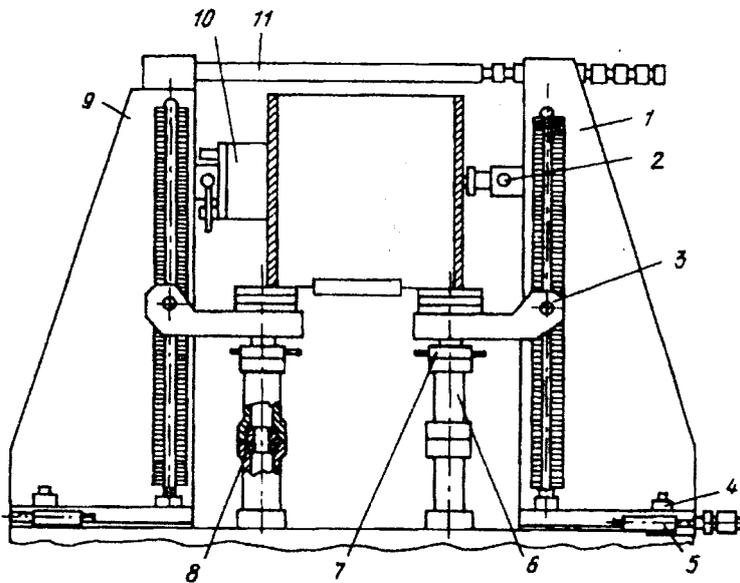


Рис. 7. Схема компоновки стэнда для сборки и сварки станины:

1,9- базовые угольники; 2 - клин; 3 - регулируемый кронштейн; 4. - опора; 5 - упор; 6 - подставка; 7 - регулируемая подставка; 8 - вставка; 10 - магнитный захват; 11 – стяжка.

Для поджима элементов металлоконструкций, собираемых под сварку, в горизонтальном направлении служат механо-гидравлические клинья. Принцип их работы аналогичен принципу работы механо-гидравлических прижимов. Клинья крепят к угольникам с помощью Г-образных зацепов. Их усилие направлено перпендикулярно рабочей поверхности угольника. Механогидравлические клинья трех типоразмеров обеспечивают воздействие на поджимаемые элементы с усилием 120., 200 и 500 кН при рабочем ходе 50 мм.

Механизированное закрепление элементов металлоконструкций при их сборке осуществляют и с помощью устройств, в которых используются постоянные магниты. Включение и выключение магнитного захвата (рис. 6) осуществляют путем изменения направления действия магнитного потока. Корпус 9 захвата скреплен с

У включенного захвата сердечник соприкасается со средней планкой адаптерной плиты. При этом магнитный поток замыкается на изделии, соприкасающемся с адаптером, и притягивает его. Для выключения магнитного захвата сердечник перемещают вверх до соприкосновения с корпусом 9. При этом магнитный поток замыкается на корпус, и притянутое изделие освобождается. Сердечник перемещают с помощью тяги 10, соединенной с эксцентриком 2. Для поворота эксцентрика предназначена рукоятка 13. Под кожухами 12 располагаются пружины, которые взаимодействуют с сердечником и облегчают его перемещение. Фиксацию магнитного захвата на базовом угольнике осуществляют шпонками II, транспортировку - с помощью откидной серьги 14.

Магнитный захват может быть использован как грузоподъемное средство при транспортировке из-

делей из ферромагнитного материала. В этом случае захват подвешивают на крюк крана за серьгу I. Сила притяжения захвата 15 кН. При использовании захвата для транспортировки его грузоподъемность 5 кН (предусмотрен трехкратный запас). В комплект оснастки включены также магнитные прихваты, выполненные без отключения магнитного потока; их нельзя использовать в качестве грузоподъемного средства.

При эксплуатации магнитных захватов и прихватов следует учитывать, что отрывное усилие и усилие сдвига в значительной мере зависят от толщины притягиваемого листа и от зазора между рабочей поверхностью магнитного блока и поверхностью притягиваемого листа.

Кроме описанных, в комплект переналаживаемых стенов входит ряд других сборочных единиц и деталей, обеспечивающих эффективную компоновку, наладку, переналадку и эксплуатацию оснастки.

В компоновке стента для сборки и сварки станины (рис. 7) использованы базовые угольники I, 9 (см. рис. 2, а). К боковым сторонам обоих угольников прикреплены регулируемые кронштейны 3, опирающиеся на наборы подставок 6, соединенных вставками 8, и регулируемых подставок 7 (см. рис. 3, в). К лицевой стороне угольника I прикреплен механогидравлический клин 2, а к лицевой стороне угольника 9 - магнитный захват 10 (см. рис. 6). Угольники сnivelированы на стеновых плитах опорами 4 и удерживаются от перемещений упорами 5. Кроме того, их перемещение предотвращает стяжка II, входящая в комплект. Стяжка состоит из штанги и замка. Штанга имеет кольцевые пазы, расположенные на расстоянии 40 мм друг от друга. Втулку замка одевают на штангу и фиксируют на выбранном кольцевом пазе защелкой. Регулировку стяжки производят гайкой, навинченной на втулку замка.

Конструкция стента для сборки и сварки стойки с цилиндрическим элементом (рис. 8) смонтирована на базовых угольниках 2, 8, закрепленных на стеновых плитах с помощью откидных прижимов 7, опор 3 и упоров 4. Для фиксации цилиндрического элемента металлоконструкции применены верхнее I и нижнее 5 центрирующие устройства.

Для фиксации заранее сваренного основания используются регулируемый кронштейн 6 и магнитный захват 9. Стяжка 10, соединяющая угольники, обеспечивает компоновке необходимую жесткость.

Комплект описанных элементов переналаживаемых стенов для сборки и сварки крупных металлоконструкций позволяет собирать конструкции типа рам, балок, кронштейнов, стоек и др. высотой до 3000, шириной до 5000 и длиной до 30000 мм (длина ограничивается лишь длиной плитного настила).

Применение переналаживаемых стенов целесообразно при изготовлении крупных металлоконструкций как

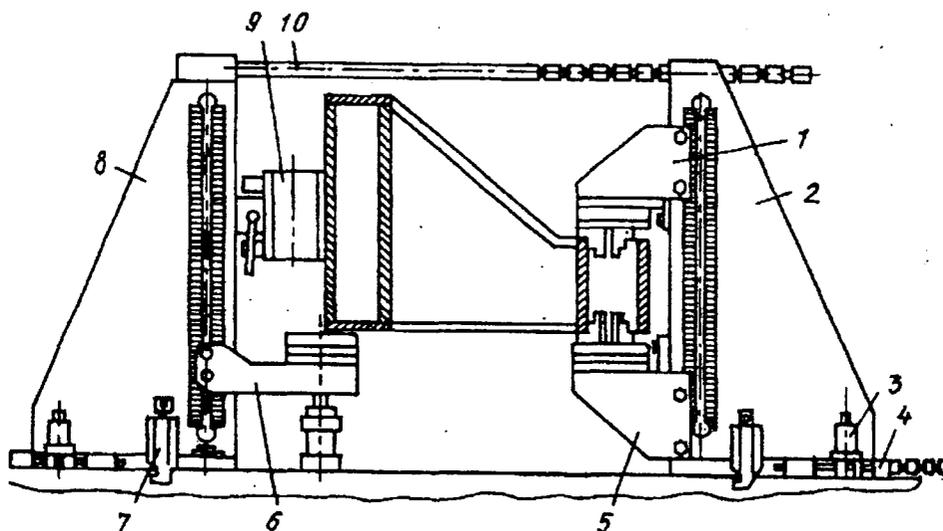


Рис. 8. Схема компоновки стента для сборки и сварки стойки с цилиндрическим элементом:

1,5- верхнее и нижнее центрирующие устройства; 2, 8 - базовые угольники; 3 - опора; 4 - упор; 6 - регулируемый кронштейн; 7 - откидной прижим; 9 - магнитный захват; 10 - стяжка.

в единичном, так и в серийном производстве. Основным достоинством этой оснастки является постоянная готовность комплекта к использованию в новых условиях производства. Данная оснастка позволяет вести сборку и сварку разнообразных металлоконструкций с применением приспособлений независимо от изменения конструкции и количества подлежащих изготовлению изделий. Повышается оснащенность сборочных операций, что значительно облегчает получение заданной точности металлоконструкций, избавляет от ручных операций по установке, рихтовке и поджиму элементов при сборке с помощью подручных средств, широко используемых в цехах металлоконструкций. Повышение оснащенности операций обеспечивает снижение трудоемкости сборки, облегчает труд, повышает культуру производства.

Практика использования переналаживаемой оснастки показывает, что благодаря ее применению снижение

трудоемкости сборки даже одной крупной металлоконструкции в несколько раз больше, чем время на сборку станда, необходимого для выполнения этой операции. Это обуславливает целесообразность применения такой оснастки. При сборке нескольких однотипных изделий эффективность использования переналаживаемых стандов многократно возрастает.

По сравнению со специальными стандами переналаживаемые обладают существенными преимуществами. Например, специальные станды для сборки крупных металлоконструкций по своим габаритам на 2-3 м больше самих изделий, занимают значительные производственные площади. В период, когда изделие, для которого предназначен станд, не изготавливают, занимаемая им производственная площадь не используется. Сборочные единицы переналаживаемых стандов почти всегда находятся в работе, а временно не используемые отдельные узлы занимают небольшую складскую площадь.

Замена специальных и стационарных стандов переналаживаемыми позволяет снизить затраты металла на изготовление оснастки, так как узлы таких стандов могут использоваться многократно для различных изделий. При внесении даже незначительных изменений в конструкции изделий специальные станды приходится переналаживать, а иногда и изготавливать заново, переналаживаемые же нуждаются лишь в переналадке.

Указанные преимущества позволяют рекомендовать переналаживаемые станды для сборки и сварки большинству предприятий, выпускающих крупные металлоконструкции.

УДК 621.791.925.621.9.025.7

ТЕХНОЛОГИЯ НАПЛАВКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛЕЙ МАШИН В ВАКУУМЕ

Бородинов В.А., канд. техн. наук, Подобедов В.В., канд. техн. наук,
Роменский В.И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The method of a surfacing of a cutting tool for increase of his stability is offered at processing of stuffs.

Основные технологические процессы металлообработки на современном машиностроительном предприятии невозможно организовать без наличия достаточного количества режущего инструмента необходимого качества.

Современный уровень организации производства предусматривает широкое применение гибких производственных модулей; автоматических линий; станков с ЧПУ и другого высокопроизводительного оборудования, работающего в автоматическом режиме. Однако из-за низкой размерной стойкости инструмента операции окончательной обработки поверхностей размерами высокой точности иногда приходится исключать из цикла обработки.

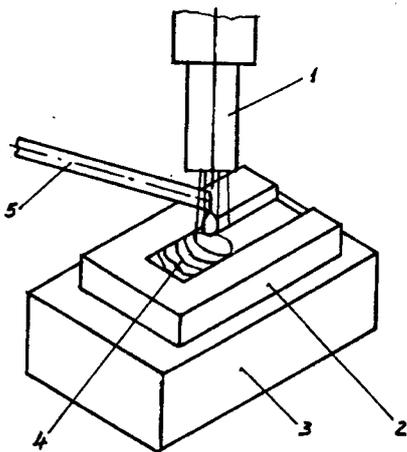


Рис. 1. Схема наплавки режущего инструмента:
1 - полая катод; 2 - наплавляемая деталь; 3 - стол; 4 — наплавляемый слой; 5 — присадочная проволока.

В связи с этим актуальной является задача повышения стойкости металлорежущего инструмента, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов, скорости резания при обработке которых в десятки раз ниже, чем для обычных конструкционных сталей.

Быстрорежущая сталь является наиболее распространенным материалом для изготовления режущего инструмента, несмотря на то, что твердосплавный инструмент и инструмент из керамики имеют более высокую износостойкость. Это объясняется лучшими технологическими свойствами и меньшей стоимостью быстрорежущей стали.

В связи с дефицитностью вольфрама - основного легирующего элемента быстрорежущих сталей - при производстве металлорежущего инструмента актуальна проблема создания экономичных конструкций инструмента наряду с повышением его стойкости.

Наплавка только режущих кромок инструмента, особенно многолезвийного, является одним из наиболее эффективных способов экономии высоколегированной быстрорежущей стали. В качестве материала для корпуса инструмента используются как углеродистые (марки 40, 45, 50), так и легированные (40X, 45X, 40XH, 30XГСА)

стали. Экономия быстрорежущей стали при применении наплавки достигает 80-85%.

Наплавленный инструмент (рис. 1) в большинстве случаев имеет повышенную стойкость, что связано с получением более однородного по свойствам наплавленного металла с равномерным распределением легирующих элементов. Это обусловлено высокой скоростью металлургических процессов при наплавке из-за небольшого объема сварочной ванны. Свойства же слитков и поковок менее однородны вследствие явления ликвации.

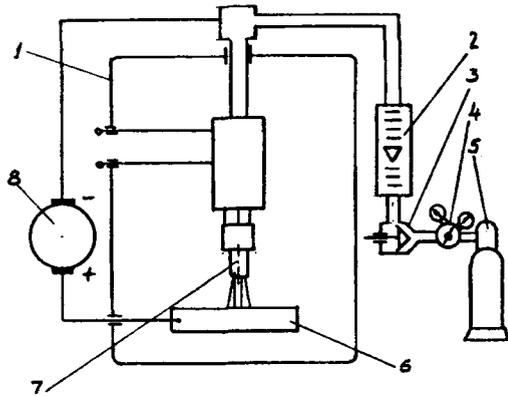


Рис. 2. Схема получения дугового разряда с полым катодом в вакууме:

1 - вакуумная камера; 2 - ротаметр; 3 - микронатекатель; 4 - редуктор; 5 - баллон с аргоном; 6 - анод-изделие; 7 - полый катод; 8 - источник напряжения.

Прочность наплавленного инструмента в целом выше, так как корпус его изготавливается из конструкционной стали. Исключается возможность поломок, часто наблюдаемых при эксплуатации литого инструмента.

При работе наплавленным инструментом происходит более интенсивный отвод теплоты от режущих кромок, благодаря высокой теплопроводности инструмента из конструкционной стали. Это значительно повышает стойкость кромок.

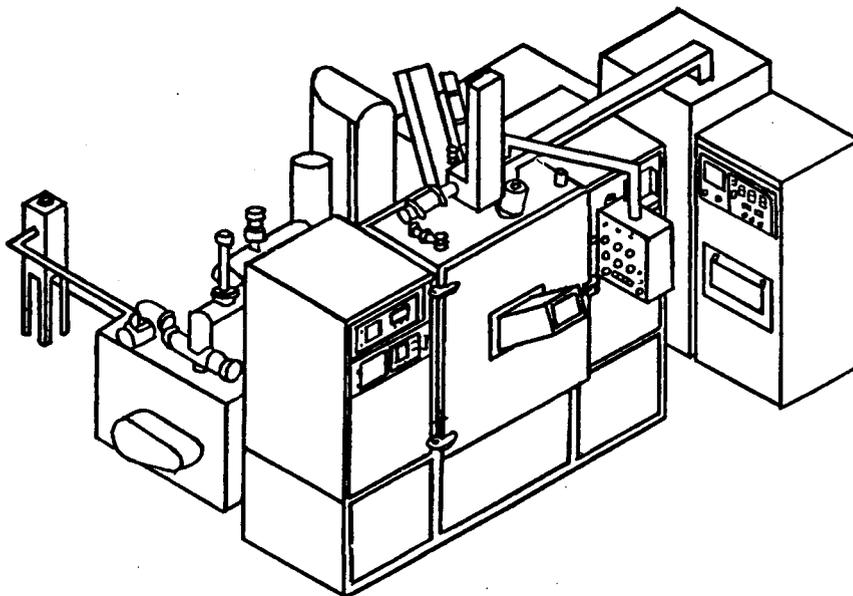


Рис. 4. Установка для наплавки инструмента и деталей машин в вакууме.

Вакуум не только обеспечивает идеальную защиту металла, но и активно на него воздействует с целью получения высокого качества наплавленных и сварных соединений.

Вакуум не только предохраняет расплавленный металл от действия окружающей среды, но и способствует уменьшению содержания газов, снижению степени загрязненности металла от нежелательных примесей. Вакуум активно воздействует на нагретый и расплавленный металл, ускоряет завершение кинетических и термодинамических процессов; улучшает условия образования пузырьков газа, увеличивает скорость их выхода из металла; удаляет оксиды и примеси загрязнения как с поверхности, так и из внутренних слоев металла.

Процесс наплавки быстрорежущей стали осуществляется при разрежении 5 Па.

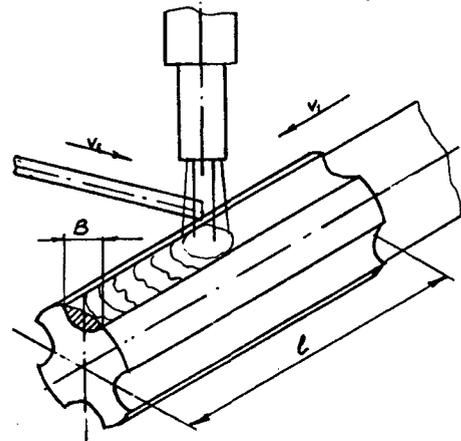


Рис. 3. Схема наплавки деталей машин в вакууме:

B, l - размеры канавки заготовки под наплавку быстрорежущей стали для образования режущих частей; v_1 и v_2 - направления перемещения заготовки и присадочной проволоки.

Процессы термообработки и заточки инструмента практически исключают брак наплавленного инструмента, а в то же время инструмент, целиком изготовленный из быстрорежущей стали, часто имеет трещины, ведущие к окончательному браку.

Таким образом, очевидно не только экономическая, но и эксплуатационная целесообразность изготовления металлорежущего инструмента методом наплавки.

Вакуум является высокоэффективной защитной средой при наплавке и сварке металлов, позволяющей не

В качестве плазмообразующего газа используется аргон (ГОСТ 10157-79). Процесс наплавки быстрорежущей стали осуществляется до 1600°C по схеме, показанной на рис. 2.

Рассматриваемый процесс наплавки быстрорежущей стали в вакууме для изготовления режущего инструмента может быть распространен на любые детали машин как в процессе основного производства, так и в ремонтных и восстановительных целях, где требуется высокое качество наносимого слоя. В качестве присадочно-го слоя могут быть использованы любые материалы с температурой плавления до 3000°C (рис. 3).

С целью широкого внедрения и распространения описанного процесса получения режущего инструмента из быстрорежущей стали и деталей машин специалистами ГП ХНИИТМ разработана документация на установку с ЧПУ для наплавки инструмента в вакууме.

В 2002 г. будет изготовлена опытная установка (рис. 4). С 2003 г. на ГП ХНИИТМ совместно с ГП "ЗиМ" планируется их серийный выпуск.

Широкое внедрение описанного оборудования и процесса изготовления инструмента и деталей машин методом наплавки быстрорежущей стали в вакууме и инструментальных производствах отрасли позволит значительно покрывать дефицит быстрорежущей стали и повысить уровень оснащенности инструментом рабочих мест.

УДК 621.923

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕНИЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ С ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Иоргачев В. Д., канд. техн. наук, Линчевский П. А., докт. техн. наук,
Дашенко А. Ф., докт. техн. наук
(г. Одесса, Украина)

The problems of choice of optimum parametrs of process of conecting blade processing with surface plastic deforming. The important aspect of effective plastic surface deforming use is pointed.

В современных условиях, которые сложились в машиностроении, рост технического уровня механизмов и машин предъявляет повышенные требования к их качественным показателям, а также обращает внимание к себестоимости их изготовления.

Поэтому одним из перспективных способов получения качественных поверхностей деталей машин является совмещение лезвийной обработки этих поверхностей с их одновременным упрочнением. Одним из перспективных методов упрочнения поверхностей является их пластическое деформирование (ППД). Это распространенный и эффективный способ повышения несущей способности деталей машин, и его естественно используют как финишную операцию.

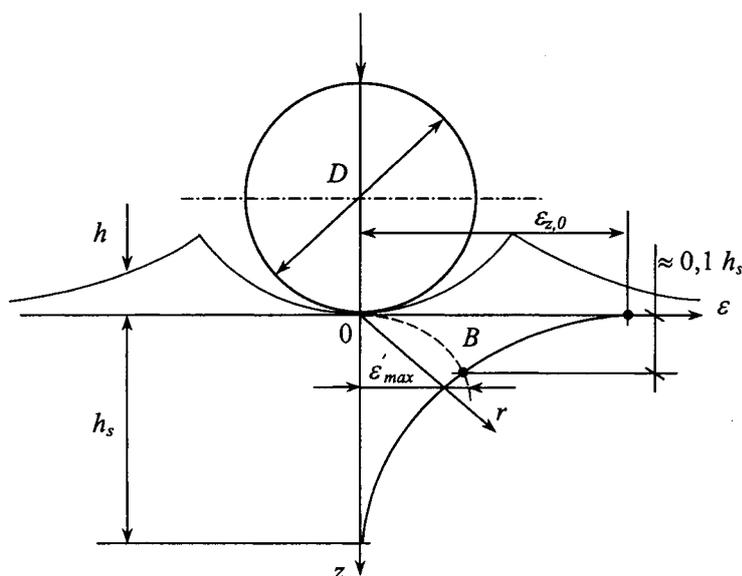


Рис. 1.

В качестве одной из распространенных финишных операций является тонкое растачивание.

Это обстоятельство и наталкивают на мысль об эффективности их совмещения. Особенностью этого совмещения, является то обстоятельство, что, имея по конструкции жёсткую кинематическую связь эти два процесса должны происходить при оптимальных (для каждого) режимах. Следует отметить, что не должно быть параметров обработки взаимно влияющих друг на друга.

Так как наибольший эффект упрочнения от использования ППД достигает для деталей, которые в процессе работы циклически деформируются или подвергаются в процессе эксплуатации сильному износу, то особенно важно определить такие параметры ППД, которые формируются в поверхностных

слоях остаточные сжимающие напряжения. Возникающие при эксплуатации в поверхностных слоях растягивающие напряжения негативно влияют на работоспособность детали из-за возможного формирования в поверхностных слоях трещин. Этого можно избежать, если компенсировать эти растягивающие напряжения посредством зарождения в поверхностных слоях заведомо контролируемых остаточных напряжений сжатия.

Это возможно если рассмотреть физику процесса обработки поверхности.

Интенсивность остаточной деформации на линии внедрения упругого штампа (ролика) двойкой кривизны в плоскую поверхность контртела (детали) показана на рис. 1.

Интенсивность упруго-пластической деформации возникающей в зоне контакта двух тел, характеризует физическое состояние материала в локальном объёме и, в частности, определяет запас пластичности, а следовательно и долговечность детали при контактном нагружении. При контактном упруго-пластическом деформировании поверхности детали с целью её упрочнения интенсивность деформации оказывается одним из главных факторов, определяющих эффективность процесса, т.к. по этой интенсивности можно определить уровень формирующихся остаточных напряжений сжатия.

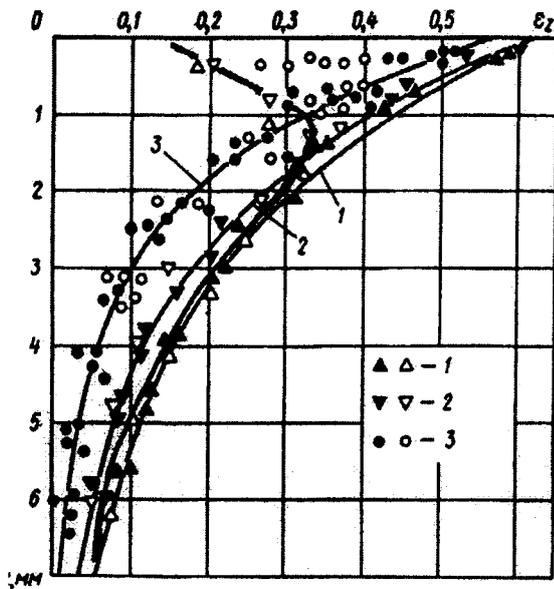


Рис.2.

В этом случае процесс обкатки должен происходить при обильной смазке. В случае, когда в процессе обкатки возникает интенсивное трение (проскальзывание) глубина максимальной интенсивности упруго-пластических деформаций ϵ'_{max} находится на глубине $\approx 0,1h_s$, и её величина значительно меньше $\epsilon_{z,0}$.

Таким образом, обкатываемая поверхность имеет низкий уровень остаточных напряжений сжатия на поверхности и не сможет компенсировать растягивающие напряжения в процессе эксплуатации детали (если такие возникают).

Процесс поверхностного упрочнения при таких условиях, оказывается мало эффективным. Этот факт хорошо подтверждается экспериментальными кривыми, показанными на рис. 2.

Рассмотренные выше проблемы, связанные с поверхностно-пластическим деформированием, при внешней простоте этого процесса показывают условия при которых этот процесс эффективен.

УДК 621.93

ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ “ЗЕРНО-СВЯЗКА” АБРАЗИВНОГО КРУГА

Сизый Ю.А., докт. техн. наук, Малыхин В.В., канд. техн. наук.

(г. Харьков, Украина, г. Курск, Россия)

Field of pressure in a system “Grain - Flow bundle” of an abrasive disk.

Для прогнозирования физико-механических свойств компонентов абразивных и алмазных кругов представляет значительный интерес определения поля напряжений в системе “зерно-связка”. С этой целью выполнено сопоставление прочности абразивного зерна из электрокорунда с прочностью связки удерживающей зерно в круге, через предельную глубину заделки зерна в круге.

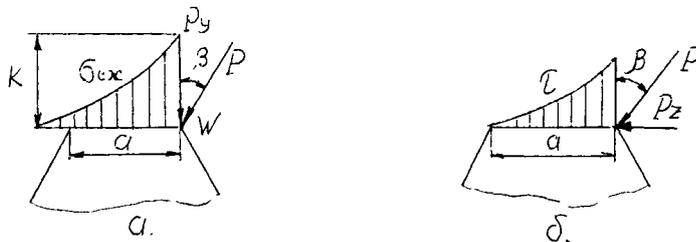


Рис.1.

При этом, под предельной глубиной заделки принята максимальная глубина заделки зерна в связке, при которой зерно с возрастанием нагрузки будет вырвано из связки без разрушения. Для решения поставленной задачи принимаем схему нагружения зерна на площадке износа по данным работы [1].

Величины силы P_y и главных напряжений

Глубина h_s (рис. 1) проникновения пластической деформации в соответствии с гипотезой Генки-Мизеля определяется из уравнения

$$h_s = b \left[\frac{4}{5 \left(\frac{b}{a} \right)^{3/2} + 3} \left(\frac{P}{ab\sigma_T} - \frac{17}{6 + \ln \frac{b}{a}} \right) \right]^{\frac{5}{10 + \ln b/a}},$$

здесь a, b - полуоси пятна упруго-пластического контакта; σ_T - предел текучести материала;

σ_1 и σ_2 при плоском напряженном состоянии можно определить по формулам:

$$P_y = F \cdot \cos \beta \approx \frac{1}{3} \cdot a \cdot k, \quad (1)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \left(-k + \sqrt{k^2 + 4k^2 t q^2 \beta} \right), \quad \sigma_2 = \frac{1}{2} \left(-k - \sqrt{k^2 + 4k^2 t q^2 \beta} \right), \quad (2)$$

$$\text{или } \sigma_1 = k \left(-0,5 + 0,5 \sqrt{1 + 4t q^2 \beta} \right), \quad \sigma_2 = k \left(-0,5 - 0,5 \sqrt{1 + 4t q^2 \beta} \right),$$

где k – величина напряжения в наиболее нагруженной точке; a – величина площадки износа; $k \cdot t q \beta = \tau$ – величина касательных напряжений в наиболее нагруженной точке W .

Предельное усилие, воспринимаемое зерном без разрушения, определим исходя из обобщенной теории прочности Мора для плоского напряженного состояния:

$$\sigma_1 - [\sigma] \cdot \frac{\sigma_2}{[\sigma_-]} < [\sigma],$$

где $[\sigma_-]$ – допустимое напряжение при сжатии, $[\sigma]$ – допустимое напряжение при растяжении.

Рассмотрим решение поставленной задачи применительно к условию работы зерна электрокорунда при обдирочном шлифовании, как одном из наиболее нагруженных процессов шлифования. По данным работы [4] имеем $P_z/P_y = 0,25$, предельно допустимые напряжения для зерна электрокорунда $[\sigma] = 250 \text{ н/мм}^2$, $[\sigma_-] = 750 \text{ н/мм}^2$. Условия прочности для зерна электрокорунда при обдирочном шлифовании: $k(0,06 - 0,33 \leq [\sigma])$,

$$\text{или } 0,41K \leq 250 \text{ н/мм}^2, \quad K = \frac{250}{0,41} = 609,8 \text{ н/мм}^2.$$

Следовательно, предельно допустимое усилие на зерно можно получить из (1) по формуле

$$P_{\text{дон}} = \frac{a \cdot k}{3 \cos \beta}. \quad (3)$$

Для определения напряжений по границе заделки зерна в связке принимаем модель зерна в виде усеченной сферы заглубленной в связку (рис. 2).

Современное состояние теории упругости не позволяет аналитически решить контактную задачу для такой сложной области. Поэтому упрощаем данную задачу вводя ряд допущений:

- решаем задачу для однородной полуплоскости, т.е. для полуплоскости неослабленной выемкой;
- как следствие этого не учитывается разность материалов зерна и связки;
- предполагаем зерно абсолютно твердым телом и в силу этого принимаем, что нагрузка, приложенная к вершине зерна, переносится на плоскость и принимается равномерно распределенной.

Если зерно со связкой занимает нижнюю полуплоскость, то $U_y = N(t)$, $X_y = T(t)$ на оси Ox . Где $N(t)$, $T(t)$ – заданные функции абсциссы t /нормальные и касательные напряжения.

Рассмотрим задачу плоского напряженного состояния, определяя напряжения по окружности, которая является границей контакта зерно – связка. Для решения сформулированной задачи необходимо вычислить следующие функции комплексного переменного $z = x - iy$ [5].

$$\left. \begin{aligned} \Phi(z) &= -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{N - iT}{t - z} dt; \\ \Psi(z) &= -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{T dt}{d - z} + \frac{z}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{N - iT}{(t - z)^2} dt \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

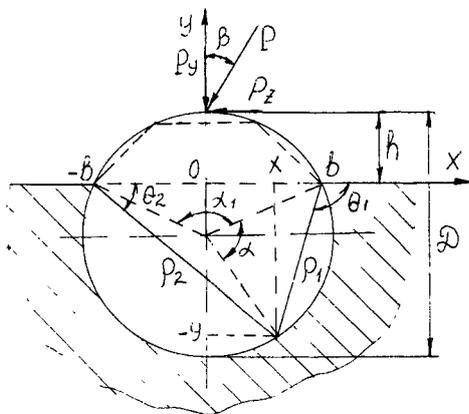


Рис. 2

Рассмотрим схему нагружения приведенную на рис. 2. Для данной схемы нагружения имеем следующие граничные условия:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } -b \leq t \leq b \quad N = kt - \rho, \quad T = -f; \\ \text{при } t < -b \text{ и } t > b \quad N = 0, \quad T = 0. \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Подставим значения напряжений N и T известные из граничных условий (5) в выражении (4). После чего получим:

$$\Phi(z) = -\frac{1}{2\Pi} \int_{-b}^{+b} \frac{(kt - \rho - if)dt}{t-z}; \quad \psi(z) = -\frac{f}{\Pi} \int_{-b}^{+b} \frac{dt}{t-z} + \frac{z}{2\pi i} \int_{-b}^{+b} \frac{(kt - \rho + if)dt}{(t-z)^2}, \quad (6)$$

где ρ - распределенная равномерно вертикальная нагрузка от усилия P_y ; f - распределенная равномерно горизонтальная нагрузка от усилия P_z ; κ - коэффициент пропорциональности при расчете момента от силы P_z .

Тогда имеем

$$\rho = p \cos \beta / 2b; \quad f = p \sin \beta / 2b; \quad M = P \sin \beta h \text{ или } M = kb^2.$$

$$k = \frac{R \cdot P \sin \beta}{b^2}, \text{ м.к. } y = \kappa \cdot t.$$

Выполнив ряд математических преобразований, т.е. интегрирование (5) и ее дифференцирование, после упрощений с учетом (2) получим формулы для расчета напряжений:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} \left[\sigma_\alpha + \sigma_\beta \pm \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_\alpha^2} \right], \quad (7)$$

где $\sigma_\alpha > \sigma_\beta$.

Определив главные напряжения σ_1 и σ_2 , где $\sigma_1 > \sigma_2$, произведем расчет связки на прочность по второй гипотезе прочности:

$$\sigma_1 - \mu \cdot \sigma_2 = \sigma_E \leq [\sigma], \quad (8)$$

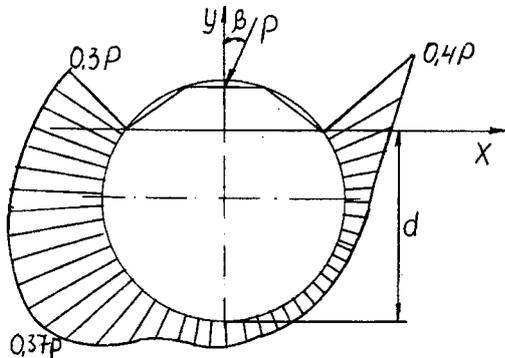


Рис. 3

где μ - коэффициент Пуассона; σ_E - эквивалентное напряжение. Значение допустимого напряжения на растяжении для бакелитовой связки принимаем $[\sigma] = 35 \text{ Н/мм}^2$ согласно [5].

Поскольку формулы расчета компонент напряжений очень громоздки, расчет выполняем на ЭВМ. На рис. 3 приведена эпюра эквивалентного напряжения для следующих исходных данных:

$D = 1,8 \text{ мм}$, $\beta = 0,3 \text{ рад}$, $\mu = 0,3$, $d = D - h = 1,5 \text{ мм}$, где d - глубина заделки.

Проведенные расчеты для других значений глубины заделки при прочих равных условиях показали, что максимальные эквивалентные напряжения соответствуют точке на поверхности связки со стороны передней поверхности зерна. В таблице приведены значения относительного максимального эквивалентного напряжения $\sigma_{E \max} / p$ для различной глубины заделки зерна при условиях: $D = 1,8$

мм, $\mu = 0,3$,
 $\beta = 0,3 \text{ рад}$.

$d, \text{ мм}$	$\sigma_{E \max} / p$
1,5	0,3985
1,2	0,4090
0,9	0,4138
0,6	0,5745
0,3	1,1002

В связи с тем, что при решении задачи о напряженном состоянии связки получаются величины напряжений в относительных единицах, т.е. напряжения деленные на силу резания, то появляется возможность определения предельной глубины заделки зерна в связке. Предельную глубину заделки находим из следующего условия:

$$[\sigma] = \frac{1}{P} \sigma_{E \max} \cdot P_{\text{дон}}.$$

Усилие $P_{\text{дон}}$ находим из (3).

Предположим, что площадка на зерне с $\alpha = 0,3 \text{ мм}$. Тогда при $\beta = 0,3 \text{ рад}$ и $K = 609,8 \text{ Н/мм}^2$ получим из (3) $P_{\text{дон}} = 63,8 \text{ Н}$. Зная $P_{\text{дон}}$ можно вычислить абсолютное максимальное эквивалентное напряжение для различных

условий заделки зерна, используя данные таблицы: $\sigma_{E_{max}} = \frac{\sigma_{E_{max}}}{P} \cdot P_{дон}$.

На рис. 4 приведена зависимость $\sigma_{E_{max}}$ от глубины заделки d .

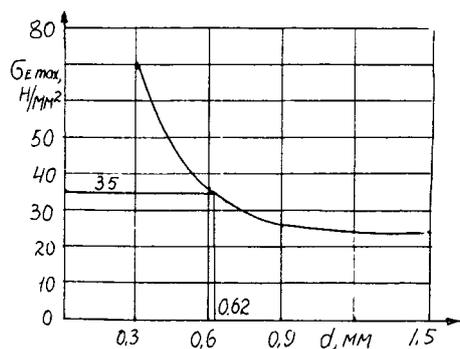


Рис. 4.

Если на рис. 4 провести линию соответствующую пределу прочности связки на растяжение $[\sigma] = 35$ Н/мм², то пересечение ее с $\sigma_{E_{max}}$ позволяет получить значение предельной глубины заделки. В данном случае она равна 0,62 мм. Если найти отношение предельной глубины заделки d_{max} к размеру зерна, то можно принять ее обобщенную характеристику для всех размеров зерен электрокорунда, заделанного в бакелитовую связку. Эту величину назовем относительной предельной глубиной заделки $\xi = \frac{d_{max}}{D}$ и равной $\xi = \frac{0,62}{1,8} = 0,34$.

Таким образом, разработана методика расчета комплексного показателя ξ - оптимальной предельной глубины заделки, объединяющий прочность абразивного зерна и связки, закрепляющей

его в шлифовальном круге. Этот показатель является косвенной оценкой износостойкости круга и способность его к самозатачиванию.

Количественная оценка ξ позволяет определить в дальнейшем оптимальное ее значение, обеспечивающее хорошую самозатачиваемость и достаточно высокую износостойкость абразивного круга.

Литература

1. Корчак С.Н. Производительность процессов шлифования стальных деталей. М., 1974, 278 с.
2. Беляев Н.И. Сопротивление материалов, М., 1956
3. Ковальчук Ю.М. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. М., 1984.
4. Отчет о НИР "Исследование и разработка рекомендаций по улучшению динамических свойств обдирочно-шлифовальных станков, повышению эффективности зачистки, увеличению стойкости абразивно-обдирочного инструмента" № гос. регистр. 02890053524, Инв. № 01880079295, Харьков, 1980.
5. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. М., 1968.

УДК 621.91.001.1

ФИЗИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Коган В.Г., Гришкевич А.В., канд. техн. наук
(г. Сумы, Украина)

Physical and mathematical model of the technological solutions

Физическая модель.

Разработка теоретической модели процесса делится на две части.

Первая - отражает физическое отношение явлений и законы материального мира, вторая - математические свойства отношений. При реализации данной задачи принимались следующие допущения:

1. Окружающая среда и ее внутренние объекты (субъекты) рассматриваются как энергоинформационные поля. Они отличаются друг от друга физическими свойствами.
2. Энергоинформационные поля обладают диаметрально-противоположными полюсами и формообразуются таким образом, чтобы их внутренняя энергия соответствовала минимальному значению. Этому фундаментальному закону соответствует шарообразная форма.
3. Объекты (субъекты), окружающая среда располагаются в собственных системах координат, центр которых совмещен с геометрическим центром шаровой формы. Система координат полная, т.е. состоит из восьми квадрантов.
4. Энергоинформационное пространство шаровой формы - слоистое. Максимальное количество слоев - 24. Они могут объединяться по определенным правилам через коэффициенты 1, 2, 3, 4 в зависимости от анизотропии свойств.
5. Каждый слой пространства в том или ином квадранте имеет собственную систему координат, которая обладает свойствами только линейного переноса. Пространства трехмерные, а их оси в исходном положении параллельны центральным осям. Последние характеризуют изменение плотности

времени. В центре системы она равна нулю. Следовательно, каждый слой пространства определяется собственным диапазоном плотности времени. Под ним необходимо понимать количество событий, происходящих в единицу времени. Для появления событий необходима причинно-следственная связь, которая формируется в различных энергоинформационных средах. Оси плотности времени обладают вращением. Причем, положительные оси, по часовой стрелке, а отрицательные - против. За счет этого в центре системы осуществляется скручивание пространственно-временного континуума и происходит изменение его физических свойств.

Результат: причина переходит в следствие и наоборот.

6. Любое энергоинформационное поле находится под постоянным воздействием трех основных возмущающих потоков, которые перпендикулярны между собой. Если в шаровую форму вписать куб, то через три его плоскости будут проходить рассматриваемые потоки. Поскольку энергоинформационная среда обладает плотностью, то этим потокам оказывается противодействие, равное по величине.
7. Каждый из трех основных возмущающих воздействий характеризует определенный вид информации. Первый - постоянная; второй - закономерно изменяющаяся; третий - управляющая информация. Все они отражаются через волновую функцию со своей амплитудой, частотой и длиной волн. Эти параметры квантуются целочисленными значениями, т.е. через диапазон 1, 2, 3, 4.

Выделим из шарового энергоинформационного поля объем толщиной $2r$, рис.1 и проведем анализ процессов, происходящих в нем. Ось T_n - плотность времени, относящаяся к потоку постоянной информации. Относительно ее образуется полуволна 1, которую можно рассматривать как состоящую из трех векторов. Будем считать, что 1 характеризует причину. При переходе через центр окружности радиуса r осуществляется скручивание

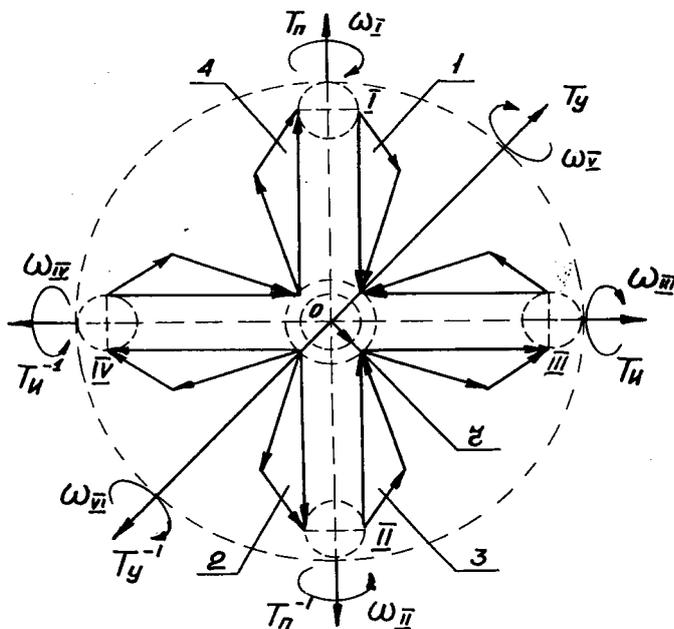


Рис.1. Круг необходимости и циклы причинно-следственных отношений.

пространственного временного континуума и появляется полуволна 2, также состоящая из трех векторов. Последняя определяет следствие. За счет вращения ω_2 эта волна повернется на 180° , при этом направление векторов изменится, т.е. следствие перейдет в причину.

Затем переход через центр O переведет причину в следствие. Поскольку оси плотности времени управляющих воздействий T_y и T_y^{-1} вращаются в разные стороны ω_5 и ω_6 , то количество событий при повороте цикла (полуволны) 1 и его противоположного аналога на расстоянии $2r$, будет иметь тенденцию возрастания (убывания) в зависимости от того, в какой четверти окружности они рассматриваются. Возьмем плоскую систему координат с радиусом вектора R , на вертикальной оси откладываем количество событий, а на горизонтальной плотности времени зададим вращение ω_5 и ω_6 вокруг центра O . В этом случае радиус-вектор R опишет замкнутую кривую относительно центра принятой системы координат. Перевод из положения I в III будет сопровождаться повышением числа событий.

Предельно, максимальное количество со-

бытий в положении III (насыщение).

При переходе от III ко II положению число событий уменьшается и минимум получится в положении IV.

Затем идет возрастание этого показателя. Таким образом, радиус-вектор R опишет кривую гистерезиса, которая характеризует затраты энергии при полном прохождении круга необходимости. При повторном осуществлении кругового цикла, полученная петля гистерезиса будет занимать меньшую площадь, поскольку через 360° и достижения положения I происходит "анигиляция" - квантовый скачок с уменьшением амплитуды и длины волн причинно-следственных отношений. Процедуру можно повторять до тех пор, пока петля гистерезиса не впишется в окружность радиуса r .

Теоретические исследования показали, что общая сумма таких переходов составляет 24. Путем объединения этих пространство количество круговых циклов уменьшается и может достигать числа 6. Продифференцируем восходящую и нисходящую ветви петли гистерезиса. Получим две кривые, расположенные друг под другом с вершинами в диаметрально противоположном направлении.

Анализ показывает, что данные зависимости подчиняются закону Релея, и характеризуются проницаемостью энергоинформационной среды. Использование вероятного подхода позволило разработать методику расчета величины энтропии при каждом круговом цикле. Анализ ее величины показал, что при положении энергоинформационного поля в том состоянии процессов, как это показано на рис.1, вся система неустойчива и имеют

место большие энергетические потери. При этом область скручивания пространственно-временного континуума имеет тенденцию стягивания полуволн циклов таким образом, чтобы они пересеклись друг с другом. В этом случае центостремительные силы превалируют над центробежными (результатирующие вектора, рис. 1).

Такое стягивание осуществляется скачкообразно, т.е. имеют место квантовые переходы. Данный процесс прекращается пока противоположные вращающиеся конуса не проникнут друг в друга.

В результате окружность радиуса r увеличится и новое энергоинформационное поле приобретает минимальное значение внутренней энергии.

Оно может приводиться в действие только тогда, когда управляющие воздействия будут иметь более высокий энергетический уровень.

Такое энергоинформационное поле порождает частные или общие информационные образования. Очевидно, что стадия неустойчивости поля будет при разработке системы, а устойчивое положение, когда она пройдет все отладочные стадии.

Рассмотренные выше физические аспекты позволяют достаточно четко перейти к математическому моделированию такой сложной задачи, как прогнозирование технологических решений.

Математическая модель

Анализ физической модели показывает, что постоянные и закономерно изменяющиеся воздействия структурируют пространственно-временный континуум. Именно они создают “правила игры”, т.е. систему, в которой должен осуществляться процесс.

Управляющие воздействия формируют “байты” решений, располагаясь в определенной последовательности в производственно-временном континууме, производя частные решения. Между ними устанавливаются конъюнктивные и дизъюнктивные отношения более крупных технологических решений.

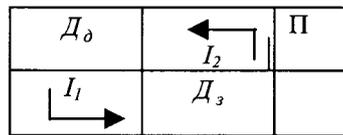
Процесс продолжается до тех пор, пока не будет осуществлен полный цикл, т.е. не реализуется путь круга необходимости.

Другими словами, независимо от поставленной задачи любое технологическое решение всегда является полярным и имеет свой круг необходимости. Закон полярности, в общем виде, выразится следующим образом:

$$D_{\partial} \xrightarrow{I_1} D_3, D_{\partial} \xleftarrow{I_2} D_3, \quad (1)$$

где D_{∂} - деталь; D_3 - заготовка; I_1 и I_2 операторы преобразования D_{∂} в D_3 и наоборот.

Выражение (1) представим в более удобном виде:



где Π - управляющие воздействия;

Стрелками условно показаны направления взаимодействия операторов I_1 с полюсами круга необходимости.

Математическая модель (2) показывает, что D_{∂} и D_3 являются носителями постоянной информации, операторы I_1 и I_2 закономерно изменяющиеся, а Π содержит байты решения, согласно установленной иерархической структуре. В рассматриваемой системе управляющие воздействия создают сигнал, который посылается только на D_{∂} или D_3 .

В первом случае D_{∂} взаимодействует с I_1 , а во втором D_3 с I_2 .

Циклы взаимодействия можно показать следующим образом:

$$\begin{aligned} I_1: D_{\partial} &\text{ — } D_3 \\ I_2: D_3 &\text{ — } D_{\partial}. \end{aligned} \quad (3)$$

Из (2) вытекает следующее следствие: первое - вся постоянная информация должна быть классифицирована таким образом, чтобы ее можно легко хранить в базе данных.

Иерархическая структура такой базы согласуется с иерархией операторов I_1 и I_2 , т.е. закономерно изменяющейся информацией, второе - полный цикл (круг необходимости) всегда порождает события, которые, в конечном итоге, превращаются в следствие, если не достигнуто конечного результата.

Поэтому последний завершается на D_{∂} или D_3 . Другими словами, при проектировании D_{∂} является системой отсчета циклов, а при изготовлении - D_3 .

Очевидно, что при развитой иерархической структуре переход от D_{∂} к D_3 будет включать N полных циклов, которые в свою очередь порождают $2N$ событий. Скорость их появления определяется плотностью времени.

Эта характеристика процесса является важнейшим показателем, поскольку определяет не только экономические параметры, но и универсальность принятой модели, ее удобство, обслуживание и т.д. Другим не менее важным критерием выбора того или иного технологического решения является величина энтропии. Она определяется по значению проницаемости энергоинформационной среды, а в основу алгоритма положен вероятный характер.

Например, выбор рационального алгоритма определения способа формообразования поверхностей показал, что наилучшими показателями обладает схема алгоритма с минимальной плотностью времени, обеспечивающая пять событий в течение одной минуты. Она позволяла определять от 8 до 12 способов обработки поверхностей, один из которых выбирался по величине энтропии.

В разделе рассмотрения физической модели отмечалось, что возникновение событий переводит процесс из одного состояния энергоинформационной среды в другую. Каждая из них характеризуется своей петлей гистерезиса. Ее дифференциальным показателем является проницаемость среды.

Таким образом, начальный круг необходимости имеет максимальный диаметр и, следовательно, обладает наибольшей плотностью времени. По мере совершения числа полных циклов, плотность времени уменьшается и работа будет закончена в том случае, когда его величина достигнет минимального, вероятно, возможного значения.

Математическая модель (2) - верхний уровень иерархии процесса проектирования и изготовления детали. Она является общей независимо от тех задач, которые ставит перед собой исследователь. Напомним, что конечные цели могут быть различными в зависимости от свойств энергоинформационной среды.

Например, в крупносерийном и массовом производстве модель (2) должна быть выполнена на уровне экспертной системы.

Это позволит разработать долгосрочный план уменьшения себестоимости выпускаемой продукции, повышения ее качества за счет прогнозирования рациональных технологических решений. Практика использования таких систем показывает, что практически все решения вырабатываются на уровне изобретений, а постоянная информация должна включать архивы патентов с описанием формул изобретений. В этом случае система достаточно трудоемкая, требует значительных средств для ее разработки и высокой квалификации исполнителей. Из-за большой величины плотности времени она не может использоваться для целей автоматизированного проектирования, а только для выработки экспертных решений, приводящих к повышению качества и снижению трудоемкости операций.

Вторая цель - автоматизация инженерного труда. Такая задача экономически оправдана для всех типов серийного производства, исключая мелкосерийное и крупносерийное.

В этом случае модель (2) должна включать в состав операторов I_1 и I_2 элементы типовых решений.

Третья цель - выработка экспресс решений в единичном и мелкосерийном производствах. Особенно она актуальна в ремонтном производстве, когда требуется за достаточно короткий срок времени провести анализ технологического процесса, определить трудоемкость его выполнения, себестоимость изготовления, включая капитальные затраты. В условиях средних и малых предприятий это задача первостепенной важности при формировании портфеля заказа. Очевидно, что модель (2) в этом случае может включать упрощенные типовые решения.

Несмотря на поставленные цели, математическая модель (2) всегда и при всех обстоятельствах должна содержать постоянную информацию, формализованную до такой степени и вида, чтобы ею можно пользоваться независимо от конечной цели.

Очевидно, что к постоянной информации необходимо, в первую очередь, отнести геометрические параметры деталей и заготовки, физические свойства материала, этапность обработки и т.д. Вся эта информация оформляется в виде справочных данных с последующим внесением ее в базу.

Исключения составляют геометрические параметры детали из-за большого разнообразия не только геометрических форм поверхностей, но и их возможных сочетаний в пространстве.

В связи с этим разработан алгоритм упорядочения такого множества на основе гипотетической детали. Последняя включает не только конструкторские признаки, но и отдельные элементы технологической информации.

Именно этот подход позволяет реализовать все три названные выше цели (задачи), ввести сквозное проектирование процессов, и при использовании предложенного математического подхода, обеспечить разработку теории технологии механообработки.

Модель (2) состоит из разнородных распределенных параметров. В ее блочных структурах могут использоваться различные математические методы.

С другой стороны, цикличность выполнения отдельных проектных и производственных процедур позволяет заменить известные блок-схемы алгоритмов на словесный алгоритм последовательных действий, а это в значительной мере упрощает задачу разработки автоматизированных систем и сокращает количество ошибок на стадии программирования.

УДК 515.2

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ДИСКОВОЙ ФРЕЗЫ

Иванова И.С.

(г. Одесса, Украина)

The article is devoted to geometrical modelization of conjugate surfaces type "helical surface – surface of revolution" by the methods of circumferential projection with concurrently represented surface of revolution meridian shaping algorithm.

При формировании поверхности вращения используется теорема Иванова Ю.Н. [1]. Опираясь на выше приведенную теорему рассмотрим способ профилирования режущей кромки дисковой фрезы для обработки винтовых поверхностей [2, 3].

Дано: винтовая поверхность $(i, l^i_A, m_A, H)[m_A \cup l^i_A]$, параметры сопряжения – расстояние v между осями i и j , угол скрещивания ω и винтовой параметр p .

Построить: поверхность вращения $\Sigma_B(j, f_B)[f_B, j]$, сопряженную с винтовой поверхностью Σ_A .

Решение задачи: поставленная задача решается способом окружностного проецирования.

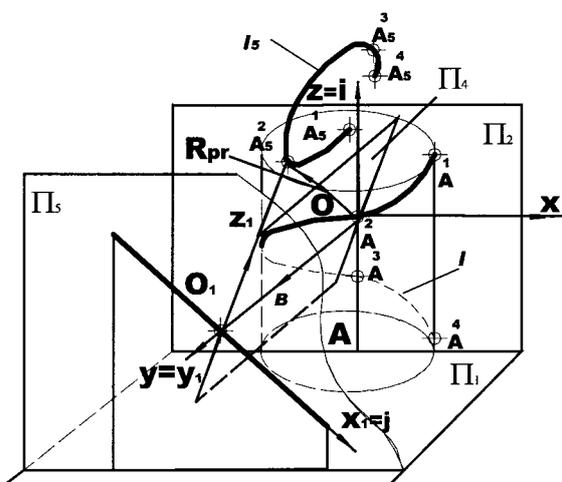


Рис. 1. Окружностное проецирование.

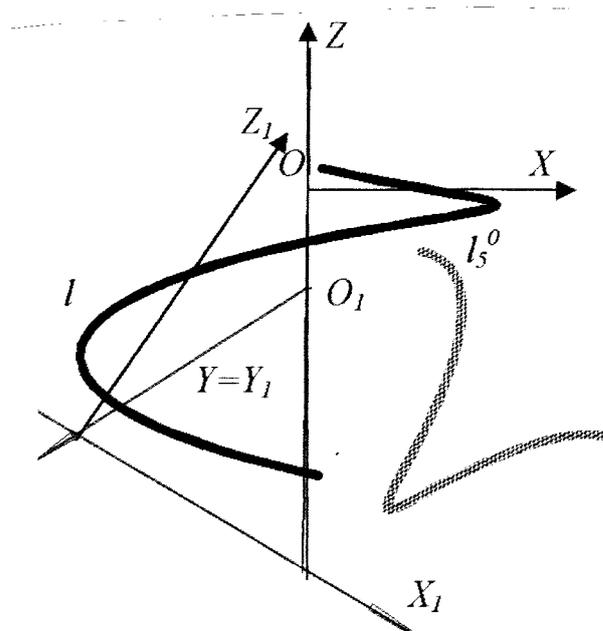


Рис. 2. Окружностная проекция винтовой линии.

Для того, чтобы построить меридиан поверхности вращения, необходимо:

1. Создать систему координат XVZ , связанную с плоскостями проекций Π_2 и Π_1 (рис.2.1).
2. Построить основной цилиндр таким образом, чтобы начало системы координат XVZ располагалось на его оси.
3. В торцевой плоскости прямого цилиндра построить криволинейную направляющую m .
4. Через каждую точку направляющей m построить винтовую линию l .
5. Построить семейство направляющих m_i через каждую точку винтовой линии l^i (рис.2.3).
6. Создать систему координат $X_1Y_1Z_1$, повернутую на угол ω относительно системы координат XVZ и отстоящую от нее на расстоянии v . Оси U и Y_1 коллинейны.
7. Ось X_1 - ось поверхности вращения принять за ось окружностного ортогонального проецирования.
8. Построить плоскость Π_5 , параллельную плоскости проекций Π_2 , являющейся плоскостью окружностных проекций.
9. Из каждой точки A^i винтовой линии l^i перпендикулярно к оси X_1 провести радиус R^i .
10. Вокруг оси X_1 построить дугу до пересечения с плоскостью Π_5 .
11. Точка пересечения проецирующей дуги окружности с плоскостью проекций Π_5 является окружностной проекцией точки A^i винтовой линии l^i .
12. Совокупность точек A^i представляет окружностную проекцию винтовой линии l^i (рис. 2.2).
13. Повторив пункты 8-11 построить окружностные проекции всех винтовых линий l .
14. Построить окружностные проекции образующих m^i (рис 2.4).

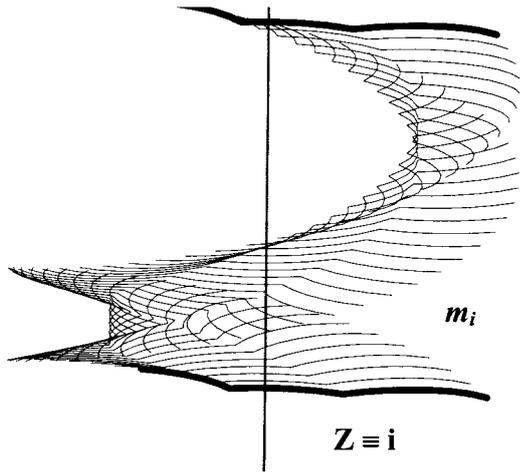


Рис. 3. Направляющие винтовой поверхности.

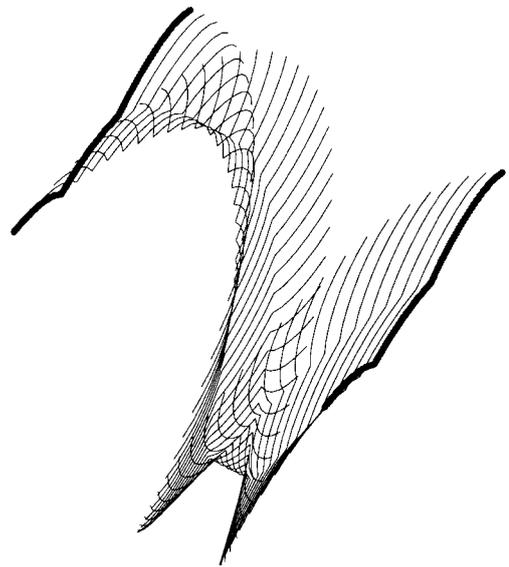


Рис.4. Окружные проекции направляющих m винтовой поверхности

15. Построить огибающую f окружных проекций винтовых линий l , причем точка касания огибающей и окружной проекции винтовой линии будет находится на пересечении одноименных окружных проекций направляющей и винтовой линии (рис. 2.5, 2.6).

Кривая f будет меридианом поверхности вращения, сопряженной с винтовой.

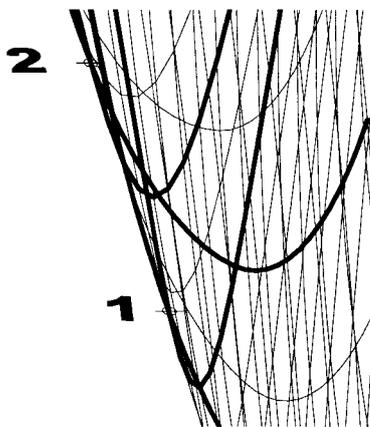


Рис.5. Пересечение окружных проекций винтовых линий f_m и направляющих винтовой поверхности l_i .

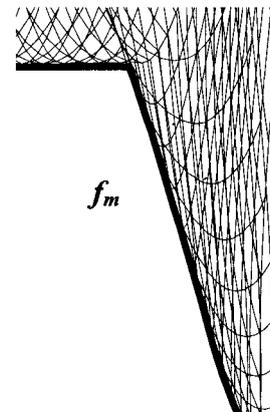


Рис. 6. Построение огибающей окружных

Отличительной особенностью данного способа является то, что в нем, независимо от формы винтовой поверхности, участвуют на всех этапах профилирования только винтовые линии и их проекции. Поэтому, зная параметры винтовой поверхности, можно задачу на построение окружных проекций ходов выполнить на ЭВМ.

Литература

1. Иванов Ю.Н. Метод профилирования поверхности вращения, сопряженной с винтовой поверхностью, применительно к электронному моделированию. Прикладная геометрия и инженерная графика в машиностроении. Омск, 1969г., С.3-9.
2. Иванова І.С. Профілювання ріжучої кромки дискової фрези методом оберненого проєкціювання. – Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці \ Таврійська державна агротехнічна академія. – Вип. 4. Т 11. – Мелітополь: ТГАТА, 2000, - с. 83 – 86.
3. Подкорытов А.Н., Дервянченко А.Г., Иванова И.С. Профилирование дискового инструмента способом окружного проецирования и контроль состояния режущей кромки. Авиационно – космическая техника и технология: Труды/Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского, вип. 14 – Харьков, 2000, - с. 144 – 147.

УДК 621.9.047.7: 621.833

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Ямников А.С. докт. техн. наук, Маликов А.А., канд. техн. наук

(г. Тула, Россия)

The technique of designing of tools for a finishing electrolytic machining well-trying of cog-wheels is offered at a composite kinematics of motion of welding rods. The calculation of geometrical parameters of a surface of the cathode implements sequentially. In the beginning on relations, founded on the theory of engagement, the structure, conjugate with a given structure of dens of a work piece is determined, then the parameters of an equidistant structure, and after that are calculated depending on nature of distribution of allowance - working profile.

Одним из основных вопросов, решение которого необходимо для практической реализации процесса финишной электрохимической обработки закаленных эвольвентных колес, является разработка математического аппарата, позволяющего определять параметры формообразующей поверхности обкаточного катода. Такой инструмент должен обрабатывать весь активный профиль зуба изделия с учетом перекрытия.

Первой задачей проектирования является определение технологических параметров колеса, характеризующих участок профиля его зубьев, подлежащий финишной обработке. В качестве исходных должны быть заданы модуль m ; угол профиля исходного контура α ; параметр ε , характеризующий точность вычисления профильного угла по заданному значению эвольвентной функции; числа зубьев шестерни Z_1 и колеса Z_2 ; коэффициенты смещения исходного контура X_1 и X_2 ; коэффициенты высоты головки h_{a1}^* и h_{a2}^* ; коэффициенты радиального зазора C_1^* и C_2^* ; число зубьев зуборезного долбяка Z_0 ; коэффициент смещения исходного контура X_0 и диаметр окружности вершин d_{a0} нового зуборезного долбяка. Искомыми параметрами изделия будут радиусы окружности вершин r_{a2} ; впадин r_{f2} ; основной r_{b2} ; нижней точки активного профиля r_{p2} ; граничной точки r_{l2} ; средняя с учетом допуска окружная делительная толщина зубьев s_2 ; профильный угол на окружности вершин зубьев α_{a2} . Расчеты следует вести по зависимостям, представленным в ГОСТ 16532-70 для колес с наружными и в ГОСТ 19274-73 для колес с внутренними зубьями.

Второй задачей проектирования является расчет параметров профиля катода сопряженного с заданными на изделии, и параметров профиля эквидистантного к сопряженному. Они определяются из условия финишной обработки всего активного участка зуба изделия с учетом перекрытия Δr_2 (рис. 1). Для расчета должны быть заданы модуль m ; угол профиля исходного контура α ; измеренный по линии зацепления номинальный межэлектродный зазор s ; минимально допустимый зазор s' между дном впадины зубьев обрабатываемого колеса и вершиной зубьев катода; параметр ε ; параметры обрабатываемого изделия - $z_2, X_2, r_{a2}, r_{f2}, r_{b2}, r_{l2}, A_{r2}, s_2, \alpha_{a2}$; параметры катода - число зубьев Z_0 ; коэффициент смещения исходного контура X_0 . Величину номинального межэлектродного зазора следует выбирать исходя из требования обеспечить наибольшую избирательность процесса. Однако при обработке с жесткой кинематической связью между электродами необходимо учитывать исходную кинематическую точность заготовки. В этом случае должно соблюдаться условие $s \geq F_{\text{н}} + 0,1$, где F_C - допуск на погрешность обката заготовки по ГОСТ 1643-81. Величину перекрытия Δ_{r_2} следует принимать возможно большей. Ограничением служит выполнение условия $A_{r_2} < r_{l2} - r_{p2}$. Число зубьев обкаточного катода Z_0 выбирается с учетом следующих требований: Z_0 - должно быть возможно большим, чтобы исключить из участия в процессе участки профиля зуба инструмента с большой кривизной и уменьшить искажающее влияние переходных кривых; Z_0 - не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса; Z_0 - должно обеспечивать возможность шлифования профиля на зубошлифовальных станках типа «Нейшенел-Тул» с имеющимся набором делительных дисков и эвольвентных копиров. При проектировании катодов для финишной обработки колес с внутренними зубьями вопрос о выборе Z_0 становится еще более важным, так как значение этого параметра, удовлетворяющего условиям всех необходимых проверок, лежит в весьма узком диапазоне. В этом случае кроме перечисленных выше требований, следует учитывать данные блокирующих контуров ГОСТ 19274-73. Величину коэффициента смещения исходного контура X_0 можно определять с помощью блокирующих контуров, представленных в ГОСТ 16532-70 для передач наружного зацепления и в ГОСТ 19274-73 - для передач внутреннего зацепления. Расчет параметров сопряженного и эквидистантного профилей ведется по формулам, составленным по схеме на рис. 1. Определяются: угол зацепления обкаточного катода с обрабатываемым колесом α_{w02} ; межосевое расстояние a_{w02} ; начальные радиусы колеса r_{w2} и катода r_{w0} ; основной радиус катода r_{b0} ; радиус окружности впадин r_{f0} и окружности вершин r_{a0} зубьев катода; окружная толщина

зубьев катода s_{a0} . Найденные параметры проверяются на выполнение условий отсутствия касания головки зуба колеса с переходной кривой зуба катода, головки зуба колеса с головкой зуба катода, боковых сторон зубьев в процессе радиальной подачи. Алгоритм расчета составлен так, чтобы в каждом конкретном случае проектирования обеспечить быстрый поиск параметров Z_0 и X_0 , гарантирующих выполнение условий всех проверок.

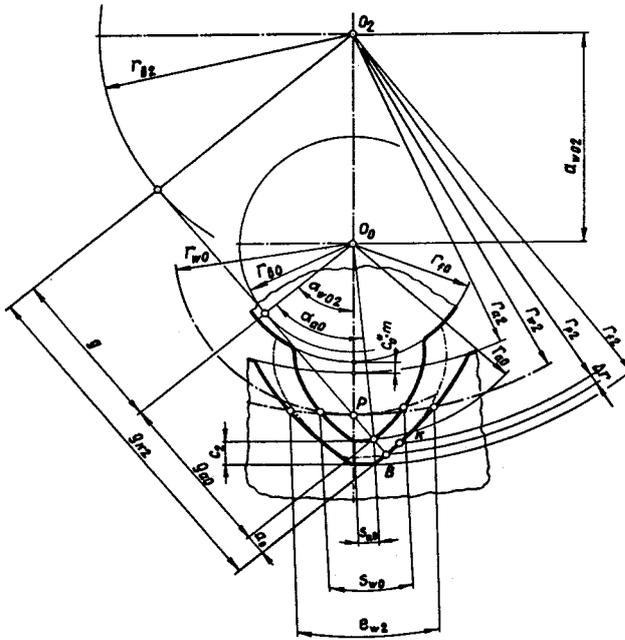


Рис. 1. Схема для расчета параметров сопряженного и эквидистантного профиля.

зазоров и функции \hat{O}_2 может быть сведена к плоской и решаться на основе рассмотренных ранее общих зависимостей. В качестве расчетных следует выбирать крайние точки активного профиля с радиусами $r_{y2} = r_{a2}$ и $r_{y2} = r_{p2}$, а также ряд промежуточных. Для расчетных точек должны быть заданы величины профильной модификации Δ_2 ; припуск под финишную обработку d' , измеренный по нормали к эвольвентному профилю зуба изделия; рассчитаны - угол профиля α_{y2} , радиус r_{y2} , полярный угол δ_{y2} , радиус кривизны профиля ρ_{y2} . Значения фазы зацепления, соответствующие границам зоны для каждой точки, будет определять точка профиля катода на окружности вершин его зубьев. Поэтому величины φ_{2min} и φ_{2max} определяться из условия $r_{y0} = r_{a0}$, где r_{y0} - радиус точки эквидистантного профиля катода, находящейся в рассматриваемый момент времени на силовой линии электрического поля, проходящей через расчетную точку профиля зуба изделия. Ранее было показано, что с достаточной для инженерных расчетов точностью действительные силовые линии аппроксимируются дугами окружностей. При этом допущении условие $r_{y0} = r_{a0}$ можно описать уравнением $\hat{O}(\varphi_2) = 0$, которое является трансцендентным. Приближенные значения корней уравнения определяются по зависимостям:

$$\varphi_{2max} = \arccos \frac{a_{w02}^2 + r_{y2}^2 - r_{a0}^2}{2 \cdot a_{w02} \cdot r_{y2}} - \delta_{y2}, \quad (2)$$

$$\varphi_{2min} = -\frac{Z_0}{Z_2} \cdot \left(\arccos \frac{a_{w02}^2 - r_{y2}^2 + r_{a0}^2}{2 \cdot a_{w02} \cdot r_{a0}} + \text{inv} \alpha_{a0} \right), \quad (3)$$

а их уточнение до заданной степени точности осуществляется известным методом решения нелинейных уравнений, не требующим определения производных. При этом функция $\hat{O}(\varphi_2)$ представляется как сложная, зависящая от ряда взаимосвязанных вспомогательных функций, определяемых по схеме на рис. 2.

$$X = \alpha_{y2} + \delta_{y2} + \varphi_2, \quad (4)$$

$$e = \frac{a_{w02}^2 + r_{y2}^2 - r_{a0}^2 - 2 \cdot a_{w02} \cdot (\rho_{y2} \cdot \sin X + r_{b2} \cdot \cos X)}{2 \cdot (\rho_{a0} + \rho_{y2} - a_{w02} \cdot \sin X)}, \quad (5)$$

Третья задача проектирования состоит в определении формообразующей – рабочей поверхности обкаточного катода. В основе решения этой задачи лежит предложенная ранее математическая модель финишной электрохимической обработки. В качестве независимого переменного параметра при определении количественной характеристики процесса M , вместо времени t целесообразно рассматривать фазу зацепления φ_2 , прямо пропорциональную t и характеризующую угол поворота обрабатываемого колеса при его обкате с катодом. Тогда для каждой расчетной

точки $M = K_1 \cdot K_2 \cdot \int_{\varphi_{2min}}^{\varphi_{2max}} \hat{O}_1 \cdot \hat{O}_2 \cdot \frac{1}{s} d\varphi_2$ (1), где

φ_{2min} - значение фазы зацепления, соответствующее началу анодного процесса в рассматриваемой точке профиля анода, а φ_{2max} - значение фазы, соответствующее концу процесса в той же точке. Для схемы обработки цилиндрических эвольвентных колес на параллельных осях обкаточных электродов задача определения границ зоны φ_{2min} и φ_{2max} ; величин межэлектродных

$$X_E = -r_{b2} \cdot \cos X - (\rho_{y2} - e) \cdot \sin X, \quad (6)$$

$$Y_E = -r_{b2} \cdot \sin X + (\rho_{y2} - e) \cdot \cos X, \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \Theta_E = \frac{Y_E}{X_E + a_{w02}}, \quad (8)$$

$$r_{0E} = -\frac{a_{w02} + X_E}{\cos \Theta_E}, \quad (9)$$

$$\cos \alpha_{0E} = r_{b0} / r_{0E}, \quad (10)$$

$$\varphi_0 = \varphi_2 \cdot Z_2 / Z_0, \quad (11)$$

$$\Theta_E' = \operatorname{inv} \alpha_{0E} + \varphi_0 - e / r_{b0}, \quad (12)$$

$$\hat{O}(\varphi_2) = \Theta_E - \Theta_E'$$

Значение интеграла в уравнении (1) могут быть найдены только численными методами. Поэтому необходимо определение подынтегральной функции для ряда промежуточных значений фазы зацепления в интервале от φ_{2min} до φ_{2max} применительно к каждой расчетной точке на профиле анода. При замене взаимодействующих профилей дугами окружностей значения межэлектродных зазоров s и функции Φ_2 в формуле (1) могут быть найдены по представленным ранее общим зависимостям. Вычисление радиусов кривизны в точках, лежащих на одной силовой линии, координирующих параметров μ и ν , вспомогательного параметра e осуществляется по зависимостям, составленным по схеме на рис. 3. При этом в первом приближении рассчитываются параметры эквидистантного профиля в точке, лежащей на нормали к профилю, а во втором приближении в точке, лежащей с расчетной на одной силовой линии (рис. 3).

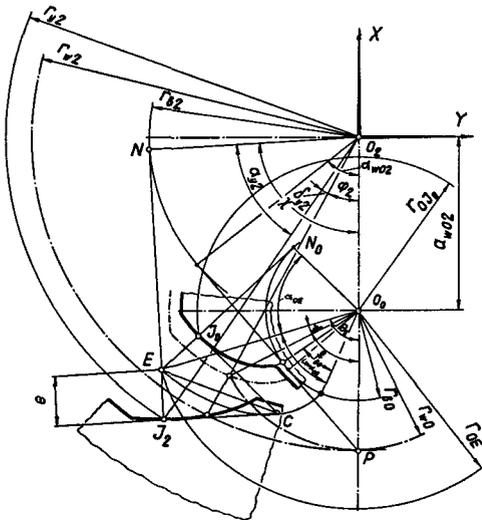


Рис. 2. Схема для расчета уточненных значений φ_2

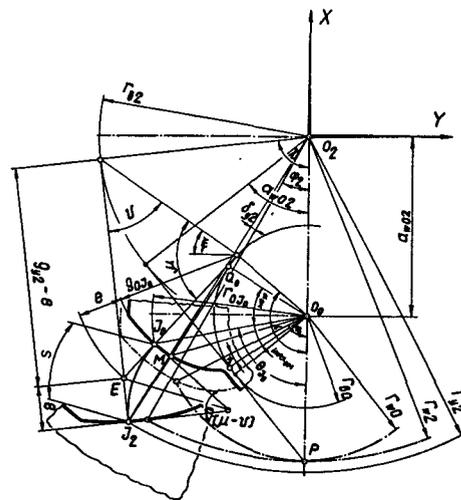


Рис. 3. Схема для расчета межэлектродных зазоров.

Определение величины интегральной характеристики M дает возможность количественно оценить интенсивность растворения металла в различных точках профиля зуба изделия. При эвольвентном катоде наибольший съем происходит на головке зуба, плавно уменьшаясь к его ножке. Для обеспечения заданного характера удаления припуска необходимо управлять процессом, например, за счет профильной модификации инструмента. При этом параметры формообразующей поверхности катода определяются в зависимости от характера распределения припуска на финишную обработку по высоте зуба изделия. Статистика показывает, что подавляющее большинство зубчатых колес после их термообработки имеет случайный характер погрешностей, а следовательно и случайный характер распределения припуска. Поэтому, наиболее целесообразно определять параметры формообразующей поверхности катода из расчета обеспечить одинаковую величину параметра M в различных точках номинального профиля зуба изделия. Тогда величина профильной модификации $\Delta_0 = s_{min} \cdot (M/M_0 - 1)$, где s_{min} - величина межэлектродного зазора для рассматриваемой расчетной точки, измеренная по линии зацепления, M - значение интегральной характеристики в расчетной точке, M_0 - в точке, принятой за исходную. Расчеты показывают, что выравнивание интенсивности анодного растворения металла происходит при поднутрении ножки и утолщении головки зуба катода. С технологической точки зрения расчетный профиль должен аппроксимироваться более удобными кривыми. Целесообразно использовать эвольвенты больших, чем у эквидистантного профиля основных окружностей. Подбор их радиусов, а также исход-

ных точек носит итерационный характер и ведется по рассмотренной выше методике путем последовательной оценки результатов численных экспериментов.

УДК 621.99

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НЕСВОБОДНОГО РЕЗАНИЯ ПРИ РЕЗЬБОТОЧЕНИИ

Федин Е.И., канд. техн. наук
(г. Тула, Россия)

Stated some results of the experimental evaluation when whetting a thread new parameter mathematical models of power not free cutting - "factor of deforming a shaving". Functioning is executed within the framework of grant 00-15-99064 program of Russia fund fundamental studies leading scientific school supports.

При теоретических исследованиях динамических процессов в технологических системах при несвободном резании (например, при многопроходном резьботочении) определенную проблему вызывает математическая модель силы резания как функции параметров срезаемого слоя. Эти модели зачастую сложны для практического использования [1], а также приводят, во многих случаях, к недостоверным результатам из-за сложности определения целой группы входящих в них априорных параметров. Вместе с тем, не все возможности исчерпали классические математические модели силы резания. Например, для силовых экспериментов в процессе резьботочения, была использована классическая зависимость В.А. Кривоухова [2], модифицированная по результатам работ В.Ф.Боброва [3] за счет введения «коэффициента сложности стружкообразования» $K_{сн}$, который эмпирически учитывает эффект «несвободного резания», то есть увеличение силы резания из-за стесненных условий стружкообразования:

$$P_N = P_Y = 1,36 \sigma_B K_{сн} \xi^m f (\mu \cos \gamma - \sin \gamma), \quad (1)$$

где $f = a \cdot b$ - площадь сечения срезаемого слоя; ξ - коэффициент усадки стружки; m - показатель политропы сжатия; γ - передний угол инструмента; μ - коэффициент трения стружки по передней поверхности резьбового реза.

Целью проведенной серии экспериментов было установление составляющей модели (1) $K_0 = K_{сн} \xi^m$, которая условно названа «коэффициентом деформации стружки», так как помимо стесненности стружкообразования учитывает и явление усадки стружки:

$$K_{сн} \xi^m = \frac{P_Y^3}{1,36 \sigma_B f (\mu \cos \gamma - \sin \gamma)}, \quad (2)$$

где m_Y^3 - экспериментально определенная радиальная (нормальная) составляющая силы резания при несвободном резании в установившемся режиме.

Новый параметр модели силы несвободного резания является определяющим для другой важной величины - удельной силы резания по площади среза:

$$q_f = 1,36 \sigma_B K_0 (\mu \cos \gamma - \sin \gamma). \quad (3)$$

Предварительно проведенный анализ литературных данных показал, что на удельную (по площади) силу свободного резания оказывает существенное влияние сама величина площади срезаемого слоя при неизменности других параметров. Эта зависимость, определенная при строгании, носит экспоненциальный характер: удельная сила резания резко увеличивается с уменьшением площади сечения среза, а при значениях более $2 \dots 2,5 \text{ мм}^2$ стремится к константе.

Процесс многопроходного резьботочения в области шагов резьб $1 \dots 3 \text{ мм}$, обрабатываемых при проведении экспериментов, характерен малыми площадями сечений срезаемых по проходам слоев - $0,07 \dots 0,25 \text{ мм}^2$. Поэтому, с одной стороны, удельная сила резания и, соответственно, коэффициент деформации стружки должны находиться в зоне максимальных величин и максимальной нелинейности функциональной зависимости от площади среза f , а с другой стороны, относительная нелинейность может быть не столь значительной из-за малого диапазона изменения величины площади среза.

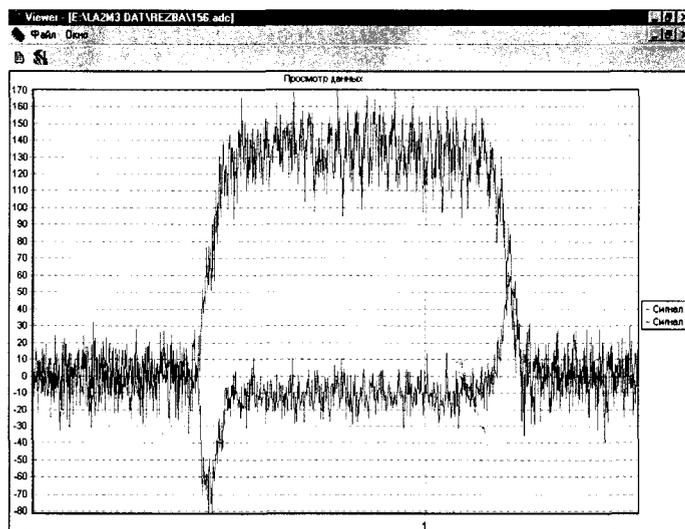


Рис. 1. Изменение радиальной и осевой составляющей силы резания при обработке метрической резьбы М40х1,5 (проход 6). (Графики выведены сервисной программой VIEWER графического представления конвертированных данных с АЦП).

Для установления уровня коэффициента деформации стружки при многопроходном резбotoчении и его функциональной зависимости от основных параметров процесса была проведена серия силовых экспериментов для резб M40x1,5; M40x2, M40x3. Условия эксперимента: материал заготовки - сталь 45 ($\sigma_s=600$ МПа); резец с механическим креплением сменной неперегретываемой пластины трехгранной формы TPUN 120302 ТУ48-19-307-80 из сплава MC2210 ($\gamma=7^\circ$, $\alpha=3^\circ$, $\mu=0,35$); режим резания $n=800$ мин⁻¹, $V=100$ м/мин. Схема подачи врезания – равнопрочностная. В экспериментах использовались компьютерный исследовательский комплекс с аналого-цифровым преобразователем ЛА2-М3, тензодинамометр УДМ-600 и специально разработанное программное обеспечение.

На рис. 1 приведен вид экрана монитора компьютера с результатом работы специальной сервисной программы графического представления конвертированных цифровых данных, на котором зафиксированы экспериментальные составляющие силы резания на шестом проходе при обработке резбы M40x1,5.

Анализ полученных экспериментально результатов подтвердил тот факт, что величины удельной силы резания q_f и коэффициента деформации стружки $K_{cl} \cdot \xi^m$ не являются константами, а существенно меняются по ходам. Но при этом их зависимость наблюдается не только от площади f сечения срезаемого слоя, но и от глубины врезания t резбового резца. К тому же зависимости несколько отличаются для резб с шагами 1,5; 2 и 3 мм, обработанных одним резцом с одной и той же пластиной (одинаковой геометрии), что свидетельствует о влиянии на этот параметр и шага резбы p .

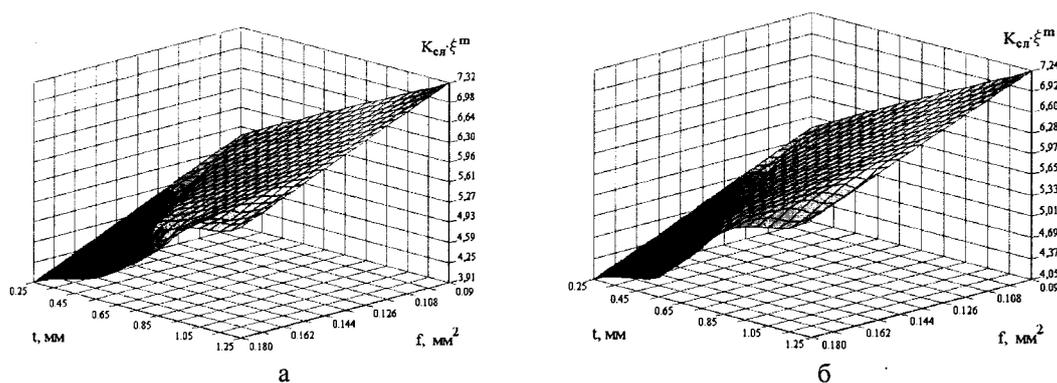


Рис. 2. Зависимость экспериментальных (а) значений $K_{cl} \cdot \xi^m$ от площади сечения среза и глубины врезания при точении резбы M40x2 и аппроксимированных (б) полиномом.

Для выявления функциональной зависимости $K_d = F(f, t, p)$ была произведена математическая обработка экспериментальных данных с помощью программы MathCAD 7. Для визуальной оценки характера функциональной зависимости $F(f, t)$ построены трехмерные графики экспериментальных величин (рис. 2а). Учитывая нелинейный характер функциональной зависимости, была произведена аппроксимация экспериментальных данных полиномом второго порядка. Графические результаты аппроксимации представлены на рис. 2б. Анализ этих результатов показал, что нелинейность зависимостей от площади сечения среза f и глубины врезания инструмента t не столь значительно выражена, как и предполагалось первоначально.

$$K_{cl} \cdot \xi^m(f, t) = 47,83 \cdot f^2 - 3,63 \cdot t^2 - 48,23 \cdot f + 6,96 \cdot t + 8,56 \cdot f \cdot t + 7,71. \quad (4)$$

В зоне малых значений f и t эта зависимость практически линейна, но в зоне сочетания их больших величин нелинейность возрастает, особенно для резб с шагами 2 и 3 мм.

Полученные на основании экспериментальных данных математические модели коэффициента деформации стружки для метрических резб с шагами 1...3 мм имеют явно выраженную зависимость от величины шага p . Очевидно, что на процесс стружкообразования и, как следствие, на величину коэффициента деформации стружки $K_{cl} \cdot \xi^m$ оказывает влияние изменение угла подъема резбы, сказывающееся на кинематических углах резбового резца (изменение угла подъема составляет около 1°). Для выяснения механизма этого влияния необходимы более глубокие исследования процесса несвободного резания при резбotoчении.

Вместе с тем, для задач динамического моделирования процессов многопроходного резбotoчения (резб с шагом 1...3 мм) и прогнозирования погрешности обработки допустимо использование обобщенной полиномиальной зависимости «коэффициента деформации стружки» как важного параметра динамической модели процесса несвободного резания:

$$K_{cl} \cdot \xi^m(f, t, p) = (9,20p^{4,55} + 1,22) t - (132,6p^{3,61} + 2,58) f + 12,5p^{0,78} - 0,96 \quad (5)$$

Литература

1. Кушнир Э.Ф. Динамическая характеристика процесса несвободного резания // Станки и инструмент, 1994, №5. - С.16-19.
2. Вульф А.М. Резание металлов. Изд-е 2-е. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1973. - 496с.
3. Бобров В.Ф. Многопроходное нарезание крепежных резб резцом. - М.: Машиностроение, 1982. - 104с.

УДК 621.833.002

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗУБООБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС РЕЗЦОВЫМИ ГОЛОВКАМИ

Артамонов В.Д., канд. техн. наук

(г. Тула, Россия)

The analysis of efficiency of machining spur gears by using of various type large diameter heads with cutting tools is given

В машиностроении применяется множество различных способов зубообработки цилиндрических колес. Выбор технологии зубообработки определяется обычно величиной модуля колеса и требованиями к точности. Особое место занимают цилиндрические зубчатые колеса средних модулей (2-5 мм) с относительно небольшой шириной зубчатого венца. Они широко применяются в авто- и мотостроении. Точность таких колес как правило задается в пределах 7-8 степени по ГОСТ 1643-81. Большие объемы выпуска изделий обуславливают необходимость высокой производительности процессов зубообработки.

На протяжении ряда лет на кафедре технологии машиностроения Тульского государственного университета проводятся работы по созданию высокопроизводительных способов зубонарезания цилиндрических узкозубчатых колес средних модулей. Был предложен ряд процессов предварительного зубонарезания и чистовой зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками большого диаметра. Отличительной особенностью всех этих процессов является отсутствие продольной подачи вдоль оси обрабатываемого колеса. Ось резцовой головки при этом располагается в плоскости симметрии зубчатого венца обрабатываемой заготовки. Работы в данном направлении продолжаются и в последнее время были предложены еще несколько новых схем таких процессов.

Все процессы зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками большого диаметра можно сгруппировать по типу используемых инструментов на 3 основных группы: дисковые резцовые головки, червячные резцовые головки, дельтавидные и торцовые спаренные резцовые головки.

Дисковые резцовые головки подразделяются на однорядные (с двадцатиградусным стандартным профилем) для предварительного зубонарезания и двухрядные (с нулевым углом профиля) для чистовой зубообработки. Режущие элементы дисковых головок располагаются в одной плоскости. Резцовые головки данного типа, как однорядные, так и двухрядные, могут работать по одному из двух методов: Z-кратного прерывистого обката и Z-кратного прерывистого обкатывающего зубопротягивания.

В первом случае инструмент оснащается твердосплавными режущими элементами и обработка осуществляется на высоких скоростях резания. При это могут быть реализованы различные циклы: с одно- или двухсторонним обкатом - для однорядных дисковых головок, с одно- или двухсторонним обкатом и радиальным врезанием - для двухрядных дисковых головок с нулевым углом профиля.

При зубообработке по схеме обкатывающего зубопротягивания дисковые резцовые головки имеют свободный от резцов сектор, необходимый для осуществления движений возврата обрабатываемого колеса в исходное положение и деления на один зуб. Обработка такими головками осуществляется по циклу одностороннего обката без врезания.

Червячные резцовые головки подразделяются на одновитковые для предварительного зубонарезания и двухвитковые (или спаренные одновитковые) для чистовой зубообработки. Двухвитковые резцовые головки могут быть как цилиндрические, так и конические, при чем в первом случае для них необходимо использовать резцы с нулевым углом профиля. Все червячные головки могут работать по схеме непрерывного обкатывающего зубопротягивания с радиальным врезанием или без него. Для этого в инструменте имеется свободный от резцов сектор.

Спаренные дельтавидные резцовые головки имеют наклонные оси вращения таким образом, что режущие элементы образуют стандартный исходный режущий контур в среднем сечении зубчатого венца. Обработка такими головками также может осуществляться либо по схеме Z-кратного прерывистого обката (одностороннего или двухстороннего), либо по схеме Z-кратного прерывистого обкатывающего зубопротягивания без врезания. Торцовые резцовые головки представляют собой частный случай дельтавидных с параллельным расположением осей и применяются для нарезания колес с круговыми зубьями.

Различные резцовые головки имеют свои преимущества и недостатки в конкретных условиях. Оценить эффективность зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками можно по трем основным направлениям: возможность повышения производительности обработки, возможность повышения точности обработки, возможность управления качественными показателями нарезаемых колес.

Первое направление более важно для процессов предварительного зубонарезания, а повышение точности и качества рабочих поверхностей зубьев важнее для процессов чистовой зубообработки.

Все процессы зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками большого диаметра обеспечивают высокую производительность благодаря отсутствию движения подачи вдоль оси заготовки.

Анализ эффективности зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками в первом направлении осуществляется на основе хорошо известных традиционных путей повышения производительности обработки резанием.

Так, повышение скорости резания связано в основном с возможностью применения прогрессивных режущих материалов, в частности - твердых сплавов. Такая возможность открывается только в случае отсутствия кинематической связи между движениями резания и обката. Это направление может быть реализовано при обработке дисковыми одно- и двухрядными а также дельтавидными резцовыми головками по схемам Z-кратного обката. Для схем Z-кратного зубопротягивания имеется частичная связь движений резания и обката (за один оборот инструмента обрабатывается одна впадина колеса. Для непрерывного зубопротягивания имеется жесткая кинематическая связь между этими движениями.

Увеличение подачи (толщины срезаемого слоя) обуславливает повышение нагрузки на режущие кромки инструмента и обеспечивается применением более прочных быстрорежущих сталей, высокой жесткостью технологической системы и особенностями схемы формообразования эвольвентных поверхностей зубьев по методу обката.

Возможность уменьшения длины пути резания и сокращения общего количества кинематических подач определяется в основном циклом обработки, который может быть реализован для каждого процесса. В этом отношении некоторые преимущества имеют процессы непрерывного обкатывающего зубопротягивания червячными резцовыми головками и Z-кратного обкатывающего зубопротягивания дисковыми и дельтавидными головками, которые осуществляются по циклу одностороннего обката без врезания.

Кроме того, процессы Z-кратного обкатывающего зубопротягивания дисковыми и дельтавидными резцовыми головками позволяют легко оптимизировать схему срезания припуска в пределах каждой впадины, не усложняя кинематику станка и конструкцию инструмента.

Для выявления возможности повышения точности параметров зубчатых колес, нарезаемых резцовыми головками различного типа, следует проанализировать влияние нескольких факторов.

Очевидно, что с точки зрения влияния параметров режущего инструмента более высокую точность могут обеспечить дисковые двухрядные резцовые головки с нулевым углом профиля, у которых имеется лишь один основной влияющий параметр - торцовое биение режущих кромок. У дисковых однорядных и дельтавидных головок на точность оказывает влияние еще радиальное биение резцов, а у червячных - добавляются погрешности винтовой линии инструмента.

С точки зрения погрешностей, обусловленных кинематикой станка, предпочтение следует отдать процессам, реализующим цикл с односторонним Z-кратным обкатом без радиального врезания. В этом случае погрешности не накапливаются, обеспечивается наибольшая жесткость технологической системы, а цепь механизма обката всегда нагружается в одну сторону. К таким процессам относятся зубонарезание дисковыми и дельтавидными головками по схеме Z-кратного обкатывающего зубопротягивания.

Эффективность зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками следует также оценить с точки зрения обеспечения качественных показателей нарезаемых колес с учетом их последующей работы в конкретном зубчатом зацеплении. Для этого необходимо иметь возможность управления схемой формообразования с целью, например, выравнивания профильной огранки, обеспечения определенной профильной модификации зубьев колес, получения колес с продольной модификации зубьев.

Наибольшими возможностями с точки зрения управления схемой формообразования обладают процессы Z-кратного обкатывающего зубопротягивания дисковыми и дельтавидными резцовыми головками. Для этих же процессов легче всего обеспечить нужную модификацию профиля зубьев.

Следует отметить, что часть из рассматриваемых характеристик являются взаимосвязанными. Так, например, процессы Z-кратного обкатывающего зубопротягивания дисковыми и дельтавидными резцовыми головками позволяют одновременно осуществлять выравнивание толщины срезаемых слоев и профильной огранки, то есть обеспечивают как повышение производительности обработки, так и качественные показатели колес. Цикл одностороннего Z-кратного обкатывающего зубопротягивания позволяет обеспечить, наряду с максимальной производительностью за счет уменьшения длины обката и минимального состава движений подачи, повышение точности обработки.

В то же время некоторые характеристики процессов исключают друг друга. Например, при зубообработке дисковыми резцовыми головками осуществляется либо двухсторонний обкат, в результате чего увеличивается длина обката и снижается точность обработки, либо радиальное врезание, что приводит к появлению дополнительного движения подачи и снижает жесткость технологической системы. Применение в качестве материала режущей части твердого сплава открывает возможность увеличить скорость резания, но в тоже время не обеспечивает высокой прочности режущих лезвий и делает неопределенным порядок вступления резцов в работу, что исключает возможность оптимизации схемы резания.

Наибольшими возможностями с точки зрения обеспечения благоприятной продольной модификации зубьев обладает процесс зубообработки дельтавидными резцовыми головками, позволяющими в силу особенностей параметров установки инструмента получать колеса с определенной заранее заданной величиной бочкообразности зубьев. Возможности других процессов в этом плане ограничены. Однако их нельзя исключать совсем, поскольку продольная модификация зубьев влияет на характеристики конкретной зубчатой пары. В этой связи, например, колеса с вогнутостью, нарезанные дисковыми однорядными головками могут быть использованы при формировании качественного выпукло-вогнутого зацепления в паре с колесами, нарезанными дельтавидными головками.

Проведенная предварительная оценка эффективности процессов зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками позволяет отметить как наиболее перспективные: предварительное зубонарезание дисковыми однорядными головками по схеме протягивания и чистовое зубонарезание дисковыми двухрядными головками-протяжками и спаренными дельтавидными головками.

Подобный анализ может быть формализован, что позволит дать объективную количественную оценку эффективности процессов зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками в зависимости от числа положительных оценок возможностей каждого процесса по отдельным параметрам и значимости определенного параметра для данного процесса и конкретных условий обработки.

В заключение можно наметить основные направления работы, которые позволят объективно оценить возможности различных способов зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками.

Компьютерный анализ производительности различных способов зубонарезания, который позволит выявить возможности различных процессов зубонарезания, обусловленные характерными особенностями каждого процесса. Для этого можно ввести частные ограничения, связанные с реализацией каждого процесса, например, диапазон возможностей серийных зуборезных станков, параметры стандартного ряда инструментов и т. д. Анализ может быть выполнен с использованием известной методики сравнения процессов обработки резанием, в основе которой лежит обеспечение равных условий для всех сравниваемых процессов, например, одинаковой нагрузки на режущие кромки инструмента. Данный анализ целесообразно провести для всех известных процессов предварительного зубонарезания.

Разработка общей модели управления процессами зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками. Для этого необходимо выявить возможности каждого процесса по управлению различными параметрами: схемой срезания припуска, огранкой, профильной модификацией и т. д. и задать оптимальные законы и пределы изменения этих параметров. Затем нужно определить основные управляющие параметры. Это могут быть параметры инструмента, например, расположение резцов в головке, кинематические параметры, например, скорость подачи обката и др. В итоге необходимо определить функциональные зависимости выходных характеристик от этих параметров и рассчитать закономерности изменения управляющих параметров, обеспечивающие заданное изменение выходных характеристик.

Моделирование различных зацеплений колес, обработанных резцовыми головками, на основе чего может быть определена оптимальная форма зубьев, в частности форма и величина продольной модификации, и разработана система управления продольной модификацией при помощи параметров инструмента и обработки.

УДК 621.923

РАСЧЕТ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ КРУГАМИ

Веткасов Н. И., канд. техн. наук

(г. Ульяновск, Россия)

The dependence for account of average contact temperature at round outside grinding by composed abrasive wheels with radial sawcuts completed by a hard lubricant material is offered. The influence of an amount of radial sawcuts on average contact temperature is shown.

Эффективным средством снижения теплонапряженности операций шлифования заготовок из различных материалов является применение композиционных шлифовальных кругов (КШК), представляющих собой прерывистые шлифовальные круги, конструктивные элементы (пазы, прорезы, каналы) которых заполнены твердым смазочным материалом (ТСМ). Уровень теплонапряженности при шлифовании КШК зависит от количества и размеров конструктивных элементов, а также от теплофизических свойств ТСМ. В связи с этим важно проанализировать температурный режим процесса шлифования КШК и определить влияние количества и размеров его конструктивных элементов и состава ТСМ на среднюю контактную температуру в зоне обработки.

Для этого, на основе численного анализа, с помощью метода конечных разностей получена зависимость для расчета средней контактной температуры при круглом наружном шлифовании КШК с радиальными прорезами:

$$T_k = \frac{4\Delta\tau}{a_k + a_3} \left[\left(\frac{a_k}{4\Delta\tau} - b_k - c_k - d_k \right) \cdot T_{k n_k, Q} + \left(\frac{a_3}{4\Delta\tau} - b_3 - c_3 - e_3 \right) \times \right. \\ \times T_{31, z} \left. \right] + \frac{4\Delta\tau \cdot b_k}{a_k + a_3} \cdot T_{k n_k - 1, Q} + \frac{4\Delta\tau \cdot c_k}{a_k + a_3} \cdot T_{k n_k, Q - 1} + \frac{4\Delta\tau \cdot d_k}{a_k + a_3} \cdot T_{k n_k, Q + 1} + \\ + \frac{4\Delta\tau b_3}{a_k + a_3} \cdot T_{32, z} + \frac{4\Delta\tau (c_3 + e_3)}{a_k + a_3} \cdot T_{31, z - 1} + \frac{4\Delta\tau d_3}{a_k + a_3} \cdot T_{31, z + 1} + \\ + \frac{4\Delta\tau}{a_k + a_3} \left(\frac{\omega_3 r_{3l} + \omega_k r_{kn_k}}{H_k (L_{ul})} \right) \cdot P_z,$$

где a_k, b_k, c_k, d_k – коэффициенты, зависящие соответственно от теплофизических свойств материала КШК, его размеров и шага интегрирования в радиальном и угловом направлениях; a_3, b_3, c_3, d_3, e_3 – коэффициенты, зависящие соответственно от теплофизических свойств материала заготовки, ее размеров и шага интегрирования в

радиальном и угловом направлениях; Δt – шаг интегрирования по времени, с; $T_{\kappa, n_{\kappa}, Q}$, $T_{\kappa, n_{\kappa-1}, Q}$, $T_{\kappa, n_{\kappa}, Q-1}$, $T_{\kappa, n_{\kappa}, Q+1}$ – температура в узловой точке разностной сетки круга с координатами соответственно (n_{κ}, Q) , $(n_{\kappa-1}, Q)$, $(n_{\kappa}, Q-1)$ и $(n_{\kappa}, Q+1)$; n_{κ}, Q – количество узловых точек разностной сетки круга соответственно в радиальном и окружном направлениях; $T_{32,z}$, $T_{3l,z-1}$, $T_{3l,z+1}$ и $T_{3l,z}$ – температуры в узловых точках разностной сетки заготовки с координатами соответственно $(2, z)$, $(l, z-1)$, $(l, z+1)$, (l, z) ; K ; z – количество узловых точек разностной сетки заготовки в окружном направлении; ω_3 , ω_{κ} – угловая скорость соответственно заготовки и круга, рад/с; r_{3l} , $r_{\kappa n_{\kappa}}$ – радиус наружной поверхности соответственно заготовки и круга; P_z – касательная составляющая силы шлифования, Н.

Значения коэффициентов a_{κ} , b_{κ} , c_{κ} , d_{κ} , a_3 , b_3 , c_3 , d_3 можно рассчитать по следующим зависимостям:

$$a_{\kappa} = 2\rho_{\kappa} \cdot c_{n_{\kappa}, Q} \cdot (r_{\kappa n_{\kappa}} - r_{\kappa n_{\kappa-1}}) \cdot (3r_{\kappa n_{\kappa}} + r_{\kappa n_{\kappa-1}}) \cdot \Delta_{\kappa};$$

$$b_{\kappa} = \frac{2\lambda_{n_{\kappa}, Q-\frac{1}{2}} \cdot r_{\kappa n_{\kappa}, Q-\frac{1}{2}}}{r_{\kappa n_{\kappa}} - r_{\kappa n_{\kappa-1}}}; \quad c_{\kappa} = \frac{\lambda_{n_{\kappa}, Q-\frac{1}{2}} \cdot (r_{\kappa n_{\kappa}} - r_{\kappa n_{\kappa-1}})}{2r_{\kappa n_{\kappa}} \cdot \Delta_{\kappa}};$$

$$d_{\kappa} = \frac{\lambda_{n_{\kappa}, Q+\frac{1}{2}} \cdot (r_{\kappa n_{\kappa}} - r_{\kappa n_{\kappa-1}})}{2r_{\kappa n_{\kappa}} \cdot \Delta_{\kappa}};$$

$$a_3 = 2\rho_3 \cdot c_{1,z} \cdot (r_{31} - r_{32}) \cdot (3r_{31} + r_{32}) \cdot \varphi_3;$$

$$b_3 = \frac{2\lambda_{1+\frac{1}{2},z} \cdot r_{1+\frac{1}{2},z}}{r_{31} - r_{32}}; \quad c_3 = \frac{\lambda_{1,z-\frac{1}{2}} \cdot (r_{31} - r_{32})}{2r_{31} \cdot \Delta_3};$$

$$d_3 = \frac{\lambda_{1,z+\frac{1}{2}} \cdot (r_{31} - r_{32})}{2r_{31} \cdot \Delta_3}; \quad e_3 = \rho_3 \cdot c_{1,z} \cdot \omega_3 \cdot r_{31} \cdot t,$$

где $\lambda_{n_{\kappa}, Q-\frac{1}{2}}$, $\lambda_{n_{\kappa}, Q}$, $\lambda_{n_{\kappa}, Q+\frac{1}{2}}$ – теплопроводность материала КШК в узловых точках разностной сетки круга с координатами соответственно $(n_{\kappa}, Q-\frac{1}{2})$, (n_{κ}, Q) и $(n_{\kappa}, Q+\frac{1}{2})$, Вт/(м·К); ρ_{κ} – плотность материала КШК, кг/м³;

$c_{n_{\kappa}, Q}$ – удельная теплоемкость материала круга, Дж/(кг·К); $r_{\kappa n_{\kappa}}$, $r_{\kappa n_{\kappa-1}}$ – радиусы окружностей расположения узловых точек разностей сетки круга, м; φ_{κ} , φ_3 – угловой размер зоны контакта соответственно для круга и заготовки, рад; Δ_{κ} , Δ_{φ_3} – шаг интегрирования в окружном направлении соответственно для круга и заготовки, рад; ρ_3 – плотность материала заготовки, кг/м³; $c_{1,z}$ – удельная теплоемкость материал заготовки, Дж/(кг·К); $\lambda_{1+\frac{1}{2},z}$, $\lambda_{1,z-\frac{1}{2}}$, $\lambda_{1,z+\frac{1}{2}}$ – тепло-

проводность материала заготовки в узловых точках разностной сетки заготовки, Вт/(м·К); r_{31} , r_{32} , $r_{31+\frac{1}{2}}$ – радиусы окружностей расположения узловых точек разностей сетки заготовки, м; t – толщина слоя материала, снимаемого с заготовки за один ее оборот, м.

Зависимости для расчета углов φ_{κ} и φ_3 и параметра ε имеют следующий вид:

Зависимости для расчета углов φ_{κ} и φ_3 и параметра ε имеют следующий вид:

$$\varphi_{\kappa} = \arccos \left(\frac{r_{\kappa n_{\kappa}} - (1 - \varepsilon) \cdot t}{r_{\kappa n_{\kappa}}} \right);$$

$$\varphi_3 = \arccos \left(\frac{r_{3l} - \varepsilon \cdot t}{r_{3l}} \right);$$

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot r_{\kappa n_{\kappa}} - t}{2 \cdot (r_{\kappa n_{\kappa}} + r_{3l} - t)}.$$

Шаги интегрирования в окружном направлении для круга и заготовки:

$$\Delta\varphi_{\kappa} = 2\pi / m_{\kappa}; \quad \Delta\varphi_3 = 2\pi / m_3,$$

где m_{κ} , m_3 – количество узловых точек в

окружном направлении соответственно круга и заготовки; шаг интегрирования по времени:

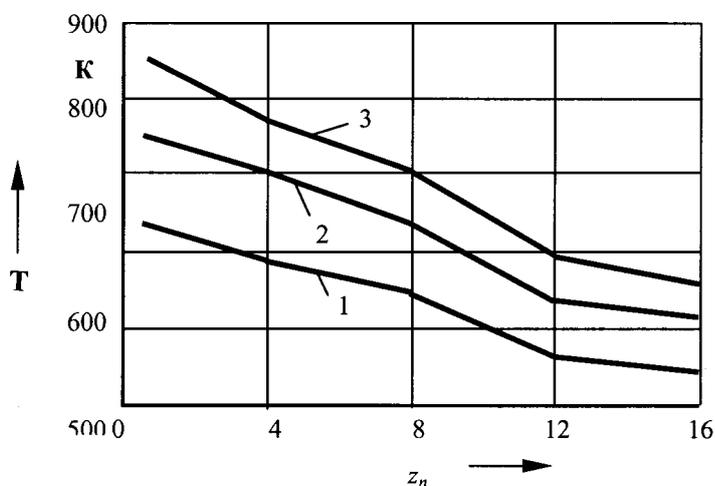


Рис. 1. Зависимость средней контактной температуры T_{κ} от количества прорезей z_n и врезной подачи $S_{вп}$ на операции круглого наружного шлифования КШК 1– 250·25·76 24A16HC17K5; 1, 2, 3 – $S_{вп}$ соответственно 0,15, 0,30 и 0,45 мм/мин; $V_{\kappa} = 35$ м/с; $V_3 = 35$ м/мин; СОЖ – 3% – ная эмульсия Укринол – 1М

$$\Delta\tau = \varphi_k / \omega_k.$$

Для расчета средней контактной температуры T_k по предложенной зависимости разработано программное обеспечение для ПЭВМ на языке «Visual Basic 5.0». Оценка влияния количества радиальных прорезей на среднюю контактную температуру при круглом наружном шлифовании с врезной подачей выполнена применительно к КШК 1 – 250·25·76 24A16HC17K5 и заготовке из стали 12X18H10T. В ходе численного моделирования варьировали количеством радиальных прорезей z_n в диапазоне от 1 до 16.

При увеличении количества радиальных прорезей z_n с 1 до 16 средняя контактная температура T_k уменьшается на (30...35) % вне зависимости от скорости врезной подачи $S_{вр}$ (рис.1). Наиболее интенсивное снижение T_k наблюдается при увеличении количества прорезей z_n от 1 до 12. Дальнейшее увеличение числа прорезей z_n не приводит к существенному снижению T_k .

Адекватность полученной зависимости для расчета T_k проверяли путем сравнения результатов расчета с данными эксперимента. Эксперимент выполняли на экспериментальной установке, созданной на базе круглошлифовального станка 3У16МАФ10, оснащенного приборами для измерения средней контактной температуры в зоне шлифования методом полуискусственной термопары.

Результаты исследований показали, что максимальное расхождение расчетных и экспериментальных значений T_k не превышает 20 %, что свидетельствует об адекватности результатов расчета по предложенной зависимости экспериментальным значениям средней контактной температуры.

УДК 621.315.592

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ АЛМАЗНОГО ОТРЕЗНОГО КРУГА С ВНУТРЕННЕЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

Худобин Л.В., докт. техн. наук, Крупенников О.Г., канд. техн. наук
(г. Ульяновск, Россия)

In a paper the results of mathematical simulation of oscillations of a diamond cutter wheel with an internal cutting crimp are submitted.

Известны математические модели процесса разрезания заготовок из полупроводниковых и диэлектрических материалов алмазными отрезными кругами с внутренней режущей кромкой (АКВР), учитывающие искажение ее кольцевой формы, перераспределение напряжений, вызванное анизотропией свойств материала корпуса круга и центробежными силами, радиальные и осевые биения и многие другие факторы [1 – 2]. Такие модели представляют собой довольно сложную систему градиентно-временных нелинейных дифференциальных уравнений

в частных производных, не всегда разрешаемых даже в классе специальных функций. Между тем, разработанный в последнее время аппарат конечно-разностного численного интегрирования более просто и с высокой степенью адекватности моделирует процессы алмазно-абразивной обработки заготовок.

При разработке математической модели колебаний АКВР авторы исходили из того, что колебательная система находится в состоянии динамического равновесия. Причем внешнему силовому воздействию (осевой составляющей силы резания F_x , оказывающей наибольшее влияние на качество отрезаемых пластин) противодействуют сила инерции $F_{ин}$ и позиционная сила упругости $F_{упр}$ (см. рисунок):

$$F_{ин} + F_{упр} = F_x. \quad (1)$$

$$F_{ин} = (m_{кр} \cdot K_{кр} + m_{кор} \cdot K_{кор}) \cdot \ddot{X}_{кр}, \quad (2)$$

где $m_{кр}$, $m_{кор}$ – соответственно масса режущей кромки и корпуса АКВР, кг; $K_{кр}$, $K_{кор}$ – безразмерные коэффициенты приведения соответствующих масс к месту контакта круга с заготовкой:

$$K_{кр} = \frac{R_{кор}}{R_{кор} + R_{кр}}, \quad (3)$$

где $R_{кор}$, $R_{кр}$ – радиусы соответственно корпуса круга и внут-

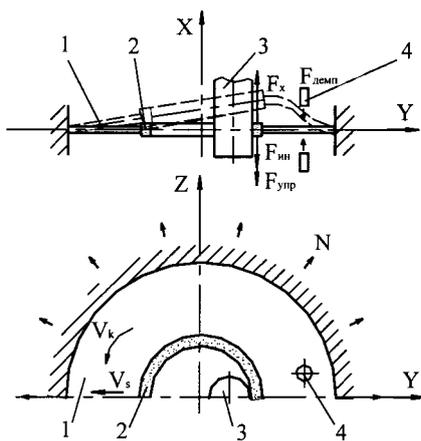


Рис.1. Расчетная схема: 1, 2 – соответственно корпус и режущая кромка круга АКВР; 3 – заготовка; 4 – стабилизирующее устройство.

ренней режущей кромки, м;

$$K_{кор} = \frac{8C^3(C^2 - 1)(A - B) - C(1 + 4A)(C^4 - 1) - 8C \cdot \ln C + (2C^2 \cdot B - 1)}{8(C + 1)(C^2 - 1) \cdot (A(C^2 - 1) + \ln C(2C^2 \cdot B - 1))}, \quad (4)$$

$$F_{xдин} = K_{дин} \cdot F_{хстат} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot \sin(\omega_i t), \quad (14)$$

где $K_{дин}$ – безразмерный коэффициент динамичности АКВР; a_i – безразмерная амплитуда i -й гармоники (при экспоненциальном распределении амплитудного спектра $a_i = e^{-\frac{\chi \omega_i}{\omega_0}}$).

Учтя (12) и (14) получим окончательное выражение для F_x :

$$F_x = C_0 \left(1 + \frac{L}{d}\right)^{f_L} \cdot V_{кр}^{f_V} \cdot V_s^{f_S} \cdot (1 + K_{дин} \sum_{i=1}^{\infty} e^{-\frac{\chi \omega_i}{\omega_0}} \cdot \sin(\omega_i t)). \quad (15)$$

После подстановки (15) в формулу (10) математическая модель колебаний АКВР со стабилизированной режущей кромкой примет вид:

$$\frac{d^2 X_{кр}}{dt^2} + 2 \cdot \xi \cdot \omega_0 \cdot \frac{dX_{кр}}{dt} + \omega_0^2 \cdot X_{кр} = C_0 \left(1 + \frac{L}{d}\right)^{f_L} \cdot V_{кр}^{f_V} \cdot V_s^{f_S} \cdot (1 + K_{дин} \sum_{i=1}^{\infty} e^{-\frac{\chi \omega_i}{\omega_0}} \cdot \sin(\omega_i t)). \quad (16)$$

Полученная математическая модель (16) позволяет, задаваясь оптимальным ξ , определять параметры демпфирующего (стабилизирующего) устройства и места его расположения относительно разрезаемой заготовки и отрезного круга, а также рассчитать собственную частоту АКВР ω_0 .

Литература:

1. Петасюк Г.А. Напряженно-деформированное состояние отрезных алмазных кругов. Дис. ... канд. техн. наук. Киев: Ин-т механики АН УССР, 1987. 207 с.
2. Mizuno Masahiro, Iyama Toshiro, Hoshi Junji, Tamaki Jun'ichi. Studies on high – precision slicing with ID-blade// Jap.Soc. Mech.Eng.C. 1998. V.64. №623. S.446-451.
3. Крупенников О.Г., Киньшин А.В. Исследование эффективности разрезания заготовок стабилизированными отрезными кругами // Известия Томского политехнического у-та. Т. 305. Вып.1. С.174-178.

УДК 621.923

ШЛИФОВАНИЕ С ОЧИСТКОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА АБРАЗИВНЫМ БРУСКОМ

Унянин А.Н., канд. техн. наук

(г. Ульяновск, Россия)

The results of theoretical and experimental researches of process of grinding with clearing of a working surface of grinding wheel by abrasive stick are submitted. The mathematical dependences for account of stick height and size of its grains are received. The optimum mode of clearing is determined.

К числу основных факторов, лимитирующих производительность шлифования и качество деталей из пластичных и адгезионно-активных материалов, относится засаливание рабочей поверхности шлифовального круга (ШК). Одним из путей повышения эффективности шлифования заготовок из этих материалов является механическая очистка кругов от отходов шлифования, однако этот прием практически не исследован. Для разработки рекомендаций по технологии шлифования заготовок с очисткой рабочей поверхности круга брусками необходимо оптимизировать размеры и характеристику бруска, режим и периодичность очистки.

Для определения высоты бруска, обеспечивающей удаление налипов металла с абразивных зерен ШК с заданной вероятностью, получена математическая зависимость [1]

$$H_u = \frac{\lg(1 - P_m)}{\sqrt{Z_{ou} \cdot C_{ку}} \cdot (b_u / 2 \operatorname{tg} \gamma_u \cdot d_{ou})^\alpha \cdot n_k \cdot t}, \quad (1)$$

где P_m – вероятность удаления налипов; Z_{ou} – число абразивных зерен на единичной площадке бруска, $1/\text{м}^2$; $C_{ку}$ и α – коэффициенты; b_u – средний размер площадок затупления на зернах бруска, м; γ_u – угол при вершине зерна бруска, град; d_{ou} – средневероятный размер зерен бруска, м; n_k – частота вращения шлифовального круга, $1/\text{с}$; t – продолжительность очистки, с.

Результаты расчета показали, что при очистке круга бруском зернистостью $\text{м}10$ в течение $(1 - 3)$ с при частоте вращения круга 50 $1/\text{с}$ и вероятности удаления налипов $0,9 - 0,95$ высота бруска должна находиться в диапазоне $(3 - 12)$ мм.

При определении оптимального размера зерна бруска аналитическим путем исходили из условия эффективного микрорезания налипов, возможности удаления зернами бруска налипов металла с зерен круга, находящихся на определенном расстоянии от вершины наиболее выступающего зерна, и размещения зерен бруска между зернами круга.

Зависимость для расчета максимального значения средневероятного размера зерен бруска, полученная исходя из условия эффективного микрорезания материала налипов, имеет вид:

$$d_{ou} \leq \frac{a_{mi} \cdot (1 - \sin \gamma_u)}{m_{кр} \cdot \cos \gamma_u \cdot \operatorname{tg} \gamma_u \cdot (1 - \varepsilon)}, \quad (2)$$

где a_{mi} – глубина внедрения абразивных зерен бруска в материал налива, м; $m_{кр}$ – критерий перехода к микро-резанию; ε – коэффициент, учитывающий заделку зерен в связке.

Расчеты показали, что максимальное значение d_{ou} определяется, прежде всего, возможностью микро-резания материала наливов. Например, чтобы удалить с поверхности зерна ШК налип из стали 40X толщиной 2 мкм при средних значениях глубин внедрения зерна круга в заготовку расчетный средневероятный размер зерен бруска не должен превышать 15 мкм.

Математические зависимости для расчета размера зерна бруска подтверждены экспериментально при плоском маятниковом шлифовании заготовок из стали 40x [2].

С целью определения оптимального режима очистки проведены экспериментальные исследования плоского маятникового шлифования заготовок из инструментальной стали 4x5мфс шлифовальным кругом 1-250x15x32 24a10пст26к2 на станке 3д710в-1. рабочая скорость круга – 35 м/с, скорость продольной подачи стола – 10 м/мин, врезная подача – 0,015 мм/дв.ход. 3 %-ый водный раствор продукта синхо – 6 подавали в зону шлифования поливом с расходом 10 дм³/мин. очистку осуществляли абразивным бруском 24ам10 на эпоксидной связке. высота h_n бруска составила 10 мм, что, согласно расчету по зависимости (1), при продолжительности очистки $t = (1 - 2)$ с обеспечивает возможность удаления налива с вероятностью 0,95.

Варьировали силой прижима бруска к кругу f_0 , периодичностью очистки τ_0 и продолжительностью очистки T_0 . контролировали период стойкости шлифовального круга τ_c , составляющие p_z и p_y силы шлифования, параметр r_a шероховатости шлифованной поверхности, а также износ круга и бруска. рассчитывали величины рассеяния δp_z , δp_y и δr_a как разность между наибольшими и наименьшими значениями соответствующих параметров p_z , p_y и r_a в партии шлифованных деталей, а также критерии, характеризующие интенсивность роста составляющих силы шлифования с увеличением наработки круга:

$$KP_y = \frac{\Delta P_y}{\tau_c}, \quad KP_z = \frac{\Delta P_z}{\tau_c}.$$

Исследования проводили по плану многофакторного эксперимента, состав опытов и результаты которого представлены в таблице.

Таблица

Результаты экспериментальных исследований влияния режима механической очистки круга 24a10пст26к2 на эффективность шлифования заготовок из стали 4x5мфс

Варьируемые параметры			Выходные параметры				
Периодичность очистки τ_0 , мин	Продолжительность очистки T_0 , с	Сила прижима бруска F_0 , Н	Составляющие силы шлифования, Н		Период стойкости круга T_c , МИН	Коэффициенты	
			P_y	P_z		KP_y	KP_z
1,5	1	2	135	76	7,5	1,47	1,07
2,0	1	2	137	79	6,0	2,16	1,83
1,5	2	2	134	75	9,0	1,11	0,78
2,0	2	2	138	78	8,0	1,75	1,25
1,5	1	4	136	77	7,0	1,71	1,28
2,0	1	4	140	80	6,0	2,67	2,0
1,5	2	4	136	77	8,0	1,50	1,12
2,0	2	4	138	79	7,0	2,0	1,57

Уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь выходных и входных параметров операции шлифования, имеют вид:

$$P_y = 136,8 + 1,5 \cdot \tau_0 - 0,25 \cdot T_0 + 0,75 \cdot F_0 - 0,25 \cdot T_0 \cdot F_0 - 0,5 \cdot \tau_0 \cdot T_0 \cdot F_0;$$

$$P_z = 77,56 + 1,313 \cdot \tau_0 - 0,313 \cdot T_0 + 0,563 \cdot F_0;$$

$$KP_y = 1,793 + 0,348 \cdot \tau_0 - 0,205 \cdot T_0 + 0,175 \cdot F_0 - 0,065 \cdot \tau_0 \cdot T_0 - 0,048 \cdot \tau_0 \cdot T_0 \cdot F_0;$$

$$KP_z = 1,35 + 0,29 \cdot \tau_0 - 0,17 \cdot T_0 + 0,12 \cdot F_0;$$

$$\tau_c = 7,125 - 0,625 \cdot \tau_0 + 0,625 \cdot T_0 - 0,25 \cdot F_0 + 0,25 \cdot \tau_0 \cdot F_0.$$

Составляющие силы шлифования уменьшаются, а период стойкости круга увеличивается с уменьшением периодичности очистки τ_0 и с увеличением ее продолжительности T_0 , что объясняется увеличением вероятности удаления наливов с зерен круга. Увеличение силы прижима F_0 с 2 до 4 Н привело к увеличению P_z и P_y .

Однако в большей степени изменяются коэффициенты KP_y и KP_z , характеризующие интенсивность роста составляющих силы шлифования: для различных комбинаций варьируемых (входных) параметров эта разность составляет более 100 % (см. табл.). При $F_0 = 4$ Н наблюдалось увеличение износа круга и бруска, следовательно, для удаления наливов металла достаточно силы 2 Н.

Лучшие результаты получены при периодической очистке круга через 1,5 мин машинного времени при силе прижима бруска к кругу 2 Н и продолжительности очистки 2 с. При этом режиме, в сравнении с обработкой без очистки, силы P_z и P_y после 5 мин шлифования ниже на 12 и 13 % соответственно, период стойкости круга выше на 80 %, а коэффициенты KP_y и KP_z ниже в 2 раза.

Параметр R_a шероховатости шлифованной поверхности заготовки после очистки круга несколько снижается; после наработки круга, равной τ_0 , возрастает до уровня, практически одинакового для всех режимов очистки.

Объемный расход шлифовального круга, отнесенный к 1 минуте его наработки, составил при режиме очистки, обеспечившем лучшие результаты ($T_0 = 2$ с, $\tau_0 = 1,5$ мин и $F_0 = 2$ Н) и без очистки 104,6 и 188,4 мм³/мин соответственно. Объемный расход бруска оказался на порядок меньше объемного расхода круга.

Таким образом установлено, что механическая очистка шлифовального круга абразивным бруском является перспективным методом стабилизации составляющих силы шлифования и увеличения периода стойкости шлифовального круга. Лучшие результаты получены при шлифовании с периодичностью очистки 1,5 мин при силе прижима бруска к кругу 2 Н и продолжительности очистки 2 с. В сравнении с обработкой без очистки этот режим обеспечивает увеличение периода стойкости шлифовального круга на 80 %, стабилизацию составляющих силы шлифования, а также снижение расхода шлифовального круга.

Литература

1. Унянин А. Н. Исследование эффективности очистки рабочей поверхности кругов абразивными брусками при обработке заготовок деталей автомобилей. Тезисы докладов отчетной конференции – выставки подпрограммы 205 "Транспорт" научно-технической программы Минобразования РФ "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники". 11 – 13 февраля 2002 г. Москва – Звенигород. М.: Изд-во МАИ, 2002. С. 190 – 192.
2. Худобин Л. В., Унянин А. Н. Стабилизация режущей способности шлифовального круга путем механической очистки его рабочей поверхности. // Вестник Ульяновского государственного технического университета. № 1. 2002. С. 58 – 62.

УДК 621.923.4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ВДОЛЬ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ

Хусаинов А.Ш., канд. техн. наук

(г. Ульяновск, Россия)

The influence of the grinding scheme on heat transfer coefficient distribution on a treated surface both before a wheel, and after it is investigated.

Высокая интенсивность тепловых процессов часто приводит к нежелательным структурно-фазовым превращениям в поверхностном слое шлифуемой заготовки. Наиболее эффективным средством снижения теплонапряженности обработки при любой схеме шлифования является рациональное применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Все способы подачи СОЖ можно условно разделить на три группы. 1. Подача СОЖ на входе абразивного зерна в заготовку (например, поливом). 2. Подача СОЖ на выходе абразивного зерна из заготовки (например, напорной струей СОЖ). 3. Подача СОЖ насыщением ею порового пространства ШК (через поры круга, в том числе с использованием клиновых полуоткрытых насадков, расположенных у торцев круга).

Очевидно, что при столь различных условиях подачи СОЖ коэффициент теплопередачи в окружающую среду с обрабатываемой поверхности будет существенно различаться. Кроме того, даже применение наиболее эффективного из способов не обеспечивает равномерное распределение коэффициента теплопередачи по обрабатываемой поверхности: вблизи зоны шлифования (где собственно и подается СОЖ) скорость потока и его расход максимальны, в то же время вдали от зоны шлифования поверхность заготовки может оказаться лишь смоченной или вовсе сухой.

При компьютерном моделировании тепловых процессов, сопутствующих шлифованию, из-за отсутствия достаточной априорной информации о распределении коэффициента теплопередачи по обрабатываемой поверхности часто задают некое среднее значение коэффициента (причем обычно это значение относится к зоне вблизи контакта ШК – заготовка). Это приводит к занижению рассчитанных значений температур, так как в период охлаждения заготовки (весьма длительном по сравнению с периодом нагрева) из-за завышенного коэффициента теплопередачи она охлаждается практически до температуры окружающей среды, тогда как на самом деле при многопроходном шлифовании теплота накапливается в заготовке, что существенно изменяет все тем-

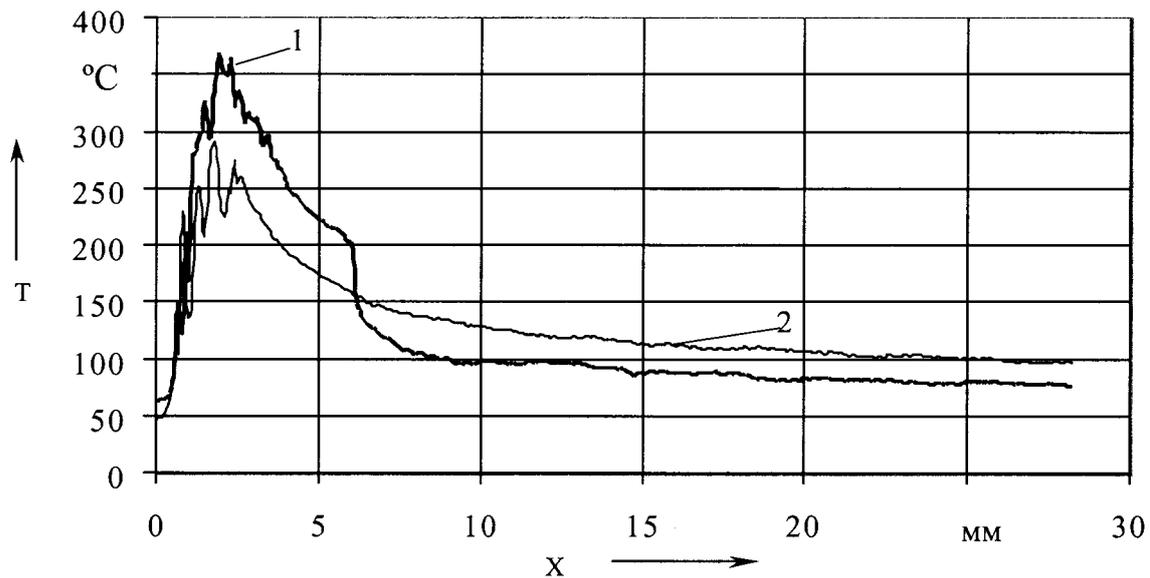


Рис. 1. Распределение температуры T по обрабатываемой поверхности при встречном (1) и попутном (2) плоском маятниковом шлифовании в зависимости от расстояния X до теплового источника: круг 1–225×40×76 24A40ПСМ17К5; материал заготовки – сталь ХВГ, HRC 55...59; $V_k = 35$ м/с, $V_s = 15$ м/мин, $S_i = 0,02$ мм/дв.ход; охлаждение – полив 0,5 %-ным содовым раствором с расходом 10 дм³/мин

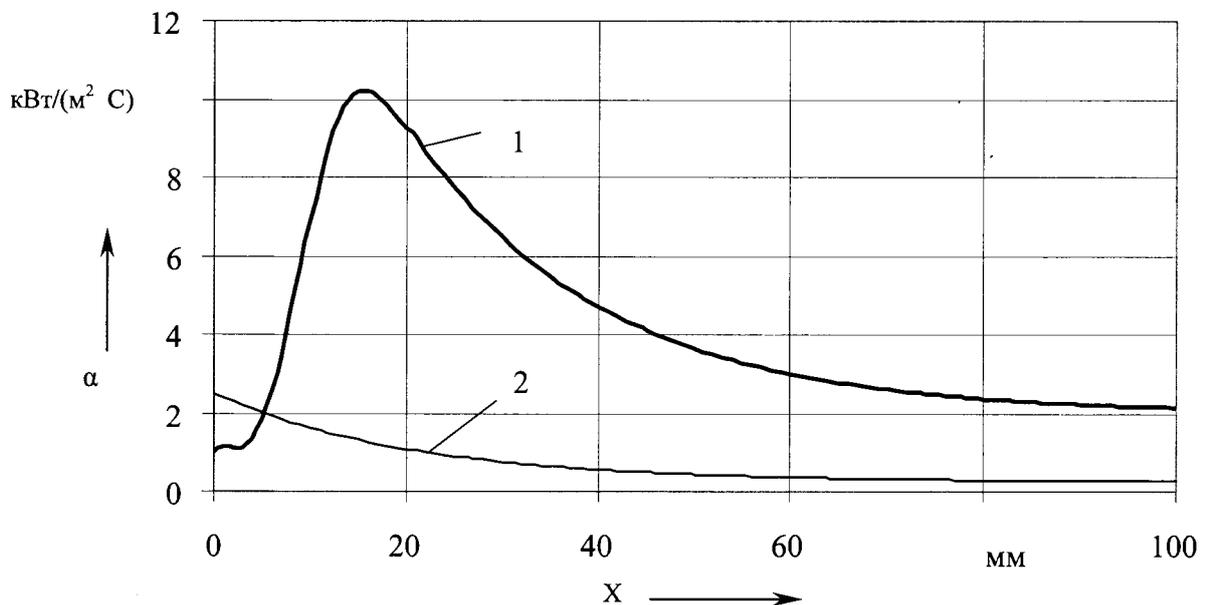


Рис. 2. Распределение коэффициента теплопередачи α по обработанной поверхности при встречном (1) и попутном (2) плоском маятниковом шлифовании: условия эксперимента см. в надписи к рис. 1

пературное поле.

С помощью многоканальной системы сбора данных о термоЭДС [1] экспериментально установлено, что распределения температуры и коэффициента теплопередачи при попутном и встречном шлифовании с подачей СОЖ поливом существенно отличаются. Так при встречном шлифовании сразу после теплового источника резкого изменения характера температурной кривой не наблюдалось (рис. 1): в эту зону проникает очень мало СОЖ и имеет место её плёночное кипение. Скачкообразное изменение температурной кривой отмечено на расстоянии 4 мм от конца теплового источника. В этом месте, по всей видимости, температурный напор на поверхности заготовки снижается настолько, что начинается пузырьковое кипение. При этом достигает своего максимального значения коэффициент теплопередачи на поверхности заготовки $\alpha = 10500$ Вт/(м²·°C) (кривая 1 на рис. 2). На обработанной части шлифуемой поверхности из-за увеличивающегося расстояния между исследуемой областью и зоной контакта ШК – заготовка, а также постепенного снижения температурного напора, коэффициент теплопередачи асимптотически снижается до 2000 Вт/(м²·°C). Комбинированное регрессионное уравнение этой кривой имеет следующий вид:

при $0 < X < 21$ мм: $\alpha(X) = -0,00272817X^6 + 0,213684X^5 - 6,0146X^4 + +69,55X^3 - 253,5X^2 + 319,45X + 968,12$;

при $X > 21$ мм: $\alpha(X) = 7000 \cdot e^{(-0,05 \cdot (X - 21))} + 2000$.

При попутном шлифовании зависимость коэффициента теплопередачи от расстояния до теплового источника монотонна. Коэффициент α снижается по экспоненте $\alpha(X) = 2250 \cdot e^{(0,05 \cdot X)} + 250$ (кривая 2 на рис. 2).

Изменение скорости заготовки V_z в диапазоне (5 – 15) м/мин и врезной подачи $S_f = (0,006 – 0,02)$ мм/дв. ход на форму закона распределения $\alpha(X)$ и его максимальное амплитудное значение практически не сказывается: изменение $\alpha(X)$ не превышало ошибки эксперимента – 10 %.

С уменьшением расхода СОЖ до 5 дм³/мин максимальная величина коэффициента теплопередачи снижается до 6100 Вт/(м² · °С) с последующим понижением до уровня (1800 – 2000) Вт/(м² · °С) (рис. 3). При этом экстремум смещён от задней кромки теплового источника до $X \approx 30$ мм. При расходе СОЖ 2,5 дм³/мин эти тенденции сохраняются. Соответствующие регрессионные уравнения имеют следующий вид:

при $0 < X < 30$ мм: $\alpha(X) = 0,000034X^6 - 000118X^5 - 0,0709X^4 + +3,507X^3 - -38,866X^2 + +221,07X + 996,62$;

при $X > 30$ мм: $\alpha(X) = 4750 \cdot e^{(-0,035 \cdot (X - 30))} + 1349$;

при расходе СОЖ 2,5 дм³/мин

при $0 < X < 40$ мм: $\alpha(X) = -0,000001X^6 - 000018X^5 - 0,00035X^4 + 0,135X^3 + 0,171458X^2 + 519,021$;

при $X > 40$ мм: $\alpha(X) = 1700 \cdot e^{(-0,045 \cdot (X - 40))} + 1100$.

При попутном шлифовании влияние расхода СОЖ на $\alpha(X)$ не выявлено.

Таким образом, экспериментально установлен экстремальный характер зависимости коэффициента теплопередачи от расстояния до теплового источника при встречном шлифовании и монотонно убывающий характер этой зависимости при попутном. Полученные регрессионные уравнения $\alpha(X)$ позволяют существенно повысить точность компьютерного моделирования тепловых процессов при шлифовании заготовок, так как именно недостаток исходной информации ограничивает возможности компьютерного моделирования.

Литература

1. Хусаинов А.Ш. Установка для измерения распределения плотности теплового потока по поверхности заготовки при плоском шлифовании // В кн.: Сборник трудов международной НТК «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Шлифабразив – 2000». Волжский: ВИСИ ВГАСА, 2000. С. 207 – 210.

УДК 621.757

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛАСТИЧНЫХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ ПРИ ИХ УСТАНОВКЕ ВО ВНУТРЕННИЕ КАНАВКИ ДЕТАЛЕЙ

Новоселов Ю.к., докт. техн. наук, Тараховский А.Ю.

(г. Севастополь, Украина)

The modern methods of research of detail's deformations from elastic material – rubber - are parsed. The frame of the characteristics of deformation is reduced. the algorithm of research of elastic ring's deformations is circumscribed at installation in internal grooves of details on the basis of a finite element method.

Установка эластичных колец во внутренние канавки деталей является распространенной, но вместе с тем трудоемкой операцией и в большинстве случаев выполняется вручную. ручная сборка снижает качество сборочной операции и, в ряде случаев, даже нарушает требования гост — имеют место перекосы, скручивания колец, наличие в них остаточных напряжений после сборки узла и т.д.

Необходимым и наиболее ответственным этапом сборочного процесса является деформирование кольца — изменение его размеров, формы или размеров и формы одновременно. Нелинейность свойств резины — материала кольца — обуславливает сложность математического описания деформаций кольца. Анализ деформационных характеристик уплотнений показывает, что они отличаются от аналогичных характеристик металлов и сплавов наличием высокоэластических деформаций; упругие деформации резины также отличаются от соответствующих деформаций металлов и сплавов [1]. Вместе с тем такие описания очень важны, поскольку нежелательные деформации в процессе сборки влияют на механизм разрушения эластичного кольца, а значит, выходу из строя всей конструкции из-за нарушения герметичности уплотнительного узла.

Контакт эластичного кольца с металлической поверхностью детали при сборке уплотнительного узла имеет следующие особенности:

- хорошая деформационная способность кольца создает благоприятные предпосылки для создания больших натягов при небольших давлениях;
- большая длительность контакта в зоне герметизации обеспечивается большими натягами при упругих деформациях кольца.

Реологические исследования, проводимые в настоящее время, позволяют создавать высокотехнологичные эластомеры, однако технологические совершенства на этапе установки уплотнительного колец во внутренние канавки деталей, существенно снижают долговечность собранных узлов.

Проводимые работы по анализу и интерпретации экспериментальных данных о влиянии различных технологических воздействий на кольцо (иначе говоря — различных деформаций) и предварительных сборочных

деформаций на прочностные свойства уплотнительных колец, как отмечается в ряде работ [1, 2], пока не привели к исчерпывающему пониманию явления разрушения колец. Большое число разработок по этому вопросу не может быть использовано для расчета резинотехнических изделий, и, в частности, уплотнительных колец, собираемых в условиях больших деформаций. В.А. Дружининым на основе феноменологического подхода предложен один из возможных вариантов разрушения резины. В качестве одного из типов конструкций уплотнительных деталей рассмотрены резинотехнические изделия с большими начальными деформациями, обусловленными технологией сборки. При построении тензора повреждений для несжимаемого материала используется тензор конечных деформаций. Получена зависимость степени растяжения от времени разрушения, которую можно рассматривать как возможность оценки накопления повреждений в уплотнительных деталях.

А.Н. Шерешевским для описания упругой линии кольца на этапах сборки предложено использовать метод Ритца [3]. Был составлен функционал потенциальной энергии деформации, содержащий функции координат точек кольца в параметрическом виде, и их производные. Минимизация функционала позволила определить координаты упругой линии кольца. Погрешность теоретических расчетов при этом, по отношению к экспериментальным, составила 7%. Эти исследования позволяют проводить расчеты режимов сборки и элементов сборочных устройств.

С.И. Дымников и М.И. Снегс в своих работах отмечают, что для сложных случаев деформирования применение метода Ритца неперспективно ввиду значительной трудоемкости вычислений. Для исследования монтажа кольца (шнура) круглого сечения в канавки деталей ими использован метод конечных элементов (МКЭ). Нелинейная контактная задача решена программой на основе МКЭ. Были использованы четырех- и треугольные конечные элементы с постоянной функцией гидростатического давления в элементе. Система нелинейных алгебраических уравнений решалась методом последовательных нагружений с уточнением решения на каждом шаге методом ньютона. Результаты численного расчета механических характеристик колец аппроксимировались аналитическими зависимостями с помощью разработанной компьютерной программы. При этом область изменения геометрических параметров рассмат-



Рис. 1. Критерии описания деформаций уплотнительного кольца при установке во внутренние канавки деталей.

ривалась состоящей из трех подобластей, в каждой из которых напряженное состояние имеет свои особенности. точность аппроксимации расчетных данных не превышает 5%.

Использование МКЭ в нелинейной механике эластомеров рассмотрено в работах И.Я. Хархурима, где подчеркивается, что учет существенной геометрической нелинейности задачи — основной элемент анализа эластомеров. Отмечено, что решение задачи минимизации функционала с ограничениями является не полным, поэтому трудно указать единственный (или наилучший) способ решения такой задачи. В качестве перспективного варианта решения использованы идеи и методы теории минимизации функции. Для численной реализации этих методов рассмотрены методы прямой минимизации функции, которые не требуют знания производной и за последние годы стали настолько совершенны, что по точности счета успешно конкурируют с градиентными. В частности, использован метод прямой минимизации угловой функции в варианте метода Пауэлла. в качестве целевой функции рассмотрена полная энергия среды, представляемая в МКЭ в виде суммы вкладов от каждого конечного элемента. Получено общее уравнение движения эластомера методом галеркина в МКЭ и показаны простые примеры приложения разработанной теории.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для исследования деформаций эластичных уплотнительных колец при установке во внутренние канавки деталей целесообразно использовать МКЭ. Существенной особенностью такого подхода является то, что он в принципе применим к исследованию конечных деформаций физических нелинейных тел любой геометрической формы при произвольных краевых условиях. На сегодняшний день не рассмотрены различные типы сборочных деформаций; не выполнен их сравнительный анализ для выбора наиболее рационального деформирования кольца в каждом конкретном случае. Особого внимания заслуживают пространственные деформации, рассмотрение которых в известных публикациях практически отсутствует в силу сложности задачи.

Исследования деформаций эластичных колец при их установке во внутренние канавки деталей проводилось в следующей последовательности:

1. На основе систематизации деформаций эластичных деталей, разработанной А.Н. Шерешевским, была составлена расширенная систематизация деформаций для установки колец в канавки отверстия с использованием количественных характеристик [3]. При этом было проведено деление деформаций на плоские и пространственные. Структура описания деформации имеет вид, представленный на рис. 1. Эти данные являются основой для выбора структуры сборочного технологического процесса и исполнительного механизма.
2. С использованием инструментария пакета solid works построен объект исследования — эластичная уплотнительная деталь в виде тора (в настоящее время проводится оценка деформаций других форм сечений).
3. На основе задания свойств материала и нагрузок на кольцо, а также вида и количества конечных элементов в программе cosmos выполнен расчет деформаций МКЭ.
4. Построены зависимости прочностных свойств колец от типа и параметров деформаций.
5. Проведен сравнительный анализ полученных данных и определены условия рационального применения каждой из описанных в п.1 деформаций.

Наряду с проведенными исследованиями реализуется экспериментальная оптимизация сборочного процесса для плоских деформаций. При этом определяются оптимальные режимы реализации сборочной операции и параметры исполнительных механизмов. Появляется возможность моделировать технологические свойства сборочного оборудования при его проектировании. Результаты разработок могут быть использованы в структуре САПР сборочных технологических процессов; на их основе можно проектировать высокопроизводительные сборочные механизмы.

Литература

1. Кононенко А.П., Голубов Ю.Н. Уплотнительные устройства машин и машиностроительного оборудования: расчет и конструирование. — М.: Машиностроение, 1984. — 124с.
2. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. — М.: Машиностроение, 1986. — 356с.
3. Шерешевский А.Н., Тараховский А.Ю. Сборка эластичной кольцевой детали с канавкой отверстия. В сб. Технология машиностроения: проблемы и перспективы: Материалы научно-технической конференции, 2-6 октября 2000 г. — Севастополь: СГТУ, 2000. — с.140-145.

УДК. 621. 91

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ НА СТАНКЕ 5851

Якимов А.А., канд. техн. наук, Якимова О.А.

(г. Одесса, Украина)

The technique of account of temperatures for want of multipass tooth-grind is developed.

При шлифовании зубчатых колес на станке 5851 (МАОГ) с нулевой настройкой кругов за период прохождения зоны контакта в направлении продольной подачи, каждая точка боковой поверхности зуба колеса подвергается многократному тепловому воздействию.

Например, при глубине шлифования $t=0,05$ мм с подачей 1,5 мм на одно качание стола за период прохождения зоны контакта вдоль зуба каждая точка боковой поверхности зуба подвергается 12-и кратному тепловому воздействию. Многократное тепловое воздействие вызывает накопление тепла в теплопроводящем пространстве обрабатываемого зубчатого колеса.

В промежутках времени между тепловыми импульсами боковая поверхность зуба не успевает охладиться до исходной температуры. В результате в поверхностном слое зуба за счет накопления тепла происходит повышение температуры.

Для построения температурного поля необходимо изучить динамику нагрева и охлаждения поверхности за период обкаточного движения. Остаточная температура поверхности за период обкаточного движения определяется по формуле (1)

$$\Delta T = T_i \frac{1}{1 + \frac{\alpha \sqrt{a \cdot \tau_{разр}}}{\lambda \sqrt{\pi}}} , \quad (1)$$

где T_i - температура поверхности после предыдущего прохода; α - коэффициент теплообмена ($1 \text{ кал} / \text{см}^2 \text{ с} \text{ } ^\circ\text{C}$)= $4,1868 \cdot 10^4 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$); a - коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2 / \text{с}$; $V_{обк}$ - скорость обкатки, $\text{м} / \text{с}$ λ - коэффициент теплопроводности ($1 \text{ кал} / \text{см} \text{ с} \text{ } ^\circ\text{C}$)= $4,1868 \cdot 10^2 \text{ Вт} / \text{м} \text{ } ^\circ\text{C}$); $\tau_{разр}$ - время между двумя очередными тепловыми импульсами (время охлаждения поверхности).

С учетом рассеяния тепловой энергии суммарная остаточная температура на поверхности определяется из выражения

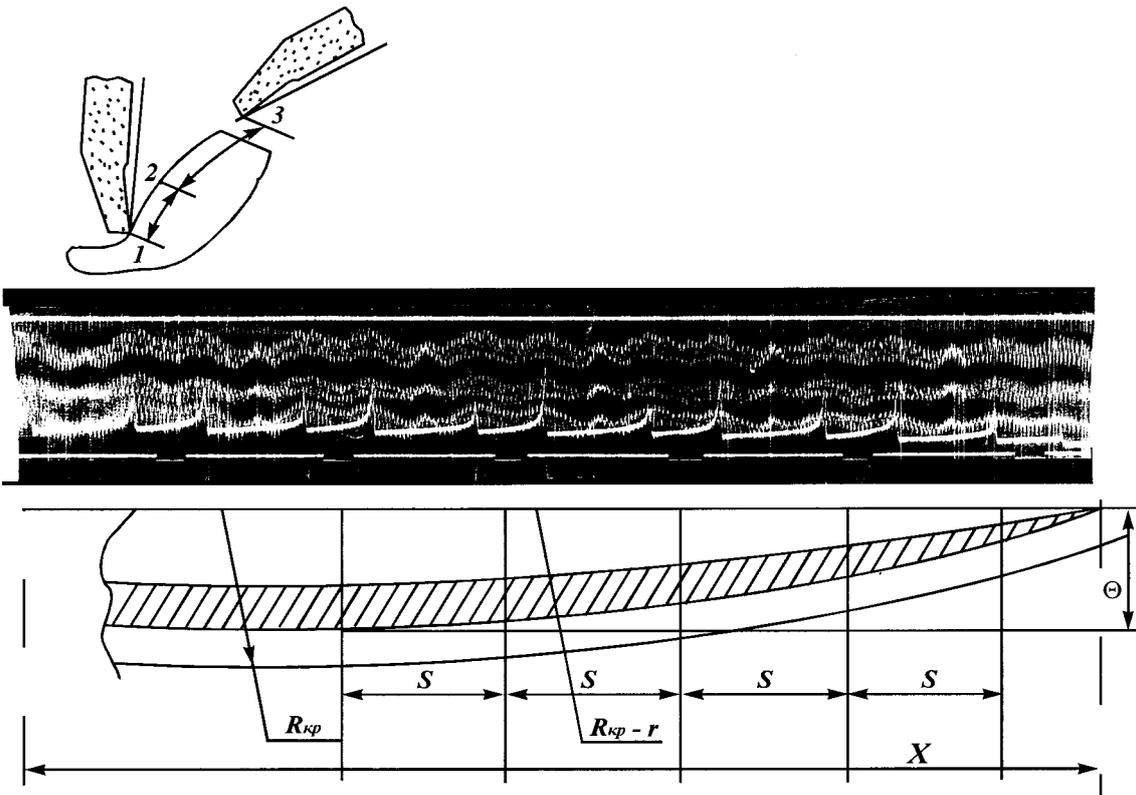


Рис.1 Схема шлифования.

$$\Delta T = \frac{q}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot L_i}{C_\gamma \cdot \lambda \cdot V_{обк}}} \left\{ \frac{1}{\alpha \sqrt{a} \cdot \sqrt{\frac{2[n-(i-1)\gamma]}{V_{обк}}}} + \frac{1}{1 + \frac{\lambda \sqrt{\pi}}{\alpha \sqrt{a} \cdot \sqrt{\frac{2[n-(i-1)\gamma]}{V_{обк}}}}} \right\}, \quad (2)$$

где q - интенсивность теплового потока, Вт/м²; L_i - ширина зоны контакта, $L = \sqrt{2rt}$ (r - радиус закругления режущей кромки круга); $V_{обк}$ - скорость обкатки, м/с; $V_{обк} = \frac{2mp}{60}$ (m - модуль зубчатого колеса, p - число обкаточных движений в минуту. γ - плотность материала. кг/м³; n - общее количество обкаток за период прохождения зоны контакта в продольном направлении.

Суммарная температура поверхности с учетом накопления тепла от предыдущих проходов определяется из выражения

$$\Delta T = \frac{q}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot L_n}{C_\gamma \cdot \lambda \cdot V_{обк}}} + \sum_{i=1}^n \frac{q}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot L_i}{C_\gamma \cdot \lambda \cdot V_{обк}}} \left\{ \frac{1}{\alpha \sqrt{a} \cdot \sqrt{\frac{2[n-(i-1)\gamma_1]}{V_{обк}}}} + \frac{1}{\alpha \cdot a \cdot \sqrt{\frac{2[n-(i-1)\gamma_2]}{V_{обк}}}} + \frac{1}{1 + \frac{\lambda \sqrt{\pi}}{\alpha \sqrt{a} \cdot \sqrt{\frac{2[n-(i-1)\gamma_1]}{V_{обк}}}}} + \frac{1}{1 + \frac{\lambda \sqrt{\pi}}{\alpha \cdot a \cdot \sqrt{\frac{2[n-(i-1)\gamma_2]}{V_{обк}}}}} \right\}, \quad (3)$$

где l_1 и l_2 расстояние от точки на делительной окружности (точка 2) рис.1 до точек 1 и 3 при которых происходит реверсирование движения обкатки.

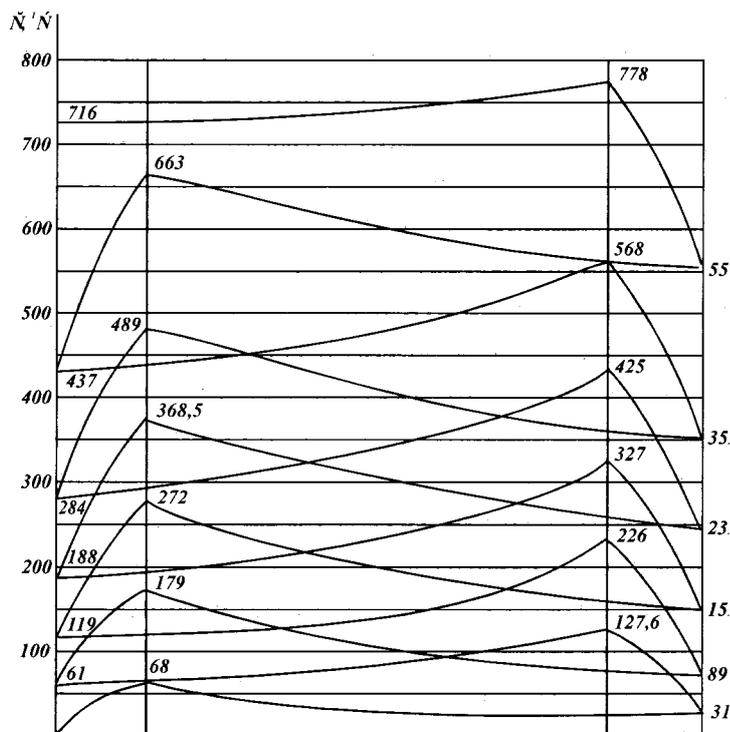


Рис.2

поверхности зуба колеса в зоне делительной окружности

$$Q = \sqrt{2 \cdot \rho \cdot t - t^2} \tag{5}$$

Таблица 1

t	Длина X , мм	$i = \frac{X}{S}$	S , мм/кач	F , мм ²
0,05	19,35	9	2,15	5,28
0,1	25,86	12	2,15	14,28

За период одного обкаточного движения, т.е. перемещение круга из точки 1 в точку 3 и обратно зона контакта в продольном шлифовании перемещается на величину шага S . За этот период шлифовальный круг два раза перерезает термопару: при движении от ножки к головке и при движении от головки к ножке.

Таблица 2

Количество тепловых импульсов, i	L_i , мм	T_i , °C	ΔT_i , °C	$T_i + \Delta T_i$
1	0,05	68	-	68
2	0,1	96	31	127
3	0,15	118	61	179
4	0,2	136	89	225
5	0,25	152,6	119	271
6	0,3	175	152	327
7	0,35	180,5	188	368,5
8	0,4	192,9	232	425
9	0,45	204,7	284	489
10	0,5	215,75	352	663
11	0,55	226	437	663
12	0,6	236	551	787

Произведены расчеты длины зоны контакта X и числа обкаточных движений $i = \frac{X}{S}$.

На рис.1 представлена осциллограмма изменения температурных всплесков за период прохождения зоны контакта в продольном направлении зуба, показана зона контакта круга с боковой поверхностью зуба (заштрихованная зона) и схема обкатки зуба.

На осциллограмме температурных всплесков наглядно просматривается накопление тепла и повышение усредненной температуры от многократного воздействия тепловых импульсов за период прохождения зоны контакта в продольном направлении под термопарой.

Длина зоны контакта X равна половине длины хорды, отсекающей сегмент на окружности радиуса $(R_{kp} - r)$, высота которого Q .

$$X = 5\sqrt{2(R_{kp} - r)Q - Q^2} \tag{4}$$

Высота сегмента Q равна половине длины хорды, отсекающей сегмент на окружности радиуса ρ , высота которого равна глубине резания t . Окружность радиуса ρ описывает профиль боковой

В табл. 1 представлены расчетные значения параметров площади контакта круга с боковой поверхностью зуба колеса ($m=6$ мм, $r=0.3$, $m=1,8$ мм, $P_{кр}=100$ мм, $\rho=34,7$ мм) при зубошлифовании на станке 5851 с нулевой настройкой кругов.

Произведены расчеты температурных всплесков в момент прохождения круга над термопарой и показаны остаточные температуры с учетом охлаждения. На рис.2 представлена динамика нарастания температуры по мере перемещения зоны контакта в продольном направлении. Показана суммарная температура поверхности с учетом накопления тепла от предыдущих проходов.

В табл. 2 представлена динамика изменения ширины зоны контакта и соответствующие им величины температурных всплесков, по мере перемещения зоны контакта над термопарой вдоль образующей зуба шестерни.

Литература

1. А.Н. Резников, П.А. Резников. Основы расчета шлифовальных процессов в технологических расчетах. Учебное пособие, - Куйбышев; КуАИ 1986. – 153 с.

УДК 634.0.36.621

ФОРМИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Гридин В.П., канд. техн. наук, Малыхин В.В., канд. техн. наук
(г. Курск, Россия)

Formation and technological maintenance of dimensional communications of process of manufacturing of parts of machines

При проектировании технологии изготовления корпусных деталей на этапе выбора технологических баз и определения последовательности обработки поверхностей заготовок формируются операционные технологические размерные цепи (размерные цепи второго рода). Решение операционных технологических размерных цепей позволяет определить величину колебания припуска на поверхностях, подлежащих обработке, которая зависит как от исходной точности заготовки, так и от того, какие поверхности заготовки используются в качестве технологических баз по всему технологическому процессу. В большинстве случаев заготовку корпусной детали на первой операции представляется возможным базировать по нескольким вариантам. При этом на соответствующих поверхностях заготовки образуется неравнозначная величина колебания припуска.

Неравномерно распределенный припуск всегда порождает, колебание силы резания, вызывающее вибрации и упругие перемещения в технологической системе, порождающие увеличение погрешности динамической настройки размерных цепей. Результатом является увеличение случайных погрешностей обработки, получение неправильной геометрической формы обработанных поверхностей, увеличение поля рассеивания размеров, увеличение шероховатости т.д. Особенно это относится к поверхностям отверстий, что в первую очередь объясняется тем, что размеры отверстий лимитируют геометрические размеры режущего и вспомогательных инструментов. Обусловленная этим недостаточная жесткость инструмента заставляет вести обработку на заниженных режимах или же вводить дополнительные переходы и операции, что связано с потерей производительности и увеличением расходов.

Рассчитать оптимальные технологические параметры — режимы обработки, межпереходные размеры, количество технологических переходов,— обеспечивающие заданную чертежом точность размеров и учитывающие влияние колебания припуска, образуемого на поверхностях, подлежащих обработке принятым вариантом базирования, исходя только из значений звеньев операционных технологических размерных цепей, не представляется возможным. Это обстоятельство вызвано отсутствием информации о формировании операционных технологических размерных цепей, составляющие звенья которых, за исключением размеров заготовки, являются замыкающими звеньями соответствующих внутриоперационных размерных цепей технологической системы (размерные цепи первого рода).

Рассчитывать значения звеньев внутриоперационных размерных цепей предлагается исходя из величины и погрешности, порождаемой упругими отжатыми, допустимой на последнем технологическом переходе. Зная точностные требования, предъявляемые к размерам детали, устанавливаются, какие геометрические отклонения полуфабриката можно допустить на переходе, предшествующем окончательному, и на каких режимах провести окончательный переход, чтобы обеспечить требуемую точность детали. По этой же схеме определяются технологические параметры всех предыдущих переходов. Необходимое количество технологических переходов определяется сравнением допустимой величины колебания, припуска на рассматриваемом технологическом переходе и величиной колебания припуска, образованной исходной операционной технологической размерной цепью.

Разработанная математическая модель обработки поверхностей заготовок корпусных деталей в условиях их изготовления на многоцелевых станках с достаточной адекватностью отражает физическую сущность процесса обработки и может служить одной из подсистем САПР ТП.

УДК 621.941

О КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ

Гусарев В.С., канд. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

About classification of master schedules and physical legitimacies

Технологический процесс представляет собой контактное взаимодействие двух (как минимум) объектов, один из них обрабатываемый, второй - обрабатывающий. Контактное взаимодействие твердых тел изучалось великими исследователями прошлого: Ж.Л. Д'Аламбером (в механике), Г. Кориолисом (в теории удара), Г.Р. Герцем (в задачах трения). Первая классификация контактного взаимодействия, естественно, была геометрической:

1 класс - точечный контакт (шар: - с шаром, - с образующей цилиндра, - с плоскостью, со скрещивающимися цилиндрами и т. п.);

2 класс - линейный контакт (цилиндра: - с цилиндром по образующим, - с плоскостью и т. п.);

3 класс - поверхностный контакт (плоскость с плоскостью и т. п.);

4 класс - (появился позже) пространственный (обволакивающий) контакт.

Геометрическая классификация была интерпретирована Л.Н. Кошкиным [4], как технологическая: обработка детали резцом напроход (1 кл.); обработка - врезанием по образующей (2 кл.); штамповка с образованием поверхностей (3 кл.); отливка в форму (4 кл.). Геометрическая классификация, дополненная характерными движениями для металлорежущего оборудования, позволила Г.И. Грановскому [2] классифицировать технологические процессы образования поверхностей как обрабатываемых деталей, так и обрабатывающих инструментов. Основным признаком геометрической классификации является расстояние [L]. Тогда вся классификация сводится к ряду: 1 кл. [L0], 2 кл. [L1], 3 кл. [L2], 4 кл. [L3].

Известно, что в практике использования различных технологических процессов применяют так называемую "кинематическую" характеристику процесса - производительность [3]. Производительность - как мера, представляет собой отношение изменяемой величины (параметра пространства) ко времени этого изменения. Используя производительность как классификационный признак получаем ряд:

1 кл. [L0*T-1], 2 кл. [L1*T-1], 3 кл. [L2*T-1], 4 кл. [L3*T-1].

Эти размерные величины-признаки представляют "кинематическую классификацию" технологических процессов. Как физические категории здесь выступают: [L0*T-1] - частота, [L1*T-1] - линейная скорость, [L2*T-1] - "площадная" скорость, [L3*T-1] - "объемная" скорость.

"Кинематическая" классификация технологических процессов, характеризуемая физическими категориями, органически связана с известными физическими закономерностями, выраженными через размерности [L; T], т.е. параметры пространства и времени. Для получения классификации физических закономерностей следует основные физические единицы системы СИ записать в размерностях [L; T].

Основные единицы СИ (размерность):

Длина l (метр)	[L]	Температура t (Кельвин)	[L ⁵ T ⁻⁴]
Масса m (килограмм)	[L ³ T ⁻²]	Сила тока I (Ампер)	[L ³ T ⁻³]
Время t (секунда)	[T]	Сила света J (кандела)	[L ⁵ T ⁻⁵]

Производные единицы физических величин, отражающие закономерности реального мира, сводятся в "кинематическую классификацию", представленную таблицей ди Бартини [1]. Рассмотрение "кинематической классификации" позволяет обнаружить общность физических величин для различных явлений и процессов реального мира. В таблице приведены многие известные физические инварианты, позволяющие описывать различные "технологические процессы" взаимодействия: механические, электрические, магнитные и, даже, экологические (биологические). Например, рост живого существа определяется единицей скорости изменения массы [L³T⁻³], эта же величина соответствует силе тока [I]. Одинаковые значения физических величин, отображающие различные процессы являются описательной основой природных явлений. Рассматривая "кинематическую классификацию" обратим внимание на величины, находящиеся в главной диагонали таблицы, это [L T⁻¹]_{*n*} = *V_n*. Если далее ввести "базовую переменную" [L · T⁻¹] - скорость, относя эту переменную не к механической скорости, а к скорости изменения процесса, расстояние - к метрике системы, время - к локальному времени, то можно построить "кинематическую систему", в которой изменяется два измеряемых параметра [V] и [L]. Симметрично преобразовывая таблицу относительно безразмерной величины [L · T⁻¹]₀, получаем формальные структуры "виртуального мира", которые могут оказаться рациональными.

Литература

1. Ди Бартини Р.Л. Некоторые соотношения между физическими величинами. - ДАН СССР, 1965, / 4, с. 861-864.
2. Грановский Г.И. Кинематика резания. - М.: Машгиз, 1948. - 200 с.
3. Клузов И.А. Проектирование роторных машин и линий: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1990, - 320 с.
4. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. - М.: Машиностроение, 1982, - 336 с.

УДК 378.031:621.01

СТУПЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ И КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРОВ В 21 ВЕКЕ**Гусарев В.С., канд. техн. наук***(г. Одесса, Украина)**Stages of formation and proficiency of the engineers in 21 century*

Идеи международного сотрудничества в области инженерного образования привели к стандартизации требования к квалификации специалистов в области техники, в частности - машиностроения. Следуя принятому в Англии и США образцу, специалисты в области культуры, науки и техники приобрели два уровня квалификации: бакалавр и магистр.

В области культуры и гуманитарных наук:

Bachelor of Arts (BA), Master of Arts (MA),

в области естественных и прикладных наук:

Bachelor of Science (BS), Master of Science (MS),

в области инженерных наук:

Bachelor of Engineer (BE), Master of Engineer (ME)

Несколько особняком научно-исследовательская деятельность степенного доктора наук (SD) и доктора философии (PhD): первая присуждается в прикладных и технических науках, вторая - в естественных и гуманитарных.

Дипломы бакалавра в странах ЕС и США обычно получают выпускники колледжей, которые организационно и методически подчинены университетам.

Самыми известными в США вузами, имеющими инженерные колледжи в своем составе являются: Иллинойский университет (ИУ), Массачусетский Технологический институт (МТИ) и Ренсселеровский политехнический институт (РПИ).

Квалификация бакалавра (BE) примерно соответствует квалификации инженера, которая принята стандартами ВУЗов стран СНГ. Особенностью квалификации бакалавра является ориентация специалиста на работу в области эксплуатации технических средств, организации производства и экономической деятельности в сфере реализации (продажи) техники. Срок обучения (BE) четыре года.

Диплом магистра (ME) получают выпускники институтов, университетов, которые уже имеют аттестат бакалавра (BE), прошедшие дополнительный курс обучения в аспирантуре вуза.

Квалификация магистра (ME) предусматривает ориентацию специалиста в области проектирования, конструирования, исследования новой техники, поэтому его подготовка ведется по индивидуальному плану. Такой план обучения аспиранта обычно учитывает его интересы и наклонности, а также характер и глубину предыдущей подготовки. Срок обучения (ME) два года.

Таким образом базовым образованием инженера является обучение по программе бакалавра, бакалавра-технолога и т.п. Сравним программы подготовки бакалавра-технолога по общей специальности машиностроения в США и Украине. В связи с тем, что в США планирование ведется в т.н. учебных единицах (1 у.е. = 15 а.ч.), а в Украине в академических часах, приведем данные в обоих единицах (см. таблицу).

Как видно из итоговых данных таблицы, оба плана идентичны, хотя при подробном рассмотрении различаются. Так, например, обязательными дисциплинами являются статистика и риторика (США), которые должны сформировать у специалиста работу с фактами (уметь собирать, анализировать исходную информацию и после обобщения достаточно убедительно объяснить задачи, требования, условия и т.п. в устной форме). Эти дисциплины отсутствуют в планах подготовки инженеров (Украина). В американских планах существует целый пласт дисциплин по выбору технологического и нетехнологического профиля, (24 у.е.=360 а.ч.), в наших планах выбор отсутствует, но упомянутое число часов предусматривается на углубленную специализацию в рамках технологических дисциплин. Тематика дисциплин по выбору нетехнологического направления весьма далека от специальности. Например, домоводство - выбирают девушки, навыки спасателей в быту, на водах и т.д. - выбор юношей.

Проблема мотивации выбора основной специальности, уровня образования, сроков обучения зависит от многих факторов, которые влияют на поведение "среднего" студента. К таким факторам относятся: исключительно высокая стоимость образования, различие в материальном и социальном положении, в возможности получить престижную работу по окончании колледжа или университета.

Существенное влияние на выбор специальности и уровня образования оказывают бюджетная и социальная политика государства.

Государственные расходы (средние) на образование развитых стран 1990-2000 годы в % ВВП

Франция	6,0
Германия	4,9
Италия	4,9
В Британия	5,3
США	5,4

По мнению аналитиков ЮНЕСКО наиболее престижными являются специальности по так называемым критическим (для общества) технологиям:

- энергосберегающим,
- информационным,
- транспортным,
- биотехническим,
- экологическим, а также в целом машиностроения и приборостроения.

Ориентация общественности на современные особенности образования и квалификации специалистов, по нашему мнению, в ближайшие годы позволит преодолеть кризисные явления глобализации.

Типовые учебные планы инженера-технолога, бакалавра машиностроения.

США Украина у.е. а.ч. у.е. а.ч.	Математика 12 180 15,6 234	Физика 10 150 9,6 144	Информатика 3 45 3,6 54	Статистика 3 45 - -	Риторика 9 135 - -
Английский яз. 12 180 9,6 144	Гуманитарные 9 135 11,3 170	Экономика 3 45 4,8 72	Организ. и управление 6 90 2,4 36	Пром. психоло- гия 3 45 2,0 30	Не техн. выбор 3 45 - -
Матер. и обра- ботка 2 30 7,2 108	Проект. и чер- чение 11 165 12,0 180	Мастерские 2 30 6,6 100	Статика и со- промат 6 90 10,8 162	Энергосистема 3 45 2,0 30	Инструмент и оснастка 3 45 9,0 136
Термодинамика 3 45 3,6 54	Гидравлика(привод) 6 90 3,6 54	Электротехника, электроника 8 120 4,8 72	Проектирование 3 45 6,0 90	Техн. пред. по выбору 21 315 18,0 270	Прочее 141 2115 142,5 2140

Литература

1. Ракитов А.В. Наука, техника, образование России: реальность и перспективы. "Наука и жизнь", 2001, 9, с. 1-9.
2. Парраил В. А. Высшее техническое образование в США (критический анализ). - К.:Вища школа, 1980. -192 с.
3. Гусарев В.С. Глобализация и инженерное образование 21 века./ Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. - Харьков: 2001. с.475-477.

УДК 548.4:621.3.049.774

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КРУГОВ АКВР ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ НАТЯЖЕНИИ

Ерошин С.С., докт. техн. наук, Тарашанский М.Т.

(г. Луганск, Украина)

The paper investigates the law of changing stress of diamond ID saw blade under non-uniform tension which undergoes the law $q + q_0 \cos 2\vartheta$.

Напряженно-деформированное состояние корпуса АКВР оказывает непосредственное влияние на точность отрезаемых пластин, стойкость инструмента, а также на производительность процесса резки. Оно зависит от величины натяжения корпуса инструмента, частоты его вращения и сил резания. Накопленный опыт и исследования многих авторов говорят о том, что недостаточное натяжение корпуса АКВР приводит к снижению точности отрезаемых пластин, а чрезмерное вызывает быстрый износ инструмента или его разрушение.

Отрезной круг представляет собой гибкую кольцевую пластинку с внешним радиусом a и внутренним b , нагруженную по наружному контуру растягивающими усилиями q ($q_0 = 0$), которые назовем натяжением (рис. 1).

Анализ напряженно-деформированного состояния кругов АКВР был начат в работах А.Г.Патратьева [1].

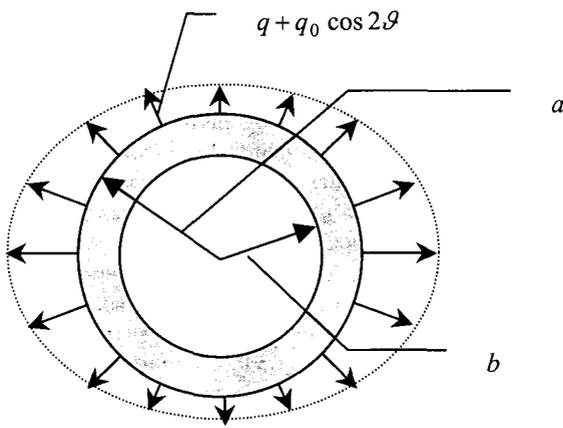


Рис. 1. Расчетная схема напряженного состояния АКВР.

Рассматривая корпус АКВР как кольцевую пластину симметрично растянутую по внешнему контуру, А.Г.Патратьев применил известное решение Ляме для толстостенных труб, с помощью которого нашел распределение напряжений в корпусе АКВР, вызванных силами натяжения.

$$\sigma'_r = \frac{qa^2}{a^2 - b^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right), \quad \sigma'_\theta = \frac{qa^2}{a^2 - b^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right). \quad (1)$$

Здесь будет рассмотрен случай неравномерного натяжения корпуса АКВР по закону $q + q_0 \cos 2\theta$ и будут получены соотношения, связывающие неравномерность натяжения и неравномерность напряжений на режущей кромке. Уравнение напряженного состояния в полярных координатах для функции напряжения j в отсутствие объемных сил имеет вид [2 стр. 85]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \right) = 0. \quad (2)$$

Напряжения, как известно, выражаются через функцию напряжения следующим образом

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2}, \quad \sigma_\theta = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}, \quad \tau_{r\theta} = -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right). \quad (3)$$

Пропорциональный $\cos 2\theta$ интеграл уравнения (2) имеет вид $I(r) = Ar^2 + Br^4 + \frac{C}{r^2}$, причем входящие сюда постоянные определяются условиями $\sigma_r = q_0 \cos 2\theta$ и $\tau_{r\theta} = 0$ при $r = a$, и $\sigma_r = 0$ при $r = b$. В результате получаем

$$\sigma_r = \frac{q_0 a^4}{a^4 - b^4} \left(1 - \frac{b^4}{r^4} \right) \cos 2\theta, \quad (4)$$

$$\sigma_\theta = \frac{q_0}{a^4 - b^4} \left(\frac{a^4 b^4}{r^4} + \frac{2(a^4 + b^4)}{a^2} r^2 - a^4 \right) \cos 2\theta, \quad (5)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{q_0}{a^4 - b^4} \left(\frac{a^4 b^4}{r^4} - \frac{(a^4 + b^4)}{a^2} r^2 + a^4 \right) \cos 2\theta. \quad (6)$$

В отличие от случая равномерно растянутого корпуса АКВР, здесь амплитуда тангенциальных напряжений не является монотонной функцией. При

$$r^* = a \sqrt[6]{\frac{b^4}{a^4 + b^4}} = a \sqrt[6]{\frac{\alpha^4}{1 + \alpha^4}}$$

амплитуда функции σ_θ достигает минимального значения, где $\alpha = \frac{b}{a}$ – относительное отверстие. Поскольку

$\alpha < 1$, то $\alpha^{\frac{2}{3}} < a \sqrt[6]{\frac{\alpha^4}{1 + \alpha^4}} < 1$. Поэтому $b < ba^{\frac{1}{3}} < a\alpha^{\frac{2}{3}} < r^* < a$. Как вытекает из (5) минимальное значение $\sigma_{\theta \min}$ амплитуды равно

$$\sigma_{\theta \min} = \frac{q_0}{1 - \alpha^4} \left(3(1 + \alpha^4)^{\frac{2}{3}} \alpha^{\frac{4}{3}} - 1 \right). \quad (7)$$

Своего наибольшего значения амплитуда функции σ_θ достигает при $r = a$

$$\sigma_{\theta \max} = \frac{1 + 3\alpha^4}{1 - \alpha^4}.$$

На режущей кромке величина амплитуды тангенциальных напряжений равна

$$\sigma_g^{\circ} = \frac{2q_0\alpha^2(1+\alpha^4)}{1-\alpha^4}. \quad (8)$$

Определим относительную неравномерность натяжения как величину отношения $\frac{q_0}{q}$. Тогда относительная неравномерность тангенциальных напряжений на режущей кромке, как это следует из (1) и (8), равна

$$\frac{\sigma_g^{\circ}}{\sigma'_g} = \frac{q_0}{q} \frac{2\alpha^2(1+\alpha^4)}{(1+\alpha^2)^2}. \quad (9)$$

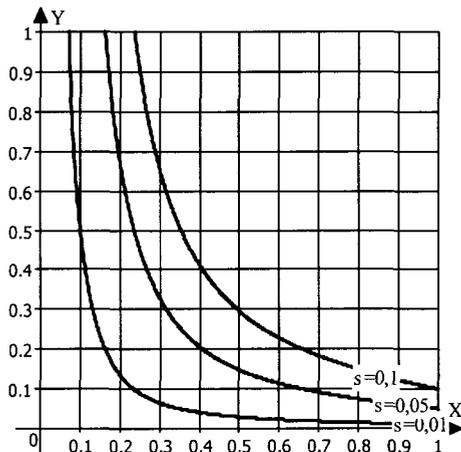


Рис. 2. График зависимости $k(\alpha)$.

Анализ этих зависимостей показывает, что при достаточно широких корпусах АКВР, например $\alpha = 0,3 \div 0,4$ даже малые допустимые значения s (например $s = 0,05$) позволяют разрешить относительную неравномерность натяжения до $k = 0,3$ при $\alpha = 0,3$.

Литература

1. Патратьев А.Г. Исследование процесса разрезания слитков германия и кремния алмазными дисками с внутренней режущей кромкой в полупроводниковом производстве. Дис. канд. техн. наук. – М.: МИЭМ, 1967.- 208 с.
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

УДК 548.4:621.3.049.774

ПРИЧИНЫ ИЗНОСА КРУГОВ АКВР

Ерошин С.С., докт. техн. наук, Тарашанский М.Т.

(г. Луганск, Украина)

The paper considers the possible reasons for wear of diamond ID saw blade, its deformation caused by cutting forces being stated as the main reason.

По сравнению с резкой проволокой, применяемой при производстве солнечных батарей, алмазные отрезные круги с внутренней режущей кромкой (АКВР) обеспечивают большую точность и, следовательно, меньшие затраты на дальнейшую обработку, и потому находят широкое применение при разрезке слитков полупроводниковых материалов на пластины.

Одной из основных характеристик АКВР является стойкость, определяемая как количество актов резания одним инструментом без потери точности отрезаемых пластин. В многочисленных работах, посвященных исследованию причин износа кругов АКВР, выделяются несколько основных факторов, влияющих на стойкость инструмента.

Основной причиной искажения формы отрезаемых пластин является деформация корпуса АКВР, вызванная силами резания [2,3]. Увеличение этих сил вызывает быстрый износ режущей кромки, а значит, снижение точности отрезаемых пластин. Величина сил резания является функцией условий резания, т. е. скорости резания, скорости поперечной подачи и диаметра слитка, причем эмпирические зависимости показывают, что с увеличением скорости резания сила уменьшается, а увеличение подачи и диаметра слитка приводит к ее увеличению. Кроме перечисленных факторов на величину сил резания оказывает влияние схема резания. При применении традиционной схемы резания для обработки сапфира стойкость инструмента составляет всего два – три реза [5]. Придание слитку вращения позволяет проводить качественную резку монокристаллов сапфира [1]. Можно показать, что в результате вращения монокристалла происходит уменьшение сил резания за счет сокращения длины дуги контакта и изменения формы среза.

В течение одного оборота инструмента, силы резания носят импульсный характер, который объясняется присутствием радиальных биений режущей кромки и вибраций станка. Чем больше радиальные биения, тем больше скважность и больше амплитуда импульсов. Это доказывает, что статические погрешности геометрии режущей кромки инструмента (некруглость), приводят к ударному взаимодействию алмаза с монокристаллом. В работах [7,9,10,11] указывается на то, что увеличение радиальных биений режущей кромки вызывает ухудшение геометрии отрезаемых пластин и стойкости инструмента, что согласуется с результатами наших исследований [4,5].

Однако, в работах Запорожского В.П., путем статистического моделирования [6], сделан вывод о преимущественно ударно-вибрационном механизме разрушения монокристалла алмазными зернами и установлена область оптимальных значений радиальных биений, которая обеспечивает максимум стойкости отрезных кругов при резке слитков большего диаметра.

Сила резания увеличивается по мере износа режущей кромки инструмента, что, в свою очередь, приводит к снижению точности отрезаемых пластин [8].

Современные АКВР имеют многослойные алмазосодержащие покрытия, что допускает заточку инструмента, значительно повышающую его стойкость. Зависимость неплоскостности отрезаемых пластин от числа резов, сделанных отрезным кругом, носит циклический характер [4]. Началом цикла является заточка инструмента. Она позволяет вскрыть новые алмазные зерна, обнажить режущие кромки абразива. После заточки неплоскостность отрезаемых пластин уменьшается. Затем наблюдается период нормального износа инструмента, который, в зависимости от конкретных условий, длится 150...200 резов и к концу периода стойкости составляет 100...110 резов. При этом неплоскостность отрезаемых пластин непрерывно увеличивается. Если в конце этого цикла не произвести очередную заточку АКВР, то начнется катастрофический износ инструмента.

По мере увеличения номера цикла, точность отрезаемых пластин постепенно уменьшается. Если очередная заточка не приводит к повышению точности пластин, то производят подтягивание корпуса АКВР. Исследования, выполненные в производственных условиях, показали, что современные отрезные круги позволяют сделать два – три дополнительных натяжения и выходят из строя по следующим причинам: износ режущей кромки, пластические деформации корпуса, полное разрушение корпуса при натяжении АКВР или в процессе работы.

Износостойкости абразивного инструмента, оснащенного природными или синтетическими алмазами, посвящено большое число фундаментальных работ. По данным работы [12] износ природных алмазных зерен происходит в результате сколов и истирания с образованием площадок износа. Обладая гладкими гранями, они хуже, чем синтетические удерживаются в связке и под действием повышенных нагрузок расшатываются, что облегчает их вырыв. Замечено, что при шлифовании твердых сплавов износ зерен синтетических алмазов заключается в микровыкрашивании мельчайших частиц с удержанием в связке почти до полного износа. Такое выкрашивание способствует образованию новых режущих кромок и обеспечивает самозатачивание.

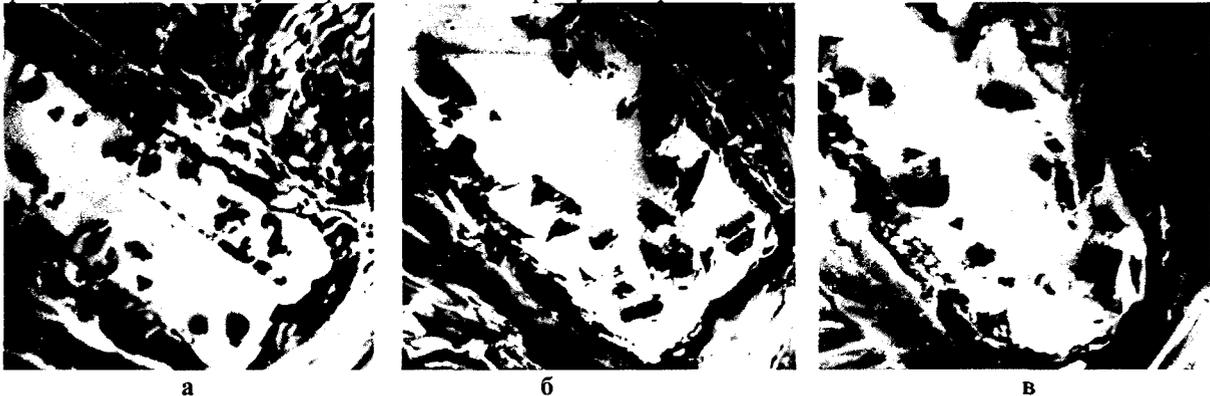


Рис. 1. Поперечные шлифы режущих кромок отрезных кругов (Увеличение $\times 80$).

Наиболее вероятным износом режущей кромки кругов АКВР по мнению некоторых авторов является вырыв зерен из связки и частичный отрыв алмазогальванического покрытия от корпуса круга на протяженных участ-



Рис. 1. Внешний вид изношенного отрезного круга.

ках режущей кромки, что можно объяснить недостаточной прочностью никелевой связки алмазоносного слоя кругов АКВР, по сравнению с традиционным алмазным инструментом.

Изучение шлифов режущих кромок с помощью электронного сканирующего микроскопа USMU3 (Япония), показало, что только у части (8 – 10% от общего числа) отрезных кругов режущая кромка полностью изнашивается. При этом на цилиндрической поверхности режущей кромки отсутствуют алмазные зерна, а связка может отслаиваться от основы (рис. 1а).

В результате изучения шлифов не были обнаружены алмазные зерна с характерными признаками абразивного, адгезионного или другого вида износа. Такие отрезные круги при разрезке кремния диаметром 150 мм имеют наибольшую стойкость, 500...750 резов. Для сравнения на (рис. 1в) приведена фотография поперечного шлифа нового отрезного круга.

У основной массы (до 80%) вышедших из строя отрезных кругов на режущей кромке присутствует достаточное количество алмазов (рис. 1в), но вблизи режущей кромки образо-

вались пластические деформации. На рис. 2 приведена фотография такого отрезного круга, снятого со станка.

Около 10...12% отрезных кругов разрушаются в результате чрезмерного натяжения корпуса либо еще во время его натяжения, либо во время работы.

Таким образом, основная часть отрезных кругов (почти 90%) выходит из строя по причине образования пластических деформаций корпуса или его разрушения. Это подтверждает необходимость исследования напряженного состояния и оптимизации натяжения корпуса АКВР.

Литература

1. Алексахин Г.Ф., Алябьев И.В., Макаров С.Ю. Механическая обработка кристаллов сапфира // Электронная промышленность. - 1980.- № 10. – С. 58 - 61.
2. Голиков В.И., Ерошин С.С. Исследование силовых зависимостей процесса алмазной резки слитков кремния // Сб. научных трудов по проблемам микроэлектроники/ Труды ин-та МИЭТ.- 1975.- вып. XXIII.
3. Голиков В.И., Ерошин С.С., Приходько В.Л. Влияние сил резания на точность отрезаемых пластин/ Синтетические алмазы. - 1975.- № 4.- С. 46-48.
4. Ерошин С.С. Исследование технологических факторов процесса алмазной резки кристаллов кремния // Пути совершенствования технологии изготовления алмазного инструмента на базе механизации и автоматизации производственных процессов. - Киев. Республиканское научно-техническое совещание: Тез.докл.- 1976.- С. 66-68.
5. Ерошин С.С., Приходько В.Л., Торба М.И. Исследование силовых и динамических зависимостей процесса алмазной резки монокристаллов кремния // Электронная техника.- 1985.- сер. 7.- вып. 1(128) С. 6-8.- ДСП.
6. Запорожский В.П. Статистическое моделирование процесса резки полупроводниковых слитков алмазными кругами // Технология производства электронных приборов: Межвуз. сб.- М.: МИРЭА.- 1978. – № 1.- С. 79-89.
7. Кривошлыков А.Н., Шевцов А.Н. Влияние радиального биения круга АКВР на силовые факторы процесса резания и качества обработки // Алмазы.- 1974.- вып. 3, С. 36-38.
8. Миненко Э.М. Исследование процесса прецизионной резки пластин полупроводниковых приборов. Автореф. Дис. канд. техн. наук. - Тула: ТПИ, 1980. - 28 с. ДСП.
9. Скрипко Г.Ф., Таланцев Л.Л., Трёмбовецкий А.Н. и др. Выбор режимов резания сапфира кругами АКВР // Синтетические алмазы.- 1973.- вып. 2.- С. 50-51.
10. Сухобрус А.А., Таланцев Л.Л. Повышение эффективности применения алмазных отрезных кругов с внутренней режущей кромкой // Синтетические алмазы – ключ к техническому прогрессу. - Киев: Наукова думка, 1977.- ч. 2.- С. 146-149.
11. Таланцев Л.Л., Трёмбовецкий А.Н. Некоторые особенности процесса резания алмазными кругами с внутренней режущей кромкой // Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей приборов и машин.- Тез. докл. Всесоюз. конф.-ия.- М.: МВТУ им. Баумана, 1973, - С. 176-181.
12. Теслев А.Н., Бурко В.В., Вислоух В.Е. Влияние числа оборотов и натяжения отрезного круга на ширину нарезаемых полупроводниковых пластин // Синтетические алмазы.- 1973, № 1.- С. 52-54.

УДК.621 7.043

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Пилипець М.І., канд.техн.наук, Васильків В.В.

(м. Тернопіль, Україна)

Peculiarities of estimation technology bylity of screw and ring blanks shaping. Pilipech M. I., Vasytkiv V. V. The thesis deals with problems of effective investigation in shaping of machine part screw and ring blanks. Analytical dependencies for analysis and estimation of them technology bylity the process production are suggested.

Економічна ефективність застосування того чи іншого варіанту конструкції заготовок і методу їх формоутворення у кожному конкретному випадку повинні визначатися розрахунками раціональності заготовок і процесів їх механічного оброблення. Вони реалізуються використанням показників технологічності, яким завжди приділялась значна увага [1-8].

Однак серед існуючих типів і видів заготовок деталей машин обґрунтованим є застосування гвинтових заготовок (ГЗ) (а також окремої їх групи – навивних (НЗ), які означені за особливістю основної операції їх формоутворення) циліндричної та профільної форм для деталей класу “тіла обертання”, що вимагає необхідності обумовлення структури оцінювання технологічності їх конструкцій та технологій виготовлення. У цьому плані, проведені аналіз і дослідження показали можливість використання загальнопоширених і спеціальних показників та уведення нових.

Як відомо, технологічність конструкції виробу (ТКВ) [5, 6] – це сукупність властивостей виробу, які визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат у процесі виробництва, експлуатації і ремонту для заданих показників якості і умов виконання своїх функцій, і згідно праці [8], технологічність будь-якого процесу – це зручність і легкість його реалізації, які дозволяють виконати процес, що забезпечує отримання заданих результатів, з найменшими витратами живої і опредметненої праці. ТКВ в основному залежить від п’яти груп факторів: властивостей виробу, заданої якості, умов виконання робіт у виробництві, експлуатації і ремонті. Загалом система показників ТКВ охоплюється 9 групами факторів і описується 51 загальним і понад 100 частковими коефіцієнтами [6]. В цілому система оцінок являє собою граф-дерево показників і коефіцієнтів, яке все більш “розростається” і доповнюється на даний час, так як кількість ознак предмета і умов користування ним є нескінченним.

Аналіз технологічності ГЗ досить спрощено розглянуто у роботі [9]. Для оцінки особливостей технологій використовують такі показники: а) Коефіцієнт нерівномірності витягування стрічки по зовнішньому і внутрішньому ребрах спіралі: $\psi = (r + B) / r = \pi D_0 / (\pi d_0)$; б) Коефіцієнт кроку витка ГЗ: $K_T = T / D_0$, де T - крок спіралі; в) Питома висота: $b' = B / H$; г) Відносний радіус згину $r' = r_0 / B$ і радіус нейтрального шару деформації $\rho_0 = \sqrt{r_0^2 + Br_0}$; е) Відносна товщина заготовки спіралі: $\delta_h = 1 / b'$; ф) Відносне видовження $\delta_{сп} = 0,5(\sqrt{\psi} - 1)$. Стійкість смуги у процесі формоутворення ГЗ (ПФГЗ) оцінюють такими параметрами: стійкість стрічки у процесі згину: коефіцієнтом $K_{y,u} = \delta^3(\psi - 1)$ і величиною критичного зусилля згину $P_{кр}$; коефіцієнт стійкості вальцювання: $K_c = (T/D) \cdot \delta_h \cdot L_1 / L_2$, де δ_h - відносна товщина заготовки; L_1, L_2 - відповідно довжина одного витка за зовнішнім і внутрішнім діаметрами і коефіцієнт стійкості для операції розгину спіралі на крок: $K_{y,p} = \delta B^2 / [T^2(\psi - 1)]$, та за допомогою інших показників.

Недоліком вказаних показників є те, що поняття технологічності трактується і підмінюється лише деякою частиною сукупності властивостей ГЗ. Вплив інших факторів, як і властивостей цих заготовок і технологічних процесів їх виробництва, частково враховується введеними коефіцієнтами, які однак не мають вартісного обґрунтування. Тому необхідно виявити показники, які мотивовано співвідносяться з особливостями конструкції ГЗ та технологіями виготовлення на основі перетворення їх значень в самостійні комплексні вартісні величини.

У цьому зв’язку, доцільним є використання – коефіцієнта технологічної складності K_{mc} при виготовленні навиванням гвинтових заготовок. Фізичну суть коефіцієнта можна виразити аналітичною залежністю

$$K_{mc} = (\psi - 1)^x K_e,$$

де x – показник степеня функції; K_e – коефіцієнт, який враховує параметри процесу формоутворення.

Визначаючи експериментально коефіцієнт технологічної складності, доцільно використовувати новий критерій технологічності НЗ – зведену висота НЗ $b_{зв}$, яка рівна

$$b_{зв} = (\psi - 1)^x K_e b'$$

Таким чином, суть експериментальних досліджень буде зводитися до визначення нових зазначених вище параметрів, залежно від цілого ряду факторів: марки матеріалу, розмірів НЗ, технологічних, економічних, фізичних і інших факторів.

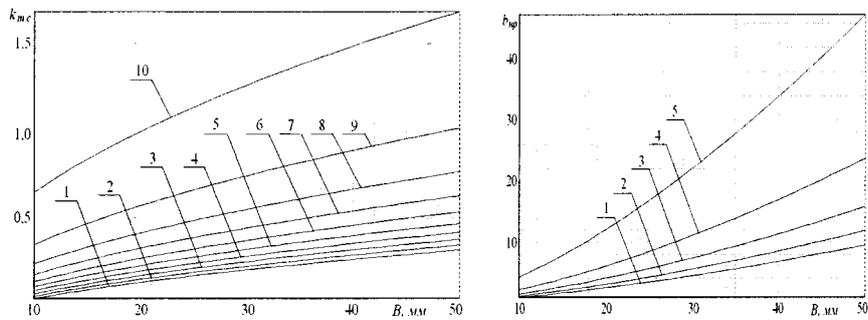


Рис.1. Залежність коефіцієнта технологічної складності від ширини стрічки

Номер графіка.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
г, мм.....	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Рис.2. Залежність коефіцієнта зведеної висоти від ширини заготовки навивної на оправи різного діаметра

Номер графіка.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
г, мм.....	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Теоретичні залежності коефіцієнта технологічної складності (K_{mc}) від ширини стрічки і внутрішнього радіуса НЗ, розраховані з використанням спеціального програмного забезпечення, показано на рис. 1. На рис. 2 подані графіки залежності зведеної висоти $b_{зв}$ для різних параметрів НЗ. Тут $B=10\dots 50$ мм, $r=7\dots 100$ мм, $H=2$ мм.

Слід відзначити, що однак вказані критерії не враховують енергоміскість ПФГЗ, мінімізація якої є особливо актуальним завданням. Тому, доцільним є використання коефіцієнта k_N , величина якого в загальному випадку визначається так:

$$k_N = F/\Pi_C = f(k_M, \beta_\sigma, \sigma_S, \Pi, \mu_0, \mu_p, R, \rho_0, r_0, r_1, B, b', \gamma_P, r')$$

де k_N - коефіцієнт, який визначається для заданих умов експериментально, його фізичний зміст – потужність, яка витрачається на формування одиниці об'єму НЗ; F - енергосилова функція; Π_C - продуктивність формування НЗ; $k_M, \beta_\sigma, \sigma_S, \Pi, \mu_0, \mu_p, R, \rho_0, r_0, r_1, B, b', \gamma_P, r'$ - параметри які враховують особливості технологічної схеми формування НЗ.

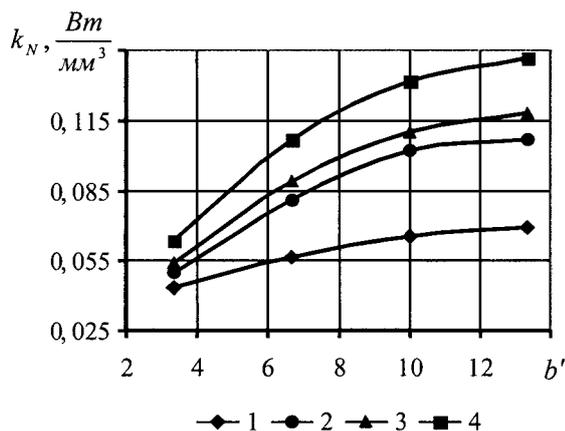


Рис. 3. Залежність коефіцієнта k_N від величини питомої висоти b' для різних технологічних схем формування НЗ: 1 – неперервне навивання при знятті осевого підтискання після навивання першого витка; 2 – неперервне навивання при наявності осевого підтискання до сходу захоплюючої втулки з оправи; 3 – дискретне навивання стрічки на оправу з перпендикулярним розміщенням осей оправи й ступеневого ролика; 4 – дискретне навивання стрічки за допомогою ступеневого ролика, вісь якого розміщена під кутом до осі оправи (“косого диску”).

способу їх функціонування можуть бути розчленовані за кількістю параметрів оцінювання взаєморозміщення відносно вибраного напрямку, якітетом точності, величини шляху, швидкості і зусиль. Потім необхідно вивести переважні ряди. Може бути визначена ТС кожного ряду.

Загалом, технологічність ПФГЗ досягається дотриманням принципу “мінімуму рухів” [8], використанням

відпрацьованих принципів і найбільш поширених форм їх раціоналізації.

Література

1. ГОСТ 14.201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкции изделия.- М., 1983.
2. ГОСТ 14.202-73. Правила выбора показателей технологичности конструкции изделий.- М., 1974.
3. ГОСТ 14.202-73. Правила обеспечения технологичности конструкций сборочных единиц.- М., 1974.
4. ГОСТ 14.202-73. Правила обеспечения технологичности конструкций деталей.- М., 1974.
5. ГОСТ 14.205-83 (СТ СЭВ 2063-79). Технологичность конструкций изделий. Термины и определения.- М., 1984.
6. Технологичность конструкций изделий. Справочник. // Под ред. Ю. Д. Амирова. - М.: Машиностроение, 1985.
7. Компоненко В. Г. и др. Оценка технологичности и унификации машин.-М: Машиностроение, 1986.
8. Жасимов М. М. технологичность процессов автоматизированного сборочного производства: "Создание и внедрение на предприятиях Минсельхозмаша переналаживаемых (гибких) средств автоматизации и роботизации процессов сборки". - Павлодар, 1986.
9. Механізми з гвинтовими пристроями // Гевко Б.М., Данильченко М.Г., Рогатинський Р.М., Пилипець М.І., Матвійчук А.В. – Львів: Світ, 1993.– 208 с.

УДК 621.923

ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Новиков Г.В., канд. техн. наук, Дитиненко С.А.

(г. Харьков, Украина)

In activity the formation of a roughness of job surfaces is reviewed at diamond abrasive processing

Проблеме управления шероховатостью обрабатываемых поверхностей при алмазно-абразивной обработке в научно-технической литературе уделено большое внимание. Однако, при решении конкретных практических задач, постоянно возникают сложности по определению условий обработки, обеспечивающих уменьшение параметров шероховатости R_a (R_z). В связи с этим, рассмотрим закономерности формирования шероховатости обрабатываемых поверхностей при алмазно-абразивной обработке. В нашей работе [1] получена расчетная зависимость для определения параметра шероховатости R_a

$$R_a = 2 \cdot \sqrt[5]{\frac{(1-\eta)^4}{(1+\eta)^2} \cdot \frac{\pi^2 \cdot \bar{x}^6 \cdot V_{дет}^2 \cdot \rho}{\text{tg}^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2}}, \quad (1)$$

где \bar{x} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен в круге; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с; γ - половина угла при вершине конусообразного зерна; η - безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерна круга (изменяется в пределах 0...1); $V_{дет}$ - скорость детали, м/с; $\rho = \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}} \right)$; $R_{кр}, R_{дет}$ - соответственно радиусы круга и детали, м.

Зависимость (1) включает неопределенный параметр η , который оказывает на R_a существенное влияние.

Для оценки безразмерного коэффициента η при шлифовании покрытия ПГ-10Н-01(HRC 60...62) с непрерывной электроэрозионной правкой алмазного круга на металлической связке М2-01 установлена зависимость параметра шероховатости R_a от зернистости круга \bar{x} , рис.1. Используя зависимость (1), для исходных данных: $m = 100$; $V_{кр} = 28$ м/с; $V_{дет} = 0,6$ м/мин; $\sqrt{\rho} = 0,2$ мм^{-0,5} и значений R_a и \bar{x} (взятых из рис.1) рассчитаны значения η , табл. 1.

Таблица 1

Расчётные значения η

\bar{x} , мм	0,09	0,14	0,225
η	0,02	0,13	0,2

С увеличением зернистости \bar{x} коэффициент η увеличивается. Это связано с увеличением нагрузки, действующей на отдельное зерно, и соответственно износа зерна x .

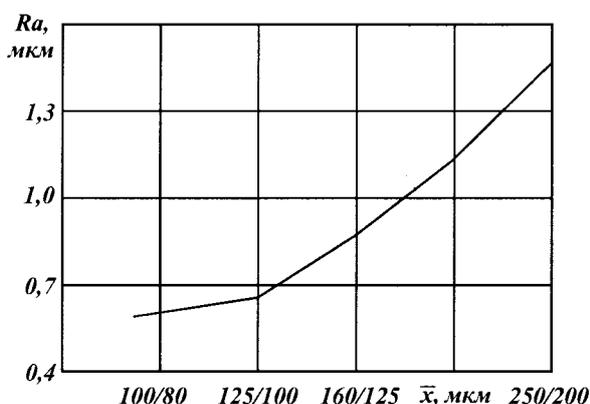


Рис.1. Зависимость параметра шероховатости обработки R_a от зернистости круга \bar{x} : $V_{дет}=0,6$ м/мин; $V_{кр}=28$ м/с.

Из зависимости (1), следует возможность существенного уменьшения параметра шероховатости R_a за счёт изменения режимов шлифования и увеличения концентрации круга m . Последний фактор предполагает увеличение поверхностной концентрации зёрен k . В наибольшей степени это реализуется в алмазных кругах, изготовленных, например, электрогальваническим путём, имеющих примерно одинаковую высоту выступания зёрен над уровнем связки. По сравнению с обычными алмазными кругами, изготовленными методом порошковой металлургии, поверхностная концентрация зёрен увеличивается до 5-ти раз и более. Согласно зависимости (1), в связи с увеличением параметра m , это ведёт к уменьшению параметра шероховатости обработки R_a до 10 раз.

Такой – же эффект имеет место от применения притиров с шаржированными в них абразивными или алмазными зёрнами и шлифовальных лент, а также от применения свободного абразива (паст). В указанных случаях за счёт одновысотного выступания зёрен увеличивается поверхностная концентрация зёрен k , что увеличивает m и уменьшает R_a . Исходя из (1), наибольшее влияние на R_a оказывает зернистость \bar{x} . Поэтому за счёт выбора зернистости алмазного порошка обеспечивается требуемая шероховатость обработки.

Примерно к одинаковому выступанию зёрен над уровнем связки алмазного круга можно прийти, если использовать относительно мягкие (эластичные) связки, обеспечивающие “утопание” зёрен под действием нагрузки при шлифовании. Этим можно объяснить то, что шлифование алмазными кругами на органических связках позволяет существенно уменьшить параметр шероховатости R_a по сравнению с шлифованием алмазными кругами на более прочных металлических связках.

Существуют экспериментальные данные, согласно которым, наоборот, шлифование алмазными кругами на металлических связках обеспечивает уменьшение параметра шероховатости R_a . Исходя из зависимости (1), это связано с увеличением величины η и величины линейного износа зёрен x . Следовательно, эффект уменьшения параметра R_a при шлифовании алмазными кругами на металлических связках состоит в увеличении x , а при шлифовании алмазными кругами на органических связках – в возможности “утопания” зёрен в связку, уменьшении разновысотности выступания вершин зёрен и увеличении количества одновременно работающих зёрен (условно в увеличении параметра m). Этим объясняются различия в формировании шероховатости обработки при использовании различных связок алмазных кругов.

Определим значения безразмерного коэффициента η при внутреннем шлифовании твёрдого сплава ВК15 алмазными кругами на органической В2 – 01 и металлической М2 – 01 связках, исходя из упрощённой зависимости

$$\eta = \sqrt[3]{\frac{M}{q \cdot Q}} \quad (2)$$

и экспериментальных значений удельного расхода алмаза q и производительности обработки Q , рис.2. [2]. Параметр M , рассчитанный для данных условий шлифования, равен $400 \text{ мг/г} \cdot \text{мм}^3/\text{мин}$.

Таблица 2

Расчётные значения η

Связка круга	$q \cdot Q, \text{ мг/г} \cdot \text{мм}^3/\text{мин}$		η	
	$\tau = 2 \text{ мин}$	$\tau = 10 \text{ мин}$	$\tau = 2 \text{ мин}$	$\tau = 10 \text{ мин}$
В2 – 01	7912	3780	0,37	0,47
М2 – 01	2175	1177	0,57	0,7

С течением времени обработки τ коэффициент η увеличивается (табл.2), что свидетельствует о затуплении режущих зёрен. Для алмазного круга на органической связке В2 – 01 коэффициент η меньше, т.е. острота зёрен выше. Этим можно объяснить более высокую производительность обработки.

Уменьшение η , исходя из зависимости (1), должно привести к уменьшению параметра шероховатости R_a . Однако, как установлено экспериментально, параметр R_a при шлифовании алмазным кругом на органической связке В2 – 01 меньше, чем при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М2 – 01. Следовательно, коэффициент η в данном случае не определяет условия формирования шероховатости обработки. Как отмечалось выше, уменьшение параметра R_a при шлифовании алмазным кругом на органической связке связано с увеличением числа одновременно работающих зёрен, за счёт их “утопания” в связку, т.е. с увеличением параметра m в зависимости (1). Дополнительным подтверждением данного суждения являются значения коэффициента η (табл.3), полученные при внутреннем шлифовании твёрдого сплава ВК15 алмазным кругом на металлической связке М2 – 01 с его непрерывной электроэрозионной правкой, рис.2 [2].

Таблица 3

Расчетные значения η

Сила тока I , А	$q \cdot Q$, мг/г · мм ³ /мин		η	
	$\tau = 2$ мин	$\tau = 10$ мин	$\tau = 2$ мин	$\tau = 10$ мин
0	2175	1177	0,57	0,7
30	2700	1590	0,52	0,63

С увеличением силы тока I коэффициент η уменьшается, что ведёт к увеличению производительности обработки. При $I = 30$ А и $\tau = 2$ мин производительность обработки при шлифовании алмазным кругом на металлической связке примерно равна производительности обработки при шлифовании алмазным кругом на органической связке. При этом значения коэффициентов η различны, табл.2, табл.3. При шлифовании алмазным кругом на органической связке коэффициент η меньше, т.е. выше острота зёрен.

Исходя из аналитической зависимости [1]

$$Q = \frac{8,73 \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot m \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{t} \cdot (1 - \eta^2)}{tg^2 \gamma \cdot \bar{x}^3 \cdot \sqrt{\rho}} \cdot \left(\frac{P_{y1}}{HV} \right)^{1,5} \quad (3)$$

производительность обработки Q тем больше, чем больше параметры η и P_{y1} . Значения $(1 - \eta^2)$ для двух рассматриваемых кругов отличается мало, а $P_{y1}^{1,5}$ - более существенно. Следовательно, Q для круга на органической связке должно быть меньше. Увеличение Q до значения, соответствующего производительности шлифования алмазным кругом на металлической связке, возможно за счёт увеличения количества одновременно работающих зёрен, т.е. увеличения параметра m в зависимости (3).

Из этого следует, что при шлифовании алмазными кругами на относительно малопрочных органических связках переменными параметрами процесса следует рассматривать как η , так и количество одновременно работающих зёрен в связки с их “утопанием” в связку круга. При шлифовании алмазными кругами на металлических связках “утопание” зёрен в связку несущественно и переменным параметром является лишь η .

Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.
2. Фадеев В.А. Алмазное шлифование твердых сплавов с введением в зону резания дополнительной энергии постоянного тока. – Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Харьков, 1995. - 21с.

УДК 621.02.001.63

ФАСОННОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ РК-ПРОФИЛЬНЫХ ВАЛОВ

Емельянов С.Г., докт. техн. наук, Куц В.В., канд. техн. наук,
Шитиков А.Н.
(г. Курск, Россия)

Shaped milling as one of ways of obtaining of PK-profile arbors

Валы с некруглым профилем для передачи крутящего момента пытались использовать давно. Однако, вследствие трудности получения соединения с некруглым профилем были вытеснены шпоночными и шлицевыми. С развитием технологических средств и способов получения изделий было спроектировано соединение, чей профиль позже получил название равноосного контура (рис.1).

В процессе исследования такого рода соединений был выявлен ряд положительных качеств [1]:

а) РК-профильные валы обладают несущей способностью в 1,2 - 1,3 раза выше, чем шлицевые в соединении-

ях с зазором и в 2 раза выше, чем шлицевые соединения с натягом. Если несущую способность оставить без изменений, то масса ступени вала может быть уменьшена на 20 – 40%. В валах с РК-профилем отсутствуют

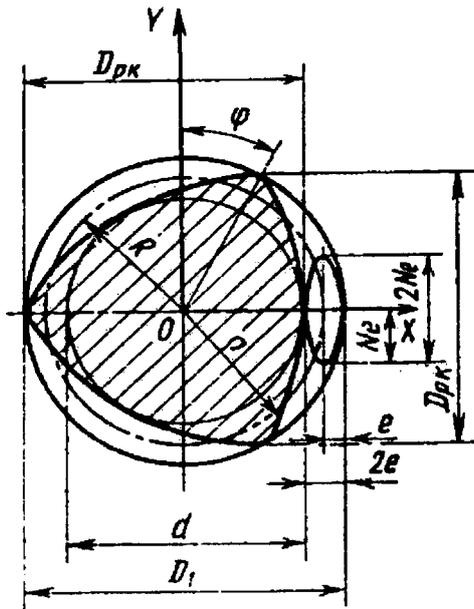


Рис.1. РК-профиль:

R – средний радиус РК-профиля;
 e , N , φ – соответственно его эксцентриситет, число граней (кратность) и угловой параметр;
 ρ – радиус-вектор;
 d – диаметр вписанной окружности;
 D_1 – диаметр описанной окружности;
 D_{PK} – диаметр средней окружности.

острые переходы, характерные для шпоночных и шлицевых соединений. Это обстоятельство позволяет использовать пустотелые валы, так как концентрация напряжений исключается. РК-профильное соединение имеет более высокий КПД, чем шпоночное или шлицевое вследствие отсутствия циклического скольжения. Увеличение КПД позволяет уменьшить расход энергии на передачу крутящего момента. Для РК-профильного соединения характерно наличие явления самозаклинивания, которое позволяет увеличивать изгибную жёсткость деталей соединения. Благодаря этому, возможно уменьшение частоты и амплитуды колебаний, что, в свою очередь, приводит к снижению уровня шума работающих узлов.

б) Использование валов с РК-профилем позволяет в некоторых случаях уменьшить длину вала по сравнению с длиной шлицевого вала, а также длину корпуса передачи.

в) На РК-профильных валах и ступицах можно применять упрочняющие технологии, а также напыление износостойких материалов с последующей их обработкой.

г) Профили с непрерывными кривыми и нечётным числом граней имеют диаметр средней окружности $2R = D_{PK}$. Это даёт возможность при измерении и контроле D_{PK} применять универсальные средства, используемые при измерении и контроле круглых валов.

д) В инструментальном производстве применение РК-профильного соединения в дисковых, червячных, цилиндрических и других фрезах повышает их прочность и стойкость до 50%.

е) Изготовление РК-профиля, по данным зарубежных источников, обходится на 40-50% дешевле, чем шлицевых.

В основном РК-профильные соединения предназначены для передачи крутящего момента сопряжёнными поверхностями деталей машин, режущих и вспомогательных инструментов. Эти соединения могут быть выполнены с гарантированным зазором или натягом, а также с переходными посадками. Поверхности деталей, входящих в РК-профильное соединение, могут иметь как цилиндрическую, так и конусообразную форму, а отверстия с РК-профильной поверхностью – сквозными и глухими. В цилиндрических РК-профильных соединениях с зазором допускаются относительные осевые перемещения деталей, как при отсутствии нагрузки, так и под действием нагрузки. Помимо этого РК-профильные соединения эффективно используются для точной передачи вращательного движения при относительно небольшом крутящем моменте. Кроме того, их можно использовать в реверсивных механизмах.

Всё выше сказанное свидетельствует о том, что необходимо сделать производство РК-профиля более доступным. Существует несколько способов получения наружного РК-профиля. К ним относятся фрезерование, протягивание, шлифование, точение. Однако, для формирования наружного РК-профиля данными методами необходимо использование так называемых механизмов-построителей. Только с помощью данных механизмов возможно передать заготовке или инструменту сложное движение, в результате которого и получается необходимый профиль. Одним из предлагаемых вариантов решения данной проблемы является использование фасонного инструмента для получения вала с РК-профилем. В результате фасонного фрезерования отпадает необходимость в механизмах-построителях и обработку можно вести на обычном горизонтально-фрезерном станке. Используя источники [2,3,4] был проведён упрощённый расчёт основного времени на обработку одинаковых РК-профильных валов существующими и предлагаемым методами, который показал целесообразность предлагаемого варианта получения РК-профиля. Так, например, основное время при черновом точении стандартным резцом вала диаметром 50 мм и длиной 500 мм получается в среднем 5,6 минуты. При фрезеровании цилиндрической фрезой время на обработку вала получается равным 1 минуте. Фасонное фрезерование позволяет провести обработку вала с теми же параметрами за 0,6 минуты.

Наиболее привлекательной конструкцией фрезы для фасонного фрезерования РК-профилей является фасонная фреза, оснащённая СМП. Процесс проектирования данных фрез включает решение ряда вопросов, связанных с их конструкцией, изготовлением и эксплуатацией. В настоящее время отсутствие должного внимания к таким инструментам, а также отсутствие методик их проектирования, не позволяет широко использовать метод фасонного фрезерования РК-профиля.

По некоторым операциям обработки заготовок резанием стоимость инструмента составляет значительную часть от стоимости операции. Поэтому одним из путей снижения себестоимости обработки является сокраще-

ние затрат на проектирование, изготовление и обслуживание металлорежущего инструмента, а также применение высокопроизводительного инструмента с максимальным использованием его ресурсов. Основной критерий оценки – экономическая эффективность от использования инструмента. Уменьшение эксплуатационной стоимости осуществляется путём снижения затрат, связанных с быстрым восстановлением режущей способности инструмента; уменьшение времени на восстановление; сокращение машинного времени.

Существующие методики проектирования инструментов не удовлетворяют изложенным выше требованиям. Наиболее целесообразным представляется проектирование на основе геометрической теории формирования поверхностей, как отвечающее требованиям современного производства [5]. Суть данной методики проектирования состоит в создании математической модели проектирования и изготовления инструментов, оснащённых СМП, и реализации на основе этой модели системы автоматизированного проектирования и изготовления инструментов на базе персональных компьютеров и станков с ЧПУ. В рамках математической модели решаются следующие задачи: единое представление детали в системе; расчёт пространственной установки СМП в корпусе фрезы с обеспечением желаемых значений углов резания вдоль режущих кромок СМП, параметров срезаемых слоёв в процессе работы, параметров остаточных слоёв; оценки спроектированной фрезы путём численного моделирования её работы.

Литература

1. А.И.Тимченко. РК-профильные соединения и их применение в различных отраслях промышленности //СТИН.1993. N2
2. А.И.Тимченко. Новый способ обработки профильных валов и отверстий с равноосным контуром на токарном станке // Вестник машиностроения. 1981. N9.
3. Режимы резания металлов. Справочник. Под ред. Барановского Ю.В. Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1972
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник / В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990
5. Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 391 с.

УДК 621.919.2 (07)

АНАЛИЗ НАГРУЗКИ РЕЖУЩИХ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ГРАННЫХ ОТВЕРСТИЙ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ В ДЕТАЛЯХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Селезнев Ю.Н., канд. техн. наук

(г. Курск, Россия)

The analysis of load cutting cog of drive at an allowance of foramens of large length in parts of drill rigs

В конструкциях буровых установок, выпускаемых в настоящее время ОАО «Геомаш», используются детали, имеющие внутренние посадочные отверстия гранной формы большой протяженности. Анализируются детали (ЛБУ – 16- 16 и УБР 12.12.04.001 с поперечным сечением, представленным на рисунке 1) с диаметром отверстия (\varnothing заг.) в заготовке 83 мм и диаметром цилиндрической части (\varnothing дет.) готового отверстия 100 мм.

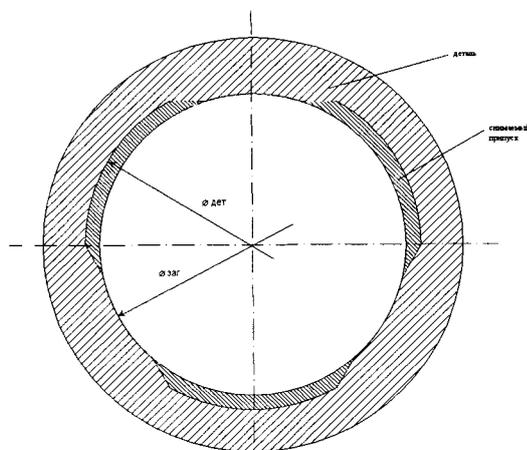


Рис. 1. Поперечное сечение отверстий в деталях ЛБУ – 16- 16 и УБР 12.12.04.001

Длина протягиваемых поверхностей составляет 170 мм при общей длине отверстий 285 и 300 мм. соответственно. Материал изделий - сталь 40Х по ГОСТ 4543-71 с твердостью НВ215...302. Отверстия обрабатываются на протяжном станке модели 7Б56 с усилием протягивания 204 кН.

Для протягивания отверстия в деталях ЛБУ – 16- 16 и УБР 12.12.04.001 используется комплект из четырех протяжек, изготовленных из быстрорежущей стали марки Р6М5К5 по ГОСТ 19265-73. Для этой марки быстрорежущей стали (и ее аналога- быстрорежущей стали марки Р18) имеем $\sigma_{вр} = 2600 \dots 3000$ МПа ($260 \dots 300$ кг/мм²).

Как показал анализ комплекта из четырех протяжек они спроектированы с использованием четырех величин подъема на зуб: 0,02 мм – первый зуб в протяжках третьего и четвертого проходов; 0,030 мм.- 53 режущих зуба протяжек третьего и четвертого проходов; 0,040 мм – 4 переходных зуба протяжки второго прохода; 0,05 мм – 2 режущих зуба

протяжек первого и второго проходов; 0,08 мм – 84 режущих зуба протяжек первого и второго проходов.

В таблице 1 приведены результаты расчетов контактных нагрузок, возникающих на участках режущих зубьев при заложенных в протяжках величинах подъемов на зуб для быстрорежущей стали марки Р6М5.

Таблица 1.

Анализ контактных нагрузок на 1 мм режущей кромки протяжек при различных подъемах на зуб для стали 40X с HB215...302.

Подъем на зуб, мм.	Удельная сила резания, кг/мм	Контактная нагрузка, кг/мм ²	Превышение допустимой нагрузки, %
0,02	15,8	790	304...263
0,030	18,6	620	240...206
0,040	21,8	545	210..180
0,050	24,5	490	189..163
0,080	33,5	419	161...140

Для расчетов использованы данные (карта П-3, [1]) по удельным силам резания (Руд), приходящимся на 1 режущей кромки, при протягивании легированной стали с HB>229.

По результатам анализа, представленного в таблице 1, можно сделать следующие выводы:

1). Зубья комплекта протяжек для обработки отверстия в деталях ЛБУ – 16- 16 и УБР 12.12.04.001 имеют следующие перегрузки: первые зубья в протяжках третьего и четвертого проходов перегружены в 2,6...3 раза; 53 режущих зуба протяжек третьего и четвертого проходов перегружены в 2,06...2,4 раза; 4 переходных зуба протяжки второго прохода перегружены в 1,8...2,1 раза; первые режущие зубья протяжек первого и второго проходов перегружены в 1,63...1,89 раза; 84 режущих зуба протяжек первого и второго проходов перегружены в 1,4...1,61 раза.

2). Все режущие и переходные зубья четырех протяжек, используемых для протягивания отверстий в деталях ЛБУ – 16- 16 и УБР 12.12.04.001 спроектированы так, что работают с постоянной перегрузкой по допустимой контактной нагрузке для быстрорежущей стали марки Р6М5К5 в диапазоне от 1,4 до 3-х раз. Это приводит к быстрой потере режущих свойств протяжек (наблюдаются постоянно вырывы металла с задних поверхностей режущих зубьев) и требует их частых переточек (по данным отдела главного технолога- после обработки десяти...двадцати деталей).

Литература

1. Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихманов и др. М.: Машиностроение, 1986, - 232 с.

УДК 621.02.001.63

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БИБЛИОТЕКИ МОДУЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОРПУСОВ СБОРНЫХ ОСЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Зубкова О.С., канд. техн. наук

(г. Курск, Россия)

Features of mining of the library of modules at designing of bodies the modular axial tool

При автоматизированном проектировании целесообразно рассматривать сборный осевой инструмент как сложную техническую систему к которой применяется блочно - иерархический принцип разбиения. Тогда кон-

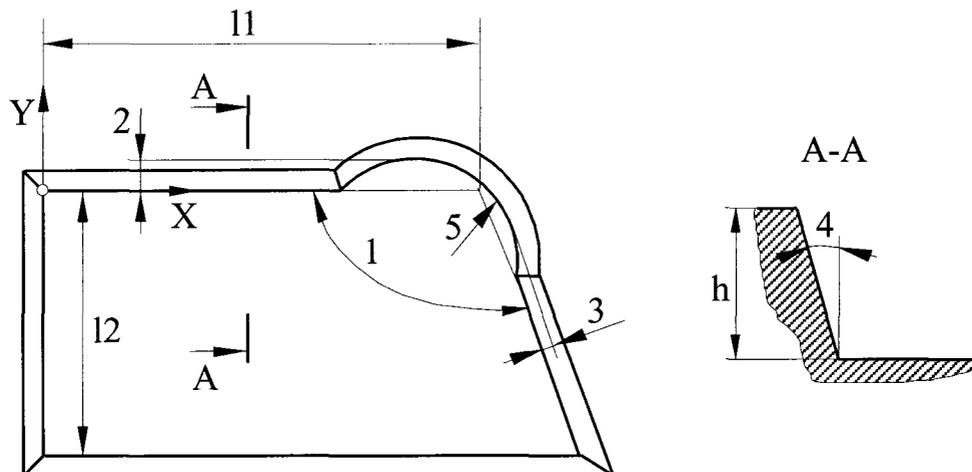


Рис.1. Конструктивные параметры стружечных канавок.

струкцию инструмента можно представить как совокупность отдельных модулей, каждый из которых так же может быть разделен на модули или элементы более низкого уровня. Разбиение может вестись до элементарных поверхностей, каждая из которых, взятая в отдельности, математически описывается в собственной систе-

ме координат. Математически подобный подход представляется в виде графа конструкции инструмента. Узлами графа в этом случае являются системы координат элементов. Все эти поверхности определенным образом ориентируются относительно друг друга и связь между системами координат определяется матрицами пе-

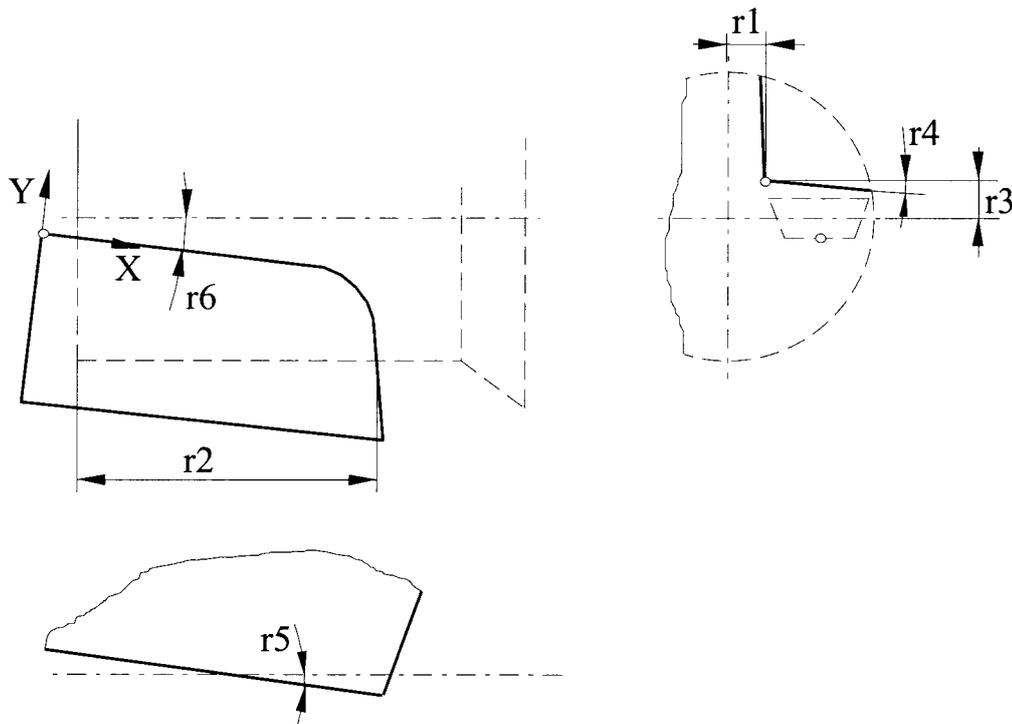


Рис.2. Параметры установки стружечной канавки относительно рабочей части.

рехода, которые являются дугами графа и могут быть либо заданы непосредственно, либо рассчитаны. Изменения, вносимые в эти матрицы, будут определять изменения конструкции инструмента. Кроме того на каком-либо из уровней один модуль может быть заменен другим модулем аналогичного назначения. Таким образом можно выбирать форму стружечных канавок, хвостовика и других конструктивных элементов. В конечном итоге все собственные системы координат с помощью матриц переходов должны быть связаны с главной системой координат инструмента. Для большей наглядности и лучшей организованности математического аппарата, а так же для осуществления синтеза конструкций инструмента в системе автоматизированного проектирования целесообразно поэтапно разукрупнять конструкцию инструмента на более мелкие элементы со своими системами координат, т.е. использовать вложенные графы, а уже на графах этих элементов показывать связи между отдельными поверхностями. Подробно пример разработки графа сборного осевого инструмента рассмотрен в работе [1].

Однако, следует заметить, что с точки зрения рядового пользователя использование элементарных поверхностей не всегда удобно. Поэтому наряду с элементарными поверхностями целесообразно использовать на низшем иерархическом уровне модули для которых дальнейшее разбиение не предусмотрено. Так, например, при проектировании рабочей части сборного сверла рассматриваются модули «гнездо под центральную пластину», «гнездо под периферийную пластину», «стружечная канавка» и т.д.

Вне зависимости от того рассматривается элементарная поверхность или элемент размеры должны задаваться в удобной и доступной для пользователя форме и однозначно определять положение поверхности или элемента в главной системе координат. В соответствии с выше изложенным все размеры подразделяются на две группы – размеры обеспечивающие форму элемента и размеры обеспечивающие ориентацию. Так например при проектировании стружечной канавки пользователю предлагается задать размеры представленные на рис. 1 и 2. Размеры представленные на рис.1 определяют конфигурацию канавки. Следует заметить что размеры l_1 , l_2 и h рассчитываются в автоматическом режиме исходя из заданных габаритных размеров проектируемого инструмента и на схеме, заложенной в пользовательском меню не указываются – задаются только размеры обозначенные цифрами. Размеры на рис. 2 позволяют определить положение канавки в системе координат рабочей части и все задаются пользователем.

При разработке программного обеспечения САПР РИ каждому рассматриваемому элементу соответствует программный модуль. В общем случае он должен состоять из следующих частей.

1. Обработка входных данных. В этой части кроме изменения типа данных (строковый на численный) производится проверка вводимых данных на возможность построения по ним чертежа конструкции.
2. Расчет характерных точек элемента. На данном этапе формируется массив координат опорных точек элемента в собственной системе координат элемента.

3. Расчет матрицы перехода. Рассчитывается матрица определяющее в главной системе координат инструмента или его корпуса
4. Функция отрисовки элемента в графической системе. Формируется массив координат опорных точек элемента в главной системе координат инструмента или его корпуса. Далее следует блок команд на отрисовку элемента графическим редактором, куда входят команды на отрисовку графических примитивов, команды их взаимодействие друг с другом (объединение, выдавливание), команда взаимодействия с уже существующим изображением.
5. Проектирование матрицы технологической наладки. Данная часть модуля реализуется при проектировании технологической наладки приспособления для обработки элемента корпуса и содержит параметры наладки приспособления.
6. Создание массива технологических параметров. В массиве содержатся сведения о заготовке и детали, необходимые для ее обработки (например режимы резания, припуск на обработку). Данные могут вводиться пользователем или же рассчитываться в автоматическом режиме.

Литература

1. Емельянов С.Г., Сорокина О.С., Широконов Ю.Г. Математические аспекты конструирования и изготовления сборных осевых инструментов на основе графовых моделей / СТИН, 1999, №7, с. 21-24.

УДК 621.621.9.06

КОНЦЕПЦИЯ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ С ПОЗИЦИЙ «АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ»

Матвиенко А.В., канд. техн. наук, Богуславский В.А., канд. техн. наук
(г. Донецк, Украина)

The concept of engineering of a surface from stands of "fissile centers". A. Matvienko, V. Boguslavskiy. In activity the concept of engineering of a surface from stands so-called " of fissile centers ", which one is esteemed, having, both specific, and general property, cause a power surface condition. The targeted excitation " of fissile centers " can be utilised at mining rational technology of formation of a surface.

Формирование свойств поверхности изделия осуществляется под воздействием среды и поля. Система взаимодействия «поверхность – среда – поле» является взаимосвязанной, т.к. каждый элемент этой системы вносит свой вклад в формирование свойств поверхности. При этом возможны, в общем, несколько основных схем формирования свойств поверхности в зависимости от доминирующих и взаимообуславливающих физико-механо-химических процессов, непрерывно протекающих на поверхности. Однако природа этих процессов, роль внешних факторов до сих пор еще не раскрыты. В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал о способах формирования поверхности, разрабатываются различные концептуальные подходы в области инженерии поверхности, однако проблема, как правило, не выходит за рамки эмпирики. Кроме того, развитие современной технологии машиностроения в настоящее время не может обходиться исследованиями только «макро» уровня поверхности, требуется изучение и «микро» уровня, с привлечением фундаментальных исследований в области физики твердого тела, физического материаловедения и др.

В основе концепции целенаправленного формирования свойств поверхности могут быть использованы так называемые ее структурночувствительные свойства, которые обуславливаются локальными нарушениями в периодической структуре решетки. Локальные нарушения, т.е. дефекты, как известно, могут быть макроскопические и микроскопические. Макроскопические нарушения периодической структуры материала охватывают области, значительно превышающие по своим размерам постоянную решетки. В свою очередь макроскопические дефекты, по сути, есть локализация большого количества микродефектов, именуемых в современной трактовке «активными центрами» (АЦ). Согласно работе [1] АЦ – локальные участки с нерегулярной структурой, отличающиеся повышенной свободной энергией и, следовательно, более высокой реакционной способностью. Точечные дефекты подвижны, могут агрегировать и образовывать ансамбли дефектов или грозди отдельных атомов. Различают микродефекты «биографической» природы (результат обработки и формирования поверхности) и тепловой природы (вакансии, выброшенные на поверхность ионы или атомы). Частицы, хемосорбированные поверхностью, также являются дефектами, меняющимися с температурой и давлением. Концентрация тепловых точечных дефектов растет с температурой, биографические же дефекты не зависят от температуры. Кроме того, концентрация дефектов на поверхности экспоненциально растет с уменьшением размера тела. Таким образом, АЦ (по сути точечные дефекты) могут иметь различное происхождение и природу, обладать спецификой свойств, но и имеют ряд общих свойств: 1) обладают некоторой подвижностью, требующих энергии активации; 2) наличие взаимодействия между ними, проявляющегося при их сближении; 3) встречаясь, дефекты способны вступать в соединения друг с другом; 4) дефекты, участвуя в «реакциях» с другими дефектами, могут рождаться и исчезать; 5) служат центрами прилипания для свободных электронов и дырок, т.е. являются локализаторами.

Исследованиями Г.И. Дистлера [2] и Б.В. Дерягина [3, 4] установлено, что АЦ - точечные дефекты, имеющие определенный электрический заряд. Между точечными дефектами разного знака заряда образуются линейные поляризационные структуры, которые являются более активными, чем соседние участки поверхности, но менее активные, чем сами точечные дефекты. Образующийся электрически активный рельеф обладает далекодействующим эффектом как в направлении к центру твердого тела, так и во внешнюю среду. Нескомпенсированные электрические заряды активных центров создают систему локализованных состояний, а локализованный поверхностный заряд будет выталкивать одноименные и притягивать заряды противоположного знака в пределах области пространственного заряда. Таким образом, в результате электронных переходов между поверхностью и объемом твердого тела, поверхностью и внешней средой изменяется энергетическое состояние поверхности, которое для реальной поверхности характеризуется функцией Ферми-Дирака. Кроме того, дефекты поверхности могут находиться в нейтральном или заряженном состоянии за счет возникновения разности потенциалов между объемом и поверхностью. При равновесии определенная доля дефектов каждого сорта заряжена. Величина и знак поверхностного заряда будет определяться природой и концентрацией дефектов, температурой и положением уровня Ферми. Причем концентрация дефектов может быть различна на разных участках поверхности.

Совершенно очевидно, что, управляя свойства микродефектов, ослабляя их активность или активизируя, можно управлять структурно-чувствительными свойствами поверхности в процессе ее формирования. Но поверхность – это граница раздела двух фаз. Одна из фаз – внешняя среда, другая фаза – это свободные электроны и дырки, находящиеся «ниже» поверхности, т.е. в теле. Поэтому задача о поверхности - это не двумерная, а трехмерная задача.

Как известно, открытая поверхность твердого тела может быть образована путем его разрушения или в результате конденсации из жидкой либо газовой фаз. Образование поверхности приводит к появлению в запрещенной зоне новых разрешенных энергетических состояний электронов. Кроме того, в запрещенной зоне могут появляться поверхностные состояния, образованные оборванными связями на поверхности ковалентного тела в виде неспаренных электронов на поверхностных атомах с пониженной координацией за счет разрушения локализованных связей между соседними атомами.

В запрещенной зоне выделяют уровень Ферми, имеющий размерность энергии (уровень химического потенциала), над которым отсутствуют дырки и ниже которого не содержится электронов. Смещение уровня Ферми по запрещенной зоне изменяет соотношение между электронной и дырочной составляющими проводимости, а положение уровня Ферми зависит от примесей, содержащихся в кристалле.

У веществ с большей долей ионной связи (диэлектрики) на поверхности проявляется активность за счет связывания с помощью электронной пары или электрических (полярных) эффектов (таммовские состояния). У ковалентных и металлических тел связывание на поверхности происходит за счет свободных связей с неспаренными электронами – состоянием Шокли.

Наличие различного типа дефектов на поверхности приводит к возникновению поверхностных состояний. Контакт со средой приводит к возникновению спектра состояний, созданных адсорбированными атомами или молекулами, причем взаимодействие этих молекул с дефектами меняет параметры электронных ловушек «биографического» происхождения [5]. Необходимо отметить, что в адсорбции принимают участие только АЦ. При этом сами АЦ и адсорбированные молекулы или ионы могут вызывать появление локальных уровней в запрещенной зоне, вследствие чего адсорбция по донорно-акцепторному механизму не только приводит к химическому модифицированию поверхности, но и влияет на электронику поверхности. Кроме того, адсорбционная способность поверхности также изменяется под действием освещения – фотоадсорбционный эффект, обусловленный поглощением света фотоэлектрическими активными участками поверхности.

Кинетическая активность твердого тела определяется, с одной стороны, концентрацией точечных дефектов и дислокаций (микродефекты), микроскопическими дефектами (границы кристаллов, зерен и блоков, трещины, поры), а с другой – особым состоянием поверхностных атомов, характеризующихся пониженной координацией, особой структурой и разорванными связями – наличием АЦ.

Кроме того, определенную характеристику АЦ дает явление эмиссии электронов с ювинильной поверхности. Считается, что эмитирует не вся поверхность, а только АЦ, в которых напряженность поля достигает 10^8 В/см.

В связи с тем, что АЦ предопределяют энергетику поверхности, то ее энергетические характеристики могут быть оценены работой выхода электрона. Наибольшее распространение для определения работы выхода электрона получил способ измерения «динамическим конденсатором» - метод контактной разности потенциалов. Измерение работы выхода электрона и теоретическая интерпретация результатов измерения успешно применяется многими исследователями для изучения адсорбционных явлений. Например, разрушение тонких поверхностных слоев металла и удаление тонких пленок сопровождается резким изменением работы выхода электрона по сравнению с исходным состоянием (контактная разность потенциалов (КРП) растет). Последующая незначительная релаксация величины КРП происходит вследствие адсорбции кислорода и других активных веществ атмосферы на ювинильных поверхностях металла. Для полного восстановления окисных пленок, «залечивания» дефектной структуры и возвращение к исходному состоянию требуется выдержка металла при комнатной температуре в течении 10 – 15 суток. При обработке металлической поверхности активными жидкостями, например, веществами, обладающими восстановительными свойствами по отношению к окислам металлов,

происходит уменьшение работы выхода электрона, а окислители увеличивают ее вследствие образования на металлической поверхности хемосорбционных и окисных слоев. С термодинамической точки зрения уменьшение работы выхода электрона, например, при механическом воздействии, означает увеличение свободной поверхностной энергии, обуславливающее повышение физико-химической активности таких поверхностей к окружающей среде, что в свою очередь вызывает переход металла в более стабильное энергетическое состояние, т.е. каждый металл (поверхность) стремится к определенному термодинамическому равновесию в зависимости от природы окружающей среды и характера АЦ. Так, в случае контакта двух разнородных металлов условия термодинамического равновесия определяют, в частности, выравнивание химических потенциалов электронов, что сопровождается переходом последних от металла с меньшей работой выхода электрона к металлу, имеющему большую работу выхода электрона, обусловленных наличием определенного типа АЦ. Такие переходы создают на участках межфазных контактов значительные по величине контактные электрические поля, что приводит к изменению электроники поверхности через возбуждение АЦ. Такие электрические поля могут либо увеличивать или уменьшать величину электродиффузионного переноса вещества, что определяет износостойкость металла при трении и резании. Масла и смазки также влияют на энергетическое состояние поверхности. Так лучшими смазочными свойствами обладают те масла, которые изменяют работу выхода электрона конкретного металла в большей мере. Но адсорбция может увеличивать или уменьшать КРП, что зависит от типа связи и состояния поверхности (наличие того или иного вида АЦ). Кроме того, на трущихся поверхностях возникают быстроменяющиеся электрические потенциалы, связанные с переменными токами термоэмиссионного характера. Величина электрического потенциала будет зависеть от типа АЦ и степени их «возбуждаемости» и влиять на износ трущихся поверхностей.

Измерение работы выхода электрона весьма успешно может быть использовано и для изучения характера и направленности изменения энергетических свойств поверхности связанных не только с адсорбцией, но и также со способами ее формирования. Теоретический анализ полученных результатов на основе АЦ, может позволить глубже понимать процессы, происходящие на поверхности и строить рационально технологию ее формирования.

Таким образом, согласно физике твердого состояния вся подсистема твердого тела определенным образом реагирует на явления, развивающиеся на поверхности. Структурно-чувствительные свойства поверхности обусловлены наличием на ней АЦ, которые независимо от своей природы обладают рядом общих свойств и определяют энергетическое состояние поверхности. Зная характер и направленность изменения энергетики поверхности можно рационально строить технологию ее формирования. Поэтому поиск и развитие эффективных способов создания АЦ и их целенаправленное возбуждение (или гашение) может быть одним из направлений в области инженерии поверхности. Причем эффективность возбуждения повышается для поверхностей, достигших равновесия на границе раздела фаз, которое самопроизвольно возникает во времени с диссипацией энергии взаимодействия.

Литература

1. Моделунг О. Физика твердого тела. Локализованные состояния. – М.: Наука, 1985. – 184 с.
2. Дистлер Г.И. Информационные свойства твердых и жидких граничных слоев // Поверхностные силы в тонких пленках и устойчивость коллоидов. – М.: Наука, 1974. – С.273 – 285.
3. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 279 с.
4. Дерягин Б.В. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 279 с.
5. Тамарру К. Капиллярная химия. – М.: Мир, 1983. – 272 с.

УДК 612.922

РЕЖУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРЕРЫВИСТЫХ КРУГОВ

Якимов А.А., канд. техн. наук, Дмитриева С.Ю., Кулик В.П., Королькова М.В.

(г. Одесса, Украина)

This article presents a comparative assessment of parameters characterizing the continuous and intermittent grinding wheel cutting capacity.

Режущая способность прерывистых кругов оценивается по величине коэффициента шлифования F_z / F_y , работе, затраченной на удаление единицы объема материала, A (Дж / мм³) и удельному объему металла, снимаемому в единицу времени K (мм³ / (с · н)).

На рис.1 представлены кривые изменения параметров, характеризующих режущую способность сплошных и прерывистых ($l_1 = 36\text{мм} : l_2 = 24\text{мм}$) шлифовальных кругов 24A25CM16K5 от времени

Контурные линии – сплошной круг, пунктирные – прерывистый. За 12-ти минутный период шлифования стали X12M на режиме ($V_{кр} = 34,5\text{м} / \text{с}; V_D = 0,1\text{м} / \text{с}; S_{поп} = 0; F_Y = 1,2\text{н} / \text{мм}$) сплошным кругом 24A25CM16K5. Удельная работа шлифования увеличилась в 3,4 раза, т.е. от 0.45 до 1,5 Дж / мм³. После 12-

минутного периода шлифования прерывистым кругом удельная работа шлифования возросла от 0,38 до 0,6 Дж / мм³.

Удельный съем металла при шлифовании сплошными и прерывистыми кругами уменьшится от 0,5 до 0,1 мм³ / (с · н) и от 0,45 до 0,35 мм³ / (с · н) соответственно.

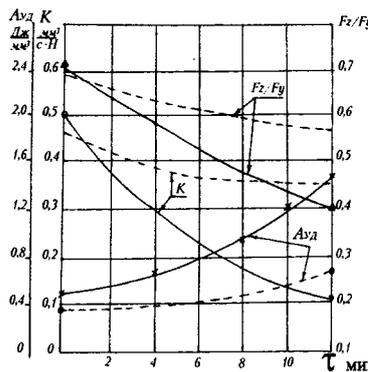


Рис.1. Зависимость удельной работы шлифования $A_{уд}$, удельного съема металла K и коэффициента шлифования F_z/F_y от времени.

вание круга протекает равномерно по всему профилю с сохранением постоянного угла атаки. Происходит стабилизация режущей способности круга. Режущие зерна на сформировавшемся профиле круга располагаются на разных радиусах от центра вращения круга и зерна, перемещаясь по концентрическим окружностям, удаляют

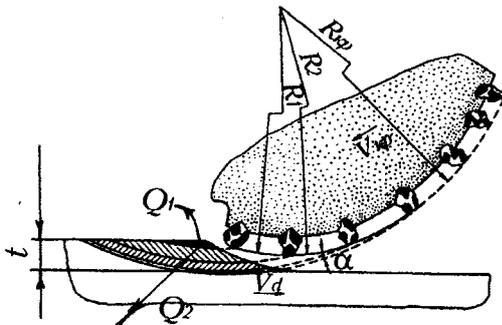


Рис.2. Схема удаления припуска отдельными тонкими слоями.

общий припуск отдельными тонкими слоями. При такой схеме удаления припуска изменяется баланс тепла, идущего в стружку и обрабатываемую деталь. На рис.2 представлена схема удаления припуска отдельными тонкими слоями. Режущие зерна, расположенные в зоне, прилегающей к передней кромке режущего выступа, срезают верхний слой металла. Выделившееся тепло Q стремится распространиться в глубинные слои металла. Но это тепло не успевает проникнуть на глубину срезаемого припуска t , так как следующая группа зерен, расположенных на большем радиусе режущего выступа, срезает разогретый слой, унося большую долю тепла с обычным шлифованием. При прерывистом шлифовании количество тепла, поглощаемое деталью, на 50% меньше по сравнению с обычным шлифованием. Проведенные исследования показывают, что после формирования фронтальной поверхности режущая способность прерывистых кругов стабилизируется. Увеличивается количество тепла, уносимого стружкой, и уменьшается количество тепла, поглощаемое деталью. При этих условиях температура в зоне резания уменьшается. Однако для стабилизации теплонапряженности процесса прерывистого шлифования необходимо разработать научно обоснованную методику расчета параметров прерывистых кругов.

УДК.621.9.01

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ПЯТНА КОНТАКТА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА С ЗУБОМ ШЕСТЕРНИ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ НА СТАНКЕ 5851 (МААГ).

Якимов А.А., канд. техн. наук, Дмитрева С.Ю., Кулик В.П., Королькова М.В.

(г. Одесса, Украина)

There has been developed a method of computing the area of a disk grinding wheel and tooth contact spot for the MAAG gear – tooth-grinding machine.

Шлифование зубчатых колес на станках 5851 (МААГ) осуществляется кругами-тарелками на керамической связке (тип ЗТ, ГОСТ 2424 - 82). На рабочем участке шлифовального круга можно выделить две поверхности: конус и тор. Торообразный участок шлифовального круга формируется при заправке его кромки. Обычно

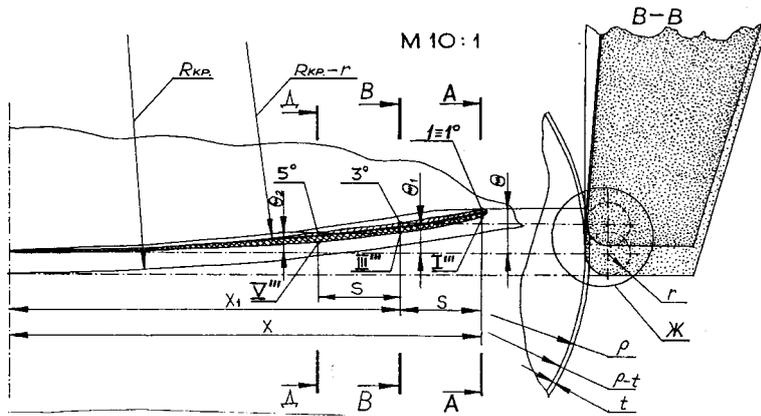


Рис.1. Расчетная схема для определения ширины зоны контакта тарельчатого шлифовального круга с боковой поверхностью зуба шестерни.

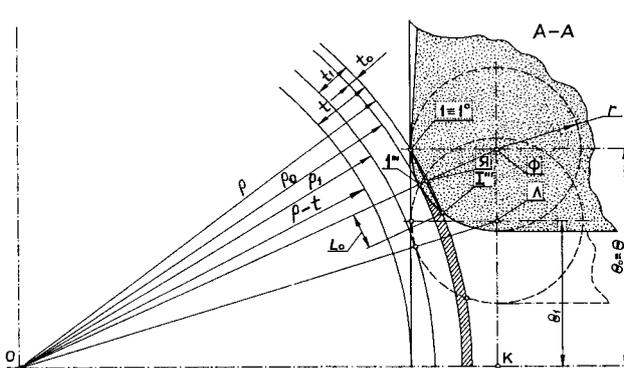


Рис.2. Расчетная схема для определения ширины зоны контакта шлифовального круга с зубом шестерни в сечении А-А.

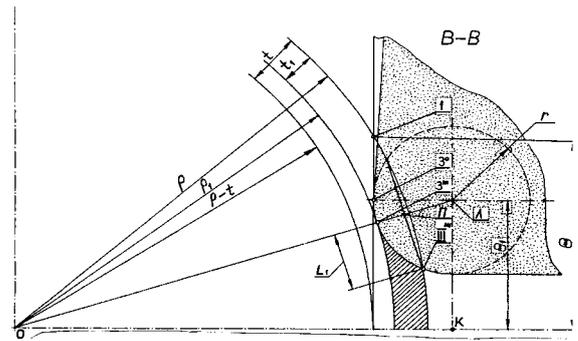


Рис.3. Расчетная схема для определения ширины зоны контакта шлифовального круга с зубом шестерни в сечении В-В.

сит дискретный характер (т.е. оно осуществляется в промежутках времени между обкаточными движениями), то в этом случае пятно контакта круга с зубом будет выглядеть так, как показано на рис.1 При обкаточном движении шлифовального круга от головки зуба к ножке металл удаляется его торообразным участком. Зона контакта этого участка круга с боковой поверхностью зуба на рис.1 выделена крестообразной штриховкой. При обкаточном движении шлифовального круга в обратном направлении (от ножки зуба к головке) в сьеме металла принимают участие как конический, так и торообразный его участки. На рис. 1 зона контакта боковой поверхности зуба с торообразным участком круга выделена односторонней штриховкой, а с коническим участком – не заштриховка. На рис 2,3,4 показаны толщины t_0, t_1, t_2 слоя, удаляемого шлифовальным кругом при его обкаточном движении о головки зуба к ножки, в сечениях А-А, В-В, Д-Д, выполненных в пределах длины пятна контакта с интервалом, равным величине продольного перемещения круга S , совершаемого в промежутках времени между обкаточными движениями. Поскольку в сечениях А-А, В-В, Д-Д толщины t_0, t_1, t_2 слоя, удаляемого шлифовальным кругом, не одинаковы, то размеры зоны контакта l_0, l_1, l_2 в этих сечениях тоже различны. Если стрелки $[I^{\text{III}} Я], [II^{\text{III}} П], [III^{\text{III}} Э]$ радиусом r (r – радиус закругления кромки шлифовального круга) принять равным толщинам t_0, t_1, t_2 , то в этом случае размеры пятна контакта круга с боковой поверхностью зуба l_0, l_1, l_2 в сечениях А-А, В-В, Д-Д можно считать равными длинам полуокружностей $[I^{\text{III}} Я], [II^{\text{III}} П], [III^{\text{III}} Э]$:

$$L_0 = \sqrt{2 \cdot r \cdot t_0 - t_0^2}, L_1 = \sqrt{2 \cdot r \cdot t_1 - t_1^2}, L_2 = \sqrt{2 \cdot r \cdot t_2 - t_2^2}, L_i = \sqrt{2 \cdot r \cdot t_i - t_i^2} \text{ для } i \geq 2 \quad (1)$$

Толщины t_0, t_1, t_2 слоя, срезаемого шлифовальным кругом в сечениях А-А, В-В, Д-Д определяются из расчетных схем, приведенных на рис 2,3,4.

$$t_0 = (\rho + r) - [O\Phi] = (\rho + r) - \Delta_0, \quad (2)$$

$$t_1 = (\rho + r) - [OЛ] = (\rho + r) - \Delta_1, \quad (3)$$

где ρ – радиус дуги окружности, описывающей эвольвентный профиль зуба колеса в районе его делительной окружности.

кромку шлифовального круга заправляют радиусом $r = (0,3 \mp 0,4) \cdot m$, m – где модуль обрабатываемого зубчатого колеса. При зубошлифовании на станке 5851 (МААГ) шлифовальный круг совершает непрерывное относительное перемещение вдоль обрабатываемого зуба со скоростью $100 \div 600 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ (т.е. за одно обкаточное движение от головки к ножке или обратно круг перемещается в продольном направлении на $S = 0,5 \div 2,5 \text{ мм}$). Если сделать допущение, что перемещение шлифовального круга

$$t_2 = (\rho_1 + r) - [OY] = (\rho_1 + r) - \Delta_2, \quad t_i = (\rho_{i-1} + r) - \Delta_i \quad \text{для } i \geq 2 \quad (4)$$

$$\rho_i = \rho_{i-1} - t_i, \quad \text{для } i \geq 2 \quad (5)$$

$\Delta_0 = [O\Phi], \Delta_1 = [OL], \Delta_2 = [OY]$ - гипотенузы прямоугольных треугольников ОКФ, ОКЛ, ОКУ, имеющих общий катет $[OK] = \rho - t + r$.

Катеты $[KF], [KL], [KY]$ равны высотам $\omega, \omega_1, \omega_2$ сегментов, отсекаемых полухордами окружности радиуса $(R_{кр} - r)$. Длины этих полухорд соответственно равны $X, (X - S), (X - 2 \cdot S)$ (Рис.1).

$$X = \sqrt{2 \cdot (R_{кр} - r) \cdot \omega - \omega^2} \quad (6)$$

Высота сегмента равна половине длины хорды отсекающей сегменты на окружности радиуса ω , высота которого равна глубине резания t

$$\omega = \sqrt{2 \cdot \rho \cdot t - t^2}, \quad (X - S) = \sqrt{2 \cdot (R_{кр} - r) \cdot \omega_1 - \omega_1^2}, \quad (X - S \cdot 2) = \sqrt{2 \cdot (R_{кр} - r) \cdot \omega_2 - \omega_2^2}, \quad (7)$$

Решая эти квадратные уравнения, получим:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot (R_{кр} - r) - \sqrt{[2 \cdot (R_{кр} - r)]^2 - 4 \cdot (X - S)^2}}{2}, \quad \omega_2 = \frac{2 \cdot (R_{кр} - r) - \sqrt{[2 \cdot (R_{кр} - r)]^2 - 4 \cdot (X - 2 \cdot S)^2}}{2}$$

$$\omega_i = \frac{2 \cdot (R_{кр} - r) - \sqrt{[2 \cdot (R_{кр} - r)]^2 - 4 \cdot (X - i \cdot S)^2}}{2} \quad \text{для } i \geq 1 \quad (8)$$

Из прямоугольных треугольников ОКФ, ОКЛ и ОКУ можно определить их гипотенузы $[O\Phi] = \Delta_0, [OL] = \Delta_1, [OY] = \Delta_2$, если известны катеты $[OK] = \rho - t + r, \omega, \omega_1, \omega_2$.

$$\Delta_0 = \sqrt{(\rho - t + r)^2 + \omega^2}, \quad \Delta_1 = \sqrt{(\rho - t + r)^2 + \omega_1^2}, \quad \Delta_2 = \sqrt{(\rho - t + r)^2 + \omega_2^2}, \quad \Delta_i = \sqrt{(\rho - t + r)^2 + \omega_i^2} \quad (9)$$

$$\Delta_i = \sqrt{(\rho - t + r)^2 + \omega_i^2} \quad \text{для } i \geq 1 \quad (10)$$

Подставляя (9) и (10) в формулы (2), (3) и (4) можно рассчитать толщины $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i$ слоя, срезаемого шлифовальным кругом, в различных частях зоны контакта. Подставляя значения этих толщин в выражение (1), можно рассчитать размеры $L_0, L_1, L_2, \dots, L_i$ пятна контактик шлифовального круга с зубом шестерни.

Площадь Φ пятна контакта (площадь зоны, заштрихованной на рис.1 крест-накрест)

Можно рассчитать суммированием площадей трапеций:

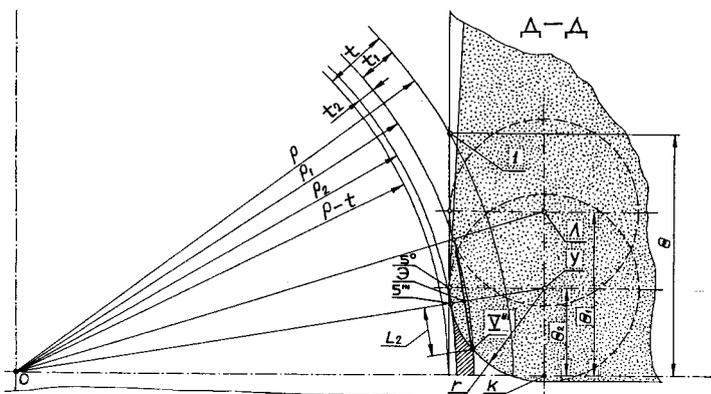


Рис.4. Расчетная схема для определения ширины зоны контакта шлифовального круга с зубом шестерни в сечении Д-Д.

$$\Phi = \frac{L_0 + L_1}{2} \cdot S + \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot S + \dots = \sum_{i=1}^X \frac{(L_i + L_{i-1})}{2} \cdot S \quad \text{где } \frac{X}{S} - \text{целое число; } X - \text{длина зоны контакта, заме-}$$

ряемая в направлении продольной подачи (рассчитывается по формуле (6)); S - величина продольной подачи.

По данной методике произведены расчеты площадей пятна контакта круга с зубом шестерни

($m = 4, R_{кр} = 100 \text{ мм}, \rho = 34,7 \text{ мм}, r = 0,4 \cdot m = 1,6 \text{ мм}$). По формуле $q = \frac{\rho_z \cdot V_{кр}}{\Phi}$ произведен расчет интенсивности

теплового потока. Числовое значение силы резания ρ_z было взято из работы [1] $\rho_z = 6 \text{ Н}$. В таблице 1 представлены расчетные значения геометрических параметров пятна контакта круга с зубом шестерни.

Таблица 1

$t, \text{ мм}$	$X, \text{ мм}$	$S, \text{ мм}$	$i = \frac{X}{S}$	$\Phi, \text{ мм}^2$	$q; \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
0,05	16	1,45	11	6,46	$2,78 \cdot 10^7$

Литература

1. В.И.Шерышев, А.В. Якимов, Ю.А.Казимирчик Силовые зависимости при зубошлифовании тарельчатыми кругами. "Станки и инструменты", 1965, №10, с.9 ± 10.

УДК 515.2:518.62

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОТДЕЛКИ МЕТОДАМИ СВОБОДНОГО ОБКАТА

Уминский С.М., канд. тех. наук.

(г. Одесса, Украина)

Raising the productivity of finish by methods of a free rolling action

Эксплуатационные показатели зубчатых колес в значительной степени зависят от технологических способов их окончательной обработки.

На этих операциях формируется окончательная точность по всем параметрам, величина шероховатости поверхности, степень наклепа и другие показатели качества. [1]. В результате создания технологий предварительного формирования зубчатого венца холодным и горячим накатыванием, вопросы совершенствования отделочных операций приобретают все большее значение. К таким методам относятся зубошлифование, чистовое размерное калибрование, зубопритирка, шевингование. Наибольшее распространение в промышленности получили методы отделки зубчатых колес свободным обкатом – шевингованием и хонингованием. Наибольшее распространение в условиях серийного и массового производства нашла технология изготовления цилиндрических зубчатых колес с использованием операции шевингования. Данная технология обеспечивает высокую производительность и эффективность обработки.

Большим достоинством шевингования является высокая производительность, простота в наладке применяемого оборудования, низкие скорости обработки. Это обеспечивает отсутствие прижогов, микротрещин на обработанных поверхностях. [2]. Для осуществления процесса шевингования широкое распространение получили дисковые шевера. Обработка дисковыми шеверами в основном производится свободного обката.

При осуществлении процесса шевингования в большинстве случаев шевер вращается и приводит во вращение обрабатываемую заготовку. Дисковый шевер имеет на боковых сторонах зубьев режущие кромки, которые и производят удаление припуска с рабочих поверхностей зубьев колес.

После каждого продольного перемещения инструмента и заготовки производится радиальная подача. Точность и шероховатость заготовки после шевингования, стойкость инструмента и производительность процесса шевингования в значительной степени зависят от величины радиальной подачи. Обычно радиальная подача производится в конце рабочего хода стола с заготовкой. На микрогеометрию обрабатываемой поверхности и производительность процесса шевингования также оказывает влияние величина продольной подачи. Большое влияние на шероховатость и степень наклепа, и величину остаточных напряжений обработанной поверхности оказывает число калибрующих ходов.

Одним из важных путей повышения эффективности процесса отделки зубчатых колес методами шевингования и хонингования является повышение производительности обработки и рациональное использование инструмента. Для повышения производительности обработки зубчатых колес методами свободного обката и повышения долговечности инструмента за счёт двухстороннего использования режущих кромок шевера, предложен способ многопроходного шевингования. Для обработки таким способом шевер устанавливается таким образом, чтобы центр скрещивания осей шевера и заготовки в исходном положении находился за торцом заготовки и у торца зуба шевера. [3].

Затем заготовке сообщают подачу вдоль её оси до выхода центра скрещивания за противоположный торец заготовки. Для осуществления повторного прохода, шеверу сообщают перемещение вдоль его оси на величину $S_0 = b_0 - (2 - 6 \text{ мм})$, где b_0 - ширина зубчатого венца шевера, мм. Ограничение рабочей ширины зубчатого венца шевера на величину 2 - 6 мм необходимо для обеспечения нормального зацепления инструмента с заготовкой. [4]. После смещения центра скрещивания осей к противоположному торцу шевера, инструменту сообщают радиальную подачу на врезание, и цикл обработки повторяется. В этом случае в работе будут участвовать все режущие кромки зубцов шевера, т.е. они изнашиваются равномерно. Кроме того, количество режущих кромок, участвующих в работе, увеличивается, что позволяет осуществлять обработку с меньшей шириной зубчатого венца инструмента. Увеличение числа режущих кромок, одновременно участвующих в работе, позволяет увеличить припуск, удаляемый за каждый проход. Этим достигается повышение производительности процесса отделки.

Литература:

1. Мильштейн М.З. Чистовая обработка зубчатых колес. – К.: Техника, 1971.-166с.
2. Романов В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов. – М.: Машиностроение. 1969.-255с.
3. Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колес: Справочник. – К.: Техника. 1992.-197с.
4. Сухоруков Ю.Н., Евстигнев Р.И. Инструменты для обработки зубчатых колес методом свободного обката. – К.: Техника. 1983.-123с.

УДК 515.2:518.62

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ПРИ ДОСЯГНЕННІ ПОДОВЖНЬОЇ МОДИФІКАЦІЇ ЗУБІВ МЕТОДАМИ ОБКАТУ

Умінський С.М., канд. техн. наук

(м. Одеса, Україна)

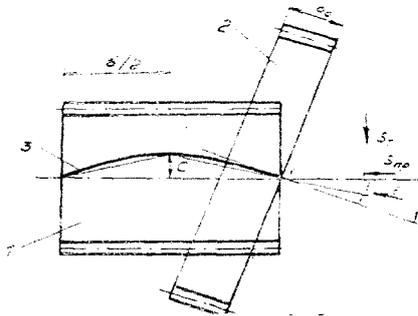
Increase of technological capabilities of processing at achievement of a lengthwise easing relief of dens by methods of a rolling action

В даний час у машинобудуванні знайшли поширення п'ять методів шевінгування зубчастих коліс - подовжне, діагональне, «короткого ходу», урізне. Ці методи відрізняються між собою напрямком подачі, часом обробки, конструкцією шевера. При таких способах зубошевінгування подовжня модифікація зубів забезпечується шляхом повідомлення верстату з заготівлю качательних рухів.[1] У цьому випадку значно знижується твердість технологічної системи, що впливає на якість і точність обробки [2]. З метою виключення таких явищ розроблений спосіб, при якому у вихідному положенні (мал.1) інструмент 2 і заготівлю 1 установлюють так, щоб центр схрещування осей інструмента і заготівлі. До розміщався за торцем заготівлі й у торця інструмента. Первісне налагодження верстата здійснюють аналогічно налагодженню для шевінгування зубчастих коліс методом подовжньої подачі [2]. Після установки центра схрещування осей у центральній частині заготівлі й інструмента, заготівлі повідомляють подачу уздовж її осі на довжину

$$S_{np} = b_1/2 - (b_0/2) \cos \Sigma^1 + 1 \div 2 \text{ мм} \quad (1)$$

і тангенціальну подачу

$$S_T = (b_0/2) \sin \Sigma^1, \quad (2)$$



Мал. 1. Схема обробки для одержання бочкоподібної модифікації.

де b_1 і b_0 - ширини зубцюватих вінків заготівлі й інструмента, мм, Σ^1 - кут схрещування осей у вихідному положенні, град.

У результаті здійснення таких додаткових переміщень досягається зсув центра схрещування осей у необхідне вихідне положення. Для формування бочкоподібної форми зуба заготівлі повідомляють подачу уздовж її осі і додаткову подачу нормально осі заготівлі (діагональну подачу). При обробці найбільший зйом припуску відбувається в крапках P , що відповідають врзанню і виходу шевера (мал.2,3). У крапці P величина припуску, що видаляється, зменшується за рахунок збільшення на величину до. При обробці в результаті зміни міжосьової відстані кут схрещування осей шевера і заготівлі у вихідному положенні Σ^1 відрізняється від розрахункового кута схрещування Σ , прийнятого при відомих діагональних методах. Величина кута Σ^1 визначається по залежності:

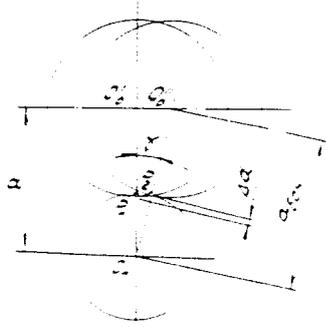
$$\Sigma^1 = \arctg \left[\tg \Sigma \left(\frac{a}{a + \frac{\Delta S}{\sin \alpha_n}} \right) \right], \quad (3)$$

де a - міжосьова відстань, мм; α_n - нормальний кут зачеплення, град; ΔS - необхідна величина бочкоподібності, мм.

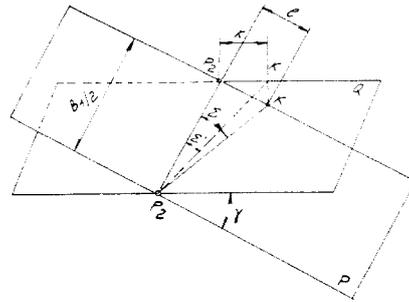
У вихідному положенні кут схрещування осей шевера і заготівлі приймають рівним Σ^1 , а заготівлі чи інструменту повідомляють подачі S_{np} і S_T (діагональну подачу під кутом ε) доти, поки центр схрещування осей шевера і заготівлі не досягає центра заготівлі ($b_1/2$), а кут схрещування не досягне розрахункової величини Σ . Після цього напрямки тангенціальної подачі змінюють на протилежне. Кут діагональної подачі ε визначається залежністю:

$$\text{tge} = \frac{2a \left(\arccos \frac{a}{a + \frac{\Delta S}{\sin \alpha_n}} \right)}{b_1}. \quad (4)$$

При багато прохідному шевінгуванні після завершення чергового проходу шевер встановлюють у вихідне положення, переміщаючи його методом подовжньої подачі заготівлі на величину $S_{np}^1 = b_0 \cdot \cos \Sigma^1$ і тангенціальну подачу заготівлі на величину $S_T^1 = b_0 \cdot \sin \Sigma^1$. Потім заготівлі чи інструменту повідомляють діагональну подачу під кутом ε у напрямку рівнобіжному подачам попереднього проходу [3]. Такий спосіб дозволяє обробляти зубчасті колеса з подовжньою модифікацією зубів діагональним методом без використання спеціальних



Мал. 2. Змінення міжосевої відстані при обробці.



Мал. 3. Схема для визначення кута схрещування вісей заготовки і інструменту

приспосувань і пристроїв. Цим досягається розширення технологічних можливостей діагонального шевінгування. Описаний спосіб шевінгування може бути реалізований на верстатах, що забезпечують двокоординатні переміщення столу в горизонтальній площині. На зубошевінговальних верстатах, у яких відсутнє переміщення по другій координаті, описаним способом можна одержувати подовжню модифікацію зубів кінчної форми. При цьому, налагодження верстата не відрізняється від розглянутої.

Література:

1. Кокичев В.Н. Зубоотделочные верстаты. Л.; Судпромгиз. 1960. 244 с.
2. Калашников С.Н., Калашников А.С. Шевінгування зубчастих коліс. М.; Вища школа. 1985. 223с.
3. А.С. 1634403 А1 МКІ 3 В23 F19\06 Спосіб чистової обробки зубчастих коліс.

УДК 515.2:518.62

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕВЕРОВ ДЛЯ ПРОДОЛЬНОГО ШЕВИНГОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ

Уминский С.М., канд. техн. наук, Якимов А.А., канд. техн. наук, Бойченко С.А.
(г. Одесса, Украина)

Research of influencing of design data for a longitudinal shaving on quality of processing.

Величина ширины шевра является важнейшим конструктивным элементом его конструкции, и существенно влияет на производительность и качество обработки. Наименьшая ширина шевра для обработки параллельным методом определяется проекцией активной части линии зацепления сопряженных колес в передаче, от перекрытия обработкой активной части профиля зуба при шевинговании и углом подъема винтовой линии на основных цилиндрах заготовки и инструмента. Т. е. для обеспечения полной обработки зуба по длине венца выход шевра за торец заготовки должен составлять не менее половины ширины зубчатого венца инструмента. [1]. При выборе и проектировании шевра необходимо учитывать, что центр скрещивания осей перемещается от одного торца к другому. В этом случае происходит изменение величины заборной части. При параллельном шевинговании величина заборной части в процессе обработки постоянна, и равна половине ширины шевра.

Аналитические исследования усилий при шевинговании показали, что нормальные составляющие усилий резания, вызывающие деформацию осей обрабатываемого колеса и шевра пропорциональны площади пятна контакта. [2]

Величина припуска, удаляемая каждой кромкой шевра в различных точках от центра скрещивания при параллельном методе шевингования, является величиной переменной. Поэтому нагрузка на каждую режущую кромку неодинакова. Кроме того, вследствие деформаций осей заготовки и инструмента, и изменения вращения в начальный период нового хода стола режущие кромки шевра перегружаются и выкрашиваются. Износ в направляющих стола станка, механизме подачи, и возникающее изменение усилий в зацеплении вследствие наличия инерционных масс также способствуют перегрузке режущих кромок шевра в момент изменения направления вращения. Кроме того, при продольном методе шевингования торцевые режущие кромки шевра зачастую участвуют в работе. Торцевые режущие кромки обычно имеют дефекты, и, кроме того, на их долю может приходиться основная часть удаляемого припуска, по этому их участие в работе нежелательно (3). Факторы оказывают существенное влияние на стойкость шевра и, следовательно, производительность и качество обработки. Поэтому при проектировании шевров для такого метода шевингования необходимо обеспечить равномерное удаление припуска каждым режущим зубцом. Этого можно добиться при выполнении шага между режущими зубцами переменным. Это позволяет уменьшить величину удельных сил резания, которые при удалении малых припусков достигают значительных величин. Наличие задних кинематических углов оказывает отрицательное воздействие на производительность и качество обработки (3).

Повысить производительность обработки за счет более свободного внедрения режущих кромок шевра в бо-

кову ю поверхню зуба обрабатываемого колеса и качество обработки за счет исключения трения режущих зубцов по задней поверхности можно при выполнении центрального режущего зубца прямоугольной формы, а остальных в виде неравнобокой трапеции (с противоположным направлением относительно центрального зубца). Расстояние режущих кромок зубцов шевера, относительно режущей кромки центрального зубца определяется по следующей зависимости:

$$l_i = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta Z \cdot i}}{\operatorname{tg} \alpha_n (\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_0)}, \quad (1)$$

где l_i - расстояние между режущими кромками центрального зубца и режущей кромкой i -го зубца, измеренное вдоль оси зуба инструмента, мм; g - длина линии зацепления, мм; ΔZ - величина удаляемого припуска режущей кромкой, мм; i - порядковый номер зубца (0, 1, 2, 3, Л-); α_n - угол профиля зуба в нормальном сечении, град; β_1 - угол наклона линии зуба заготовки, град; β_0 - угол наклона линии зуба шевера, град.

Величина удаляемого припуска режущей кромкой определяется по следующей формуле:

$$\Delta Z = \frac{Z}{n}, \quad (2)$$

где Z - величина удаляемого припуска, мм; n - число зубьев, участвующих в работе.

Учитывая, что при малых усилиях преобладающее влияние на процесс шевингования оказывает задняя поверхность режущего, зубца, а при больших - режущая кромка, предложенная методика расчета геометрических параметров позволяет повысить производительность и качество обработки. В случае когда режущая кромка выполнена перпендикулярно к направлению зуба шевера на делительном цилиндре и стружечная канавка имеет прямоугольное сечение, передние статические и кинематические углы не изменяются по длине режущей кромки. При выполнении режущей кромки на эвольвентной поверхности зуба шевера перпендикулярно к его оси, а боковой поверхности стружечной канавки параллельно плоскости торцевого сечения, передний статический угол равен углу наклона зуба шевера на основном цилиндре и остается постоянным по всей длине режущей кромки, а передний кинематический угол изменяется от положительных до отрицательных значений.

Литература

1. Калашников С.Н., Калашников А.С. «Изготовление зубчатых колес» М. 1980.
2. Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колес: Справочник, - К: Техника, 1992. - 197 с.

УДК 515.2:518.62

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВЕРСТАТНОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ІНСТРУМЕНТА І ЗАГОТОВКИ ПРИ ШЕВІНГУВАННІ МЕТОДАМИ ТАНГЕНЦІАЛЬНОЇ ПОДАЧІ І «КОРОТКОГО ХОДУ»

Умінський С.М., канд. техн. наук, Якімов О.О., канд. техн. наук, Бойченко С.А.

(г.Одеса, Україна)

Influencing of parameters machinery rebuilding of engagement of surfaces of the tool and bar at a shaving by methods of tangential submission and "of a short course"

Найбільшого розповсюдження набули способи обробки зубчатих коліс, що працюють за методом вільного обкату. Як показали теоретичні дослідження, при обробці зубчатих коліс методами вільного обкату суттєвий вплив на їх точність і якість обробки мають погрішності зубчатого вінця, що отримані в результаті його формування і хіміко-термічної обробки.

Зменшити ці погрішності можна шляхом більш точного базування і вибору раціональних операцій формотворення зубчатого вінця.

Сутність шевінгування зводиться до механічного зіскоблювання з оброблюємої поверхні тонких стружок внаслідок взаємного ковзання спряжених поверхонь зубців шевера та заготовки /1/. При цьому, також має місце пластичне деформування металу в зоні обробки. Значні зусилля, необхідні для забезпечення процесу обробки, призводять до пружних деформацій технологічної системи. При врізанні трапляється збільшення знімаемого припуску, тобто збільшення площі контакту зубців шевера з поверхнею зубців деталі. На початку робочого ходу кут схрещування осей шевера та оброблюемого колеса, створеного проекцією цих осей на площину, не дорівнює розрахунковому куту схрещування Σ , а твірна розподільного циліндра шевера створює з цією площиною кут ΔV . [2]. У цьому випадку з'являється два види перекосу вісей заготовки та інструменту: перекіс осей (кут $\Delta \Sigma$), непаралельність осей (кут ΔV). Для випадку комбінованого перекосу, похибку напрямку зубця визначають залежністю:

$$F_{\beta_{1,2}} = l_k \operatorname{tg} \Delta \Sigma \pm 2b_1 \sin \Delta V \operatorname{tg} \alpha_n, \quad (1)$$

де l_k - довжина лінії контакту шевера та оброблюемого колеса, мм; b_1 - ширина зубчатого вінця заготовки, мм; α_n - кут зачеплення, град.

Довжина лінії контакту знаходиться з формули:

$$l_k = \frac{\sqrt{2gZ}}{\operatorname{tg} \alpha_n (\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_0)}, \quad (2)$$

де α_n – кут профілю зубу в нормальному перетину, град; β_1 – кут нахилу лінії зубу оброблюємого колеса, град; β_0 – кут нахилу лінії зубу інструменту, град.

Довжина лінії g знаходиться із залежності:

$$g = \frac{\sqrt{d_{w1}^2 - d_{b1}^2}}{2 \cos \alpha_n \sin \beta_1} + \frac{\sqrt{d_{w0}^2 - d_{b0}^2}}{2 \cos \alpha_n \sin \beta_0}, \quad (3)$$

де d_{w1} і d_{w0} – діаметри початкових циліндрів заготовки і інструменту, мм; d_{b1} і d_{b0} – діаметри основних циліндрів заготовки й інструменту, мм.

Крім того, на величину додаткового спотворювання кута схрещування суттєво впливає величина віддаляемого припуску. Величина допустимої додаткової зміни кута схрещування виявляється залежностями:

$$\Delta \Sigma = \Delta \Sigma_2 - \Delta \Sigma_1; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \Delta \Sigma_2 = \frac{l_k}{\left(\frac{b_0}{2}\right) - Z}; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \Delta \Sigma_1 = \frac{l_1}{b_0/2}, \quad (6)$$

де l_k – довжина лінії контакту шевера та оброблюємого колеса, мм; b_1 – ширина зубця шевера; Z – товщина віддаляємого припуску, мм.

Із збільшенням додаткового кута схрещування осей шевера та заготовки, збільшується величина довжини контакту інструмента та заготовки, тобто площа контактної еліпси збільшується. За рахунок збільшення площі контакту зусилля різання досягають таких значень, що подальшого вривання шевера в заготовку не відбувається і шевер своїм розподільним циліндром перекатується по розподільному циліндру оброблюємого заготовки. [3]. На основі проведених аналітичних дослідів встановлено, що із збільшенням кута схрещування Σ , довжина лінії контакту зменшується. При збільшенні додаткового кута схрещування осей інструменту та заготовки $\Delta \Sigma$ величина похибки напрямку зубця збільшується, при цьому найбільша величина похибки характерна для обробки з малими кутами схрещування. Із збільшенням додаткового кута схрещування осей величина похибки напрямку зубця збільшується. Найбільша величина похибки характерна для обробки з малими кутами схрещування осей. Із збільшенням кута зачеплення довжин лінії контакту зменшується. Виникаючи на початку і в кінці циклу обробки деформації технологічної системи викликають похибку напрямку зубця та зміщення плями контакту. Характер зміни напрямку лінії зуба при шевінгуванні методами тангенціальної подачі і “короткого ходу” визначається величиною коливання віддаляемого припуску в процесі обробки.

Література

1. Калашников С.Н. и др.. Производство зубчатых колес. Справочник, М., 1975.
2. Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колес: Справочник, - К: Техника, 1992-197с.
3. Умінський С.М., Якімов О.О. Вплив геометричних параметрів інструменту та заготовки на площину плями контакту при обробці методами вільного обкату. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник, Луцький державний технічний університет, випуск 5, стр. 246 – 251.

УДК 621.91

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА АВТОКОЛЕБАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Иноземцев К.А., канд. техн. наук, Барботько А.И., канд. техн. наук
(г. Курск, Россия)

The experimental study results on determination of axial oscillations influence on auto-oscillations in the zone of cutting are presented.

В [2] приведена математическая модель по определению параметров автоколебаний при сверлении, а в [1] предложен метод управления ими на основе разработанной модели. В данной статье приведены результаты эксперимента, подтверждающие разработанные теоретические положения.



Рис. 1. Типовая запись поперечных колебаний сверла.

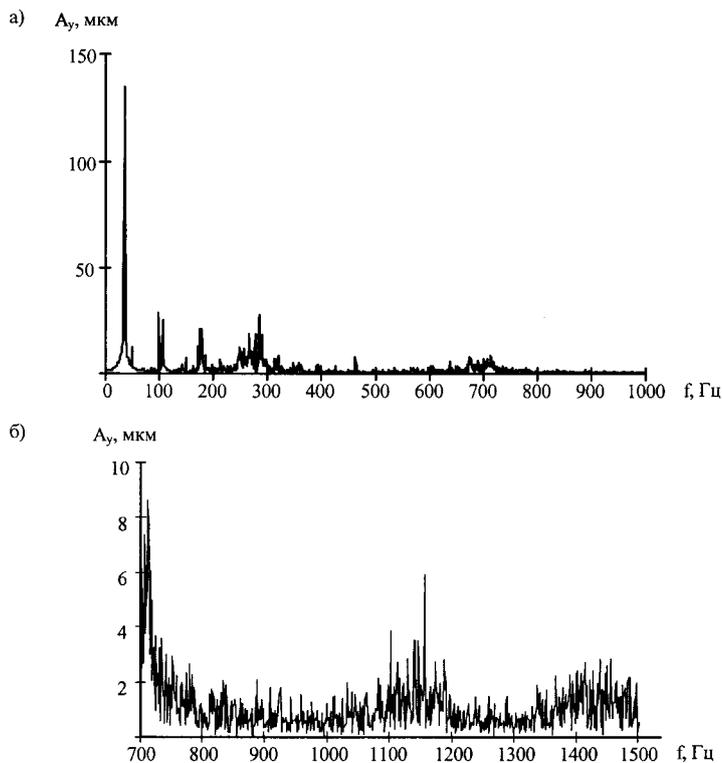


Рис. 2. Спектр частот поперечных колебаний сверла: а) в диапазоне частот от 0 до 1 кГц; б) от 0,7 до 1,5 кГц.

ых колебаний. В диапазоне от 0 до 5 мкм происходило уменьшение амплитуды автоколебаний. При значении амплитуды осевых колебаний равном 5 мкм и более происходило полное подавление автоколебаний. Спектр частот колебаний сверла при полном подавлении автоколебаний показан на рис.3. Из рисунка видно, что колебания с частотой более 500 Гц отсутствуют. Среднее значение амплитуды автоколебаний при отсутствии внешнего воздействия составляло приблизительно 10 мкм. Для аппроксимации зависимости амплитуды автоколебаний от амплитуды осевых колебаний использован полином второй степени вида:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_{11} x_1^2,$$

где y – значение функции отклика $y = A^2$, A – амплитуда автоколебаний, мкм; b_0 , b_1 , b_{11} – постоянные коэффициенты; $x_1 = a_x$ – амплитуда осевых колебаний.

В результате получена следующая зависимость:

$$A^2 = 98,4 - 3,04 a_x^2 \quad \text{или} \quad A = 9,9 \sqrt{1 - \frac{3,04 a_x^2}{9,9^2}}.$$

Исследование колебаний проводилось путем непрерывного измерения отклонений оси сверла в поперечном направлении. Типичная запись колебаний представлена на рис.1 (материал: стекловолокнит АГ-4В, $d=3,4$ мм, $l_p=57$ мм, $s=0,05$ мм, $V=22$ м/мин). Выделение основных частот колебаний сверла производилось методами гармонического анализа [3].

Спектр частот колебаний для виброграммы, приведенной на рис.1, представлен на рис.2. В диапазоне частот от 650 до 750 Гц имеется пик, соответствующий автоколебаниям. Данное утверждение основано на известном факте, что частота автоколебаний близка к частоте собственных колебаний сверла, которая может быть приблизительно определена выражением [4]:

$$f = \frac{1,88^2}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot J}{\rho \cdot F \cdot l_p^4}}, \text{ с}^{-1},$$

где E – модуль упругости материала сверла; J – момент инерции поперечного сечения сверла; ρ – плотность; F – площадь поперечного сечения; l_p – вылет сверла.

Для проведенного эксперимента значение f составляло 745 Гц ($E=2 \cdot 10^{11}$ Па, $\rho=7800$ кг/м³). Найденное значение близко к частоте, соответствующей пику и равной 712 Гц. Исследование амплитуды автоколебаний при внешнем воздействии проводилось для различных амплитуд осевых колебаний.

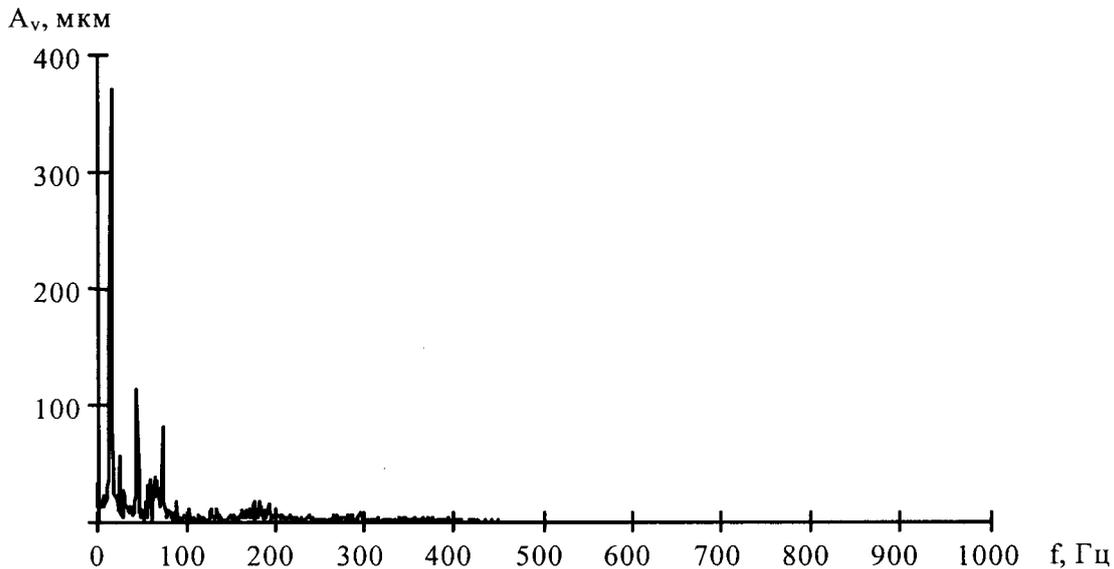


Рис. 3. Спектр поперечных колебаний сверла при полном подавлении автоколебаний.

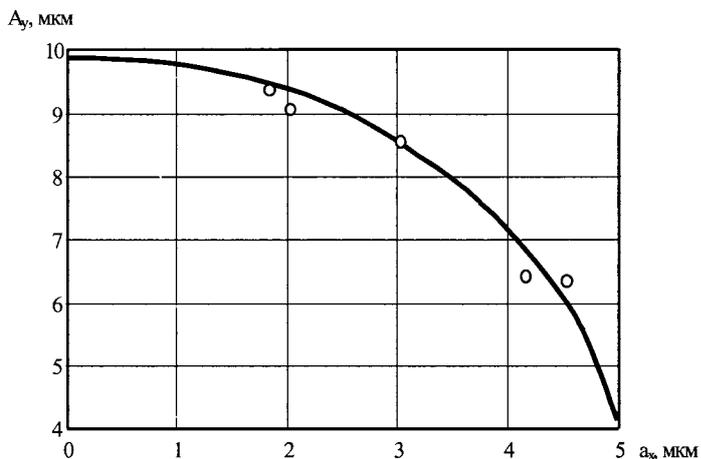


Рис. 4. Вид зависимости амплитуды автоколебаний от амплитуды осевых колебаний.

этому для практических расчетов амплитуды автоколебаний в зависимости от амплитуды осевых колебаний можно использовать следующее выражение:

$$A = \sqrt{A_0^2 - \frac{a_x^2}{(\cos \varphi)^2}} \quad (1)$$

Выражение (1) полностью совпадает с теоретическим ([2], (6)), таким образом, экспериментальная проверка подтверждает правильность теоретических выводов.

Литература

1. Иноземцев К.А., Барботько А.И. Определение параметров автоколебаний при сверлении // Вісник інженерної академії України: Сб. докладів 2-й міжнародної науково-технічної конференції «Фізическіе і комп'ютерніе технології в народному господарстві». – Київ, 2000. С. 228-231.
2. Иноземцев К.А., Малыхин В.В. Метод управления интенсивностью автоколебаний при сверлении // Вісник інженерної академії України: Сб. докладів 2-й міжнародної науково-технічної конференції «Фізическіе і комп'ютерніе технології в народному господарстві». – Київ, 2000. С. 232-235.
3. Серебрянников М.Г. Гармонический анализ – М.; Л.: Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1948. – 504 с.
4. Филиппов А.П. Колебания механических систем. – Киев: Наукова думка, 1965. – 716 с.

УДК 621.91.678.5

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ ВОЛОКНИСТЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Хавин Г.Л., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The physical features for cutting of fiberglass plastic are considered. Using experimental data the theoretical justification of cutting is made. This theoretical justification put as a basis of mathematical model of cutting of fiberglass plastic from the position of fracture mechanics.

Явления деформации и разрушения при резании связаны с сопротивлением обрабатываемого материала внедрению режущего инструмента, который при обработке волокнистых стеклопластиков, принимается абсолютно жестким. Это обусловлено различием физико-механических свойств. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что при резании полимерных стеклопластиков поверхностное разрушение носит чисто хрупкий характер и происходит без видимых пластических деформаций. Несмотря на то, что объем разрушаемого материала, ограничен и сильно неоднороден, при рассмотрении процесса резания его можно трактовать как последовательность актов зарождения, роста и слияния микротрещин в магистральные трещины.



Рис. 1. Обработанная поверхность (резание поперек волокон).

Таким образом, к разрушению при резании стеклопластиков, армированных хрупкими волокнами или жгутами, применимы основные положения механики хрупкого разрушения. С другой стороны местное разрушение – локальное механическое резание полимерных композитов, помимо сложностей присущих макроскопическому разрушению материалов такого класса, обладает рядом специфических особенностей, проявляющихся на местном уровне.

Используя материалы съемки обработанной поверхности волокнистого стеклопластика, представленные с согласия автора из работы [1], сформулируем несколько положений, характеризующих процесс разрушения при контактном взаимодействии режущего клина и армированного стеклопластика.

Анализируя вид обработанной поверхности, представленный на рис.1 можно сделать вывод о том, что при подрезании материала стеклопластика связующее между волокнами (жгутами) выкрашивается или настолько растрескивается, что механического сопротивления не оказывает. Используя это наблюдение можно сделать вывод, что при резании стеклопластика его местное сопротивление определяется развитием трещин в жгутах (волокнах).

Другой важный вывод заключается в том, что упругое отжатие или восстановление слоя обрабатываемого материала это следствие вдавливания разрушенных жгутов (волокон) в матрицу. При этом износ по задней поверхности (риски и полосы износа) являются следствием наезжания и вдавливания острых и неравномерно разрушенных по высоте жгутов (волокон) в матрицу.

Из анализа рис.2 можно сформулировать следующее заключение. Разрушение жгутов (волокон) вследствие движения магистральной трещины (макротрещины) всегда происходит под некоторым углом к направлению армирования и носит смешанный характер среза-отрыва.



Рис. 2. Разрушение жгутов стеклопластика под углом.

По всей видимости, можно в качестве гипотезы принять тот факт, что разрушение одного волокна (жгута) в волокнистом стеклопластике не влечет за собой немедленного разрыва соседнего в той же самой плоскости поперечного сечения.

При движении трещины в КМ существуют, по крайней мере, два механизма диссипации энергии [2] – вытягивание волокон из матрицы (связующего) и разрушение границ раздела. В первом случае дополнительное сопротивление движению трещины, развивающейся в композите, возникает вследствие преодоления сил трения между волокном (жгутом) и связующим (матрицей), во втором – при разрушении связей между ними. Оба механизма, как правило, действуют одновременно. На рис.3 представлен вид обработанной поверхности с выдернутыми жгутами. После разрушения волокна и растрескивания матрицы следует извлечение волокна из оболочки матрицы. Любая сдвиговая сила трения противодействует силе, приложенной к волокну. Средняя работа, необходимая для вытягивания волокна, длина заделки которого $0 < l < l_{кр}$ находится за плоскостью разрушения матрицы [3]:

ботанной поверхности с выдернутыми жгутами. После разрушения волокна и растрескивания матрицы следует извлечение волокна из оболочки матрицы. Любая сдвиговая сила трения противодействует силе, приложенной к волокну. Средняя работа, необходимая для вытягивания волокна, длина заделки которого $0 < l < l_{кр}$ находится за плоскостью разрушения матрицы [3]:

$$\bar{W}_{выт} = \left(1/l_{выт}\right) \int_{l=0}^{l=l_{выт}} W_{выт} dl'$$

вязкость разрушения

$$T_K = 2\tau l_{выт}^2 / 3d,$$

где τ – касательное напряжение; $l_{выт}$ – длина вытянутого волокна; d – диаметр волокна. Величины T_K имеют порядок 10^3 Дж/м² для стеклянных волокон в эпоксидной смоле, 10^4 Дж/м² для углеродных волокон в эпоксидной смоле, $10^3 - 10^4$ Дж/м² для углеродных волокон в алюминии.

В случае дискретных волокон длиной $l < l_{КР}$ они всегда вытягиваются из матрицы во время разрушения композита. Если $l > l_{КР}$, волокна, концы которых находятся на расстоянии $l_{КР}/2$ и ближе к поверхности трещины в матрице, вытягиваются; остальные подвергаются нагружению до их точки разрыва и разрушаются. Средняя работа, необходимая для вытягивания коротких волокон, и вязкость



Рис. 3. Обработанная поверхность с выдернутыми жгутами.

разрушения соответственно определяются из выражения

$$\bar{W}_{выт} = \int_0^{l/2} \pi d \tau l^3 dl / 2 \int_0^{l/2} dl,$$

$$T_K = \tau l^3 / 6d, \quad l < l_{КР}.$$

Предел выбран $l/2$, а не l , поскольку волокно, пересекающее трещину в матрице, всегда вытянуто из поверхности разрушения, в которой волокно наименее заделано. Когда волокно длиннее $l_{КР}$, т.е. $l > l_{КР}$, извлекается лишь доля $l_{КР}/l$ из них, а остальные разрушаются в плоскости матричной трещины.

Работа выполнена в рамках проекта М2304 финансируемого министерством образования и науки Украины.

Литература

1. Везуб Н.В. Научные основы высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов. Автореф. дисс. да соиск. учен. степ. докт. техн. наук. – Харьков, 1995. – 43 с.
2. Механическая обработка волокнистых полимерных композитов / Везуб Н.В., Тарасюк А.П., Хавин Г.Л., Гетманов А.А. – Харьков: Изд-во ХНАДУ (ХАДИ), 2001. – 180 с.
3. Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения. – М.: Металлургия, 1979. – 279 с.

УДК 621.924.6.088.8

ПЯТОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Настасенко В.А., канд. техн. наук

(г. Херсон, Украина)

The paper rapidly of new construction hobs on basis of patent Russia №№ 2124421, 2134183, 2134184, 2147495, 2147496, 2169061 and parameters this hobs.

К новым поколениям технических систем относятся такие, которые в целом отвечают общим исходным принципам, но имеют качественно более высокий уровень достигаемых результатов при изготовлении, эксплуатации и пр. У червячных фрез, главным отличительным признаком которых является выполнение режущих кромок зубьев на винтовой поверхности основного червяка, также можно выделить ряд поколений. Созданные в Англии в 1856 году червячные фрезы 1-го поколения имели цельную цилиндрическую конструкцию из инструментальных сталей, зубья которых имели радиальную переднюю поверхность с нулевым передним углом, сформированную стружечными канавками, и радиально-затылованную заднюю поверхность, полученную затылованием по спирали Архимеда. Такие фрезы, усовершенствованные лишь за счет более износостойких инструментальных материалов и покрытий, до настоящего времени наиболее широко применяются как при черновой, так и при чистовой обработке незакаленных зубчатых колес. Объясняется это тем, что по сравнению с другими применяемыми конструкциями фрез, они являются наиболее простыми и дешевыми в изготовлении и эксплуатации и имеют наибольшую точность, вплоть до ААА класса.

Ко 2-му поколению червячных фрез можно отнести усовершенствованные в 20...90-е годы XX века конструкции из быстрорежущих сталей, предусматривающие улучшение геометрии режущего клина – выполнение положительного переднего и увеличенного заднего углов вдоль вершинной и боковых режущих кромок зубьев,

в т.ч. – за счет разного наклона стружечных канавок выполнение вогнутой криволинейной передней поверхности и неархимедовой затылованной задней поверхности.

К 3-му поколению червячных фрез можно отнести усовершенствованные в 50...90-е годы XX века конструкции с прогрессивной схемой резания чередующимися зубьями разной высоты и толщины, высотной коррекции зубьев, выполнение глобоидной и других форм наружной поверхности.

К 4-му поколению червячных фрез можно отнести создаваемые с 50-х годов XX века и по настоящее время конструкции цельных твердосплавных и сборных червячных фрез, оснащенных сменными рейками или зубьями из твердых сплавов или сверхтвердых инструментальных материалов.

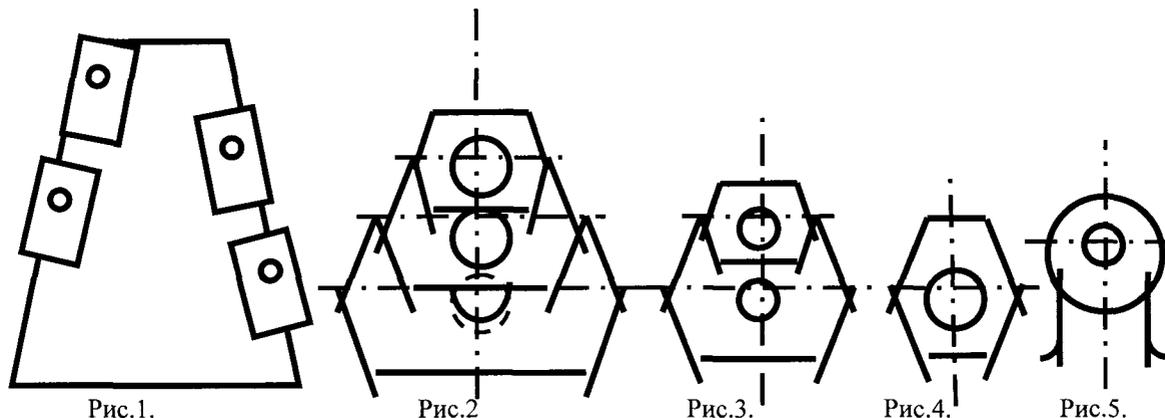
Анализ работоспособности червячных фрез всех указанных поколения показал, что фрезы с оптимальной геометрией и формой зубьев не дали существенного изменения исходных показателей, кроме улучшения условий резания, т.к. повышение стойкости в 2 раза сопровождалось значительным (до 50%) сокращением количества возможных переточек, при резком усложнении условий их эксплуатации [1], что исключило возможности их широкого применения. Аналогичный вывод можно сделать для фрез с оптимальной формой и параметрами наружной поверхности, их недостатками являются усложнение изготовления и ухудшение условий эксплуатации, связанное с необходимостью постоянной установки, что не допускает осевых передвижек и увеличивает расход фрез (исключение составляют фрезы-улитки, обеспечивающие новые условия формирования профилей зубьев изделий, недоступных для обработки цилиндрическими. Применение цельных фрез из твердого расширило диапазон по условиям резания лишь для малых модулей, поскольку их диаметр не превышает 60 мм. Хотя данный недостаток устранен у сборных фрез из твердого сплава и СТМ, дающих дополнительный эффект за счет сокращения расхода инструментальных материалов и расходов на эксплуатацию путем многократного применения корпуса, их существенным недостатком является более высокая стоимость по сравнению с цельными быстрорежущими фрезами. Поэтому экономичное применение как сборных, так и цельных твердосплавных червячных фрез, ограничено лишь чистовой обработкой зубчатых колес с закаленными зубьями, или черновой обработкой колес с большой длиной зубчатого венца, что требует устранения указанного недостатка.

В настоящее время разработаны червячные фрезы [2,3,4], параметры которых позволяют отнести их к 5-му поколению. Их отличительными признаками являются:

- 1) исключение необходимости затылования и переточек зубьев при изготовлении и эксплуатации за счет применения неперетачиваемых сменных пластин из твердого сплава или СТМ;
- 2) оснащение зубьев одной, а для уменьшения расхода, вызванного неравномерным износом у головки и ножки зуба фрезы – двумя или тремя неперетачиваемыми сменными пластинами из твердого сплава или СТМ в плоскости передней поверхности;
- 3) увеличение количества режущих зубьев на виток до 100...120 в пределах стандартных диаметров;
- 4) увеличение количества заходов до 10...20;
- 5) возможность выполнения оптимальной геометрии и формы всех режущих кромок пластины.

Основные конструктивные исполнения таких фрез приведены на рис. 1 – 5.

Схема установки пластин, приведенная на рис. 1, предпочтительна для черновых фрез модуля $m > 12$ мм, на рис 2 – для черновых фрез модуля $6 < m < 12$ мм, поскольку обеспечивает смену пластин в зависимости от интенсивности их износа (наибольший – на вершине зубьев) в соотношении 15:3:1. Схема на рис. 3 – предпочтительна для черновых фрез модуля $3 < m < 6$ мм, где размещение 3-х пластин затруднено. Схема на рис. 4 – предпочтительна для черновых фрез $m < 3$ мм и чистовых фрез $m < 6$ мм. Схема точечного профилирования, приведенная на рис. 5, целесообразна для чистовой обработки при любых модулях и наиболее эффективна для СТМ и ротационного крепления пластин.



Важной конструктивной особенностью предлагаемых фрез с установкой пластин по схемам 4 и 5 является размещение их на пружинах, введенных в канавки на корпусе фрезы, что позволяет увеличить количество размещаемых пластин на одном витке до 60...120 штук. Пластины могут чередоваться с клиновыми вставками, что упрощает изготовление корпуса.

Режущие свойства предлагаемых фрез на порядок выше, чем у известных, что отвечает всем признакам нового поколения. При этом лишь многозубые многозаходные червячные фрезы могут обеспечить реальное повышение производительности, т.к. для зубообработки ограничивающим фактором является волнистость h_z (высота макронеровностей, сформированных на зубьях изделия от выхода вершин зубьев фрезы в направлении ее осевой подачи $s_{об.см.}$). Объясняется это тем, что из всей совокупности параметров, реально обеспечивающих рост производительности (П) червячных фрез (скорости резания v , подачи $s_{об.см.}$, наружного диаметра $D_{аф}$, количества зубьев фрезы $z_{ф}$), к наименьшему суммарному снижению стойкости приводит увеличение подачи $s_{об.см.}$ [5], а именно она наиболее сильно влияет на волнистость, величина которой определяется по зависимости: $h_z = s_{об.см.}^2 \sin \alpha_0 / (4D_{аф} \cos^3 \beta_0)$, где α_0 – угол профиля зуба фрезы, β_0 – угол наклона зубьев колеса, $D_{аф}$ – наружный диаметр фрезы.

Например, твердосплавные и сверхтвердые материалы, за счет более высоких режущих свойств, позволяют для фрез $m = 5$ мм обеспечить рост подачи на зуб до 0,1 мм. При этом подача на оборот фрезы с числом реек $z_{ф} = 10$, составит 1 мм/об.ф. Однако, при обработке однозаходной фрезой зубчатых колес с $z_k > 5$ зубьев, это приведет к подаче $s_{об.см.} = 5$ мм/об.ст., что сформирует волнистость $h_z > 17$ мкм, которая превышает предельную величину допуска f_f на погрешность профиля зуба колеса по ГОСТ1643-72, начиная с 9-й степени точности. Дальнейшее увеличение числа зубьев колеса потребует пропорционального снижения подачи $s_{об.см.}$ и связанной с ней s_z , что исключит использование резерва по стойкости от повышения режущих свойств новых материалов. Для многозаходных фрез подача на зуб $s_z = k s_{об.см.} / z_{ф} z_k$, поэтому при одинаковых с однозаходными фрезами $s_{об.ст}$ она может быть увеличена пропорционально числу заходов k в пределах, обусловленных повышением режущих свойств. Таким образом, потенциальные возможности таких фрез значительно расширяются за счет применения твердосплавных инструментальных материалов и СТМ, а за счет увеличения зубьев на виток до 100...120 и числа заходов до 10...20 – превышают потенциальные возможности всех известных червячных фрез. Переход к широкому применению таких фрез стал возможен потому, что у них устранены основные недостатки многозаходных фрез:

1) рост огранки h_t (высота макронеровностей профиля зуба изделия, сформированная в направлении от вершины к ножке зуба следами резания последовательно участвующих в процессе режущих кромок зубьев фрезы), которая компенсируется увеличением числа реек (зубьев) фрезы на виток;

2) снижение точности фрезы при увеличении угла подъема ее витков (искажение винтовой поверхности режущих кромок фрезы, возникающие в результате отклонения винтовой поверхности цилиндрического червяка от профилирующей его плоской исходной инструментальной рейки), которое компенсируется переходом к гиперболоидной форме основного червяка.

Кроме того, предлагаемые фрезы, за счет высокой технологичности изготовления режущих пластин простейших форм, например, круглой, и конструкций точечного профилирования [6], обеспечивают возможность достижения класса точности выше ААА на уже имеющемся оборудовании, (для других исполнений фрез – требуется усовершенствование высокосложного и дорогостоящего затыловочного и заточного оборудования). Точность таких фрез, за счет исключения переточек и изменения вызванных этим условий обкатки, сохраняется постоянной на протяжении всего периода их эксплуатации. Режущие свойства, за счет сохранения покрытия на всех поверхностях пластин при исключении их переточек, также сохраняются постоянными на протяжении всего периода эксплуатации. Эффективность предлагаемых фрез составляет 1..2 тыс. \$ на каждую для изготовителя и потребителя и увеличивается за счет многократного применения корпуса и роста производительности зубообработки. Совокупность указанных факторов подтверждает, что предлагаемые червячные фрезы 5-го поколения являются наиболее перспективными зуборезными инструментами на ближайших 30..50 лет. Ряд конструкций подобных фрез, защищенных патентами Российской Федерации №№ 2124421, 2134183, 2134184, 2147495, 2147496, 2169061, в настоящее время изготавливается малым предприятием “Фирма ЧС” (а/я 141, Почтамт, 73000, г. Херсон, Украина) и будет испытан к концу 2002 года, после чего будет развернуто их серийное производство.

Приведенные данные показывают, что разработка и эксплуатация предлагаемых червячных фрез 5-го поколения обеспечивает не только расширение технико-экономических возможностей зубообработки, но и способствует развитию и созданию новых рабочих мест в инструментальной промышленности Украины для удовлетворения потребностей в данных фрезах как внутри страны, так и за рубежом.

Литература

1. Настасенко В.А. Исследование червячных фрез с усовершенствованной формой передней и задней поверхностей //СТИН. 2000. № 6. с.17-21.
2. Настасенко В.А. Новый вид червячных зуборезных инструментов и их САПР //Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Материалы V междунар. науч.-техн.конф. — Донецк: ДонГТУ, 1998. Т2. с.248-251.
3. Nastasenko V.A. Development of perspective designs of worm teeth cutting tools and methods of their designing. //4th World Congress on Gearing and Power Transmission. – Paris, France: M.C.I. 1999. T1. p.507-514.

4. Настасенко В.А. Новое направление в разработке червячных зуборезных инструментов с поворотными неперетачиваемыми пластинами //Современные проблемы и методология проектирования и производства силовых зубчатых передач: Сб. науч. трудов. –Тула: ТГУ, 2000. с. 145-148.
5. Настасенко В.А. Зубонарезание многозаходными червячными фрезами как альтернатива
6. зубопротягиванию. //СТИН. 2001. №1. –с27-31.
7. Настасенко В.А. Червячные фрезы нового вида и их САПР //Вестник машиностроения. 2000. № 8, с.28-32.

УДК 621.757

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНЗИТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ СБОРКИ УЗЛОВ “ЭЛАСТИЧНОЕ КОЛЬЦО — КАНАВКА БАЗОВОЙ ДЕТАЛИ”

Медведева В.В.

(г. Севастополь, Украина)

The installation processes of elastic rings in outside and internal grooves of details are considered. The expediency of usage of transitive units is described and the concrete examples of its inserted constructive implementation are reduced.

Повышение уровня автоматизации сборочных процессов является одной из актуальных научно-практических задач. Это объясняется значительным отставанием этого показателя сборочного производства по сравнению с механообработкой и требованиями потребительского рынка.

В структуре сборочных единиц особое место занимают узлы с эластичными кольцевыми деталями, устанавливаемыми в наружные и внутренние канавки базовых деталей. В качестве эластичной кольцевой детали в настоящей статье рассматривается кольцо круглого сечения — тор — в силу высокой технологичности и широкой применимости во всех отраслях отечественного производства.

Проводимые исследования сборки узлов “эластичное кольцо — канавка базовой детали” [1, 2] позволили выявить наиболее перспективный, экономичный и высокопроизводительный вариант сборки, позволяющий существенно повысить уровень автоматизации процесса — использование базовой детали в качестве органа деформирования эластичного кольца как необходимого действия для обеспечения сопряжения деталей. Однако обзор отечественной и зарубежной патентной информации показал, что патентуемые способы и устройства указанного вида применимы для узкой группы базовых деталей, характеризующейся соотношением

$$\frac{L_{БД}}{D_{БД}} \leq (0,65...0,80),$$

где $L_{БД}$ — расстояние от торца базовой детали до канавки, мм; $D_{БД}$ — диаметр уплотняемой поверхности, мм.

Указание диапазона, а не конкретного значения отношения объясняется тем, что собираемые кольца имеют различные количественные показатели деформируемой способности. Вместе с тем цилиндрическая поверхность, предшествующая канавке, должна быть гладкой и не содержать проточек, резьбы, шестигранников и т.д. Однако практика показывает, что наиболее распространенными типами базовых деталей являются именно такие — содержащие элементы, затрудняющие подачу кольца (например, резьбу) или делающие ее невозможной (например, шестигранник большего диаметра). В связи с этим были проанализированы резервные возможности собираемых деталей и исполнительных механизмов по известной методике выявления скрытых резервов совершенствования технических объектов. Был найден способ существенного расширения области использования вышеуказанного вида сборки за счет использования так называемых транзитивных элементов.

Транзитивный элемент — это технический объект, на который предварительно устанавливается кольцо, после чего в облегченных условиях происходит его сталкивание в канавку — посадочное место. По своему функциональному назначению транзитивные элементы имитируют идеальную поверхность базовой детали без канавки, поэтому их можно назвать еще имитаторами.

Транзитивные элементы можно использовать при установке колец и в наружные, и во внутренние канавки базовых деталей с учетом специфики процесса; применение транзитивных элементов позволяет увеличить коэффициент автоматизации на 35-45%. Рассмотрим конкретные примеры разработок, оформленные в качестве заявок на изобретения и внедренные в производство.

Разработан способ сборки, основанный на применении транзитивных элементов. На гладкую цилиндрическую поверхность 1 транзитивного элемента 2 с помощью известных органов подачи (например, лотка 3 и до-сылающих роликов 4) устанавливается кольцо 5 (рисунк 1). При этом поверхность 1 имеет диаметр

$$D_{им} = D + 2...4мм,$$

где D — диаметр уплотняемой поверхности базовой детали, мм.

После установки кольцо 5 располагается на расстоянии $L_{ИМ} < D$ от торца транзитивного элемента, для того, чтобы кольцо не соскользнуло с поверхности 1. Далее внутрь транзитивного элемента коаксиально устанавливается базовая деталь 6 узла. Заключительным этапом сборки является сталкивание кольца с поверхности 1 в

канавку базовой детали 6, как показано на рисунке.

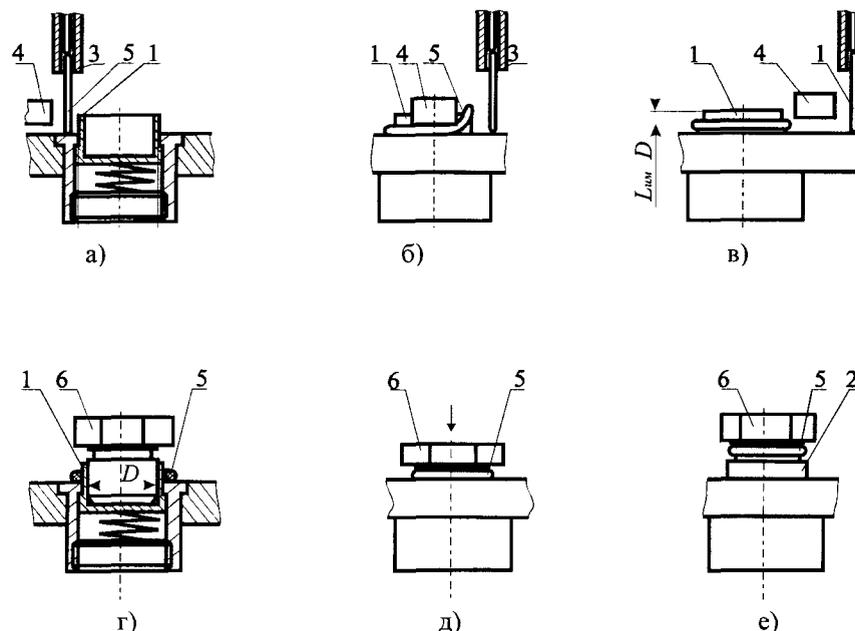


Рис. 1. Способ установки эластичных колец в наружные канавки деталей.

Разработано реализующее способ автоматизированное устройство для сборки узлов “обойма уплотнения — кольцо 016-019-19 ГОСТ 9833-73” и “заглушка — кольцо 016-020-25 ГОСТ 9833-73” [2]. Устройство внедрено в ОАО “Мелитопольский завод тракторных гидроагрегатов”. Особенностью устройства является использование

Предложено конструктивное решение, позволяющее устанавливать эластичные кольца во внутренние канавки деталей в автоматическом режиме и использовать его для сборки в отечественных условиях распределителей-задвижек типов W-3-M5...W-3-3/4, разработанных фирмой FESTO Pneumatic.

Прототипом автомата является конструкция, описанная в патенте №2043899 Российской Федерации (авторы Десятников А.В., Суриков А.Ю., Кристаль М.Г.). Автомат включает два вибробункерных загрузочно-ориентирующих устройства (ВБЗОУ) 1 и 2 для собираемых деталей, показанных на рисунке 2, исполнительный механизм 3 и выталкиватель собранных узлов 4. На позиции сборки располагается базировочная оправка 5 с цилиндрическим выступом 6. Исполнительный механизм 3 располагается на траверсе 7. Все механизмы установлены на столе 8 с фундаментом 9.

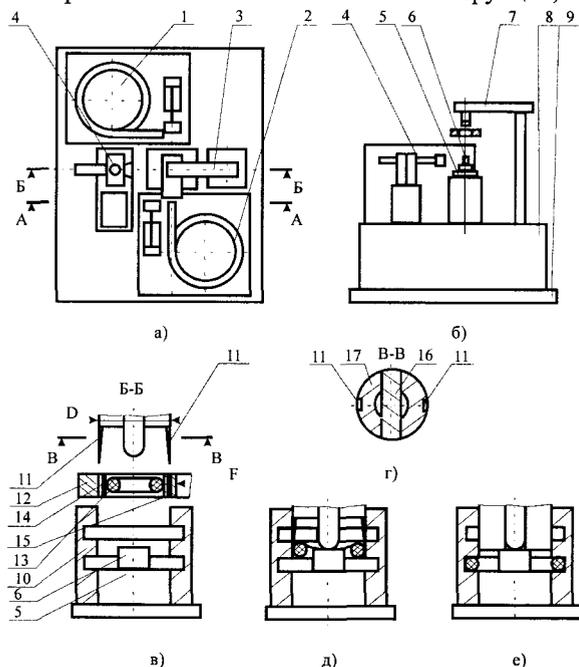


Рис. 2. Автомат для установки эластичных колец во внутренние канавки базовых деталей.

опускании исполнительного механизма ползун 16 захватывает кольцо, обеспечивая ему дополнительную деформацию. Это позволяет реализовать подачу кольца в отверстие детали 10. После того, как ползун 16 упрется в выступ 6 оправки 5, пуансон 17 продолжает опускаться и досылает кольцо в канавку.

Клиновидные элементы являются транзитивными, поскольку имитируют поверхность отверстия (в невяном

виде). Такие имитаторы для случая внутренних канавок могут использоваться не только для многоканавочных деталей, но и для случаев наличия резьбы, проточек и других конструктивных элементов на поверхности, предшествующей канавке.

Таким образом, применение транзитивных элементов позволяет существенно расширить технологические возможности сборочных устройств и оборудования, повысить качество и уровень автоматизации сборочных процессов. При этом транзитивные элементы могут имитировать уплотняемую поверхность как явно, так и в неявном виде. Результаты разработок могут быть использованы в структуре САПР сборочных технологических процессов.

Литература

1. W. Miedwiediewa. Metodyka rozwiazywania nietypowych zadan montazu zespolow z elastycznymi pierścieniami // Technologia i automatyzacja montazu. — 2001. — №4. — С.23-26.
2. Новоселов Ю.К., Медведева В.В. Повышение уровня автоматизации процесса сборки уплотнительных узлов автотранспортных средств // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. Вып. 17. — Донецк: ДонГТУ, 2001. — С.136-140.

УДК 378.147

МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЗАНЯТИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ И ШКОЛЬНИКОВ

Медведева В.В.

(г. Севастополь, Украина)

The variant of a module structure of occupations at higher and average schools is offered. The outline of units is circumscribed; the outcomes of its usage are reduced at holding occupations on faculty Machine Industry and Transport of the Sevastopol National Technical University and with the schoolboys.

В настоящее время все более широкое распространение получает модульный принцип формирования занятий при обучении. Он позволяет повысить качество преподавания и превратить педагогический процесс в технологический [1, 2]. При формировании модульной структуры занятий в высшей школе необходимо обращать внимание на следующие аспекты:

- помимо внутримодульных связей, занятие обязательно должно иметь и внешнемодульные; при этом под внутримодульными связями понимаются связи в рамках занятия, между занятиями, между темами и разделами в рамках дисциплины; под внешнемодульными соответственно — между дисциплинами, уровнями обучения и т.д.;

- учитывая, что студенты первых курсов допускают традиционные ошибки в процессе освоения вузовских дисциплин, необходимо обеспечить многоплановые и многоуровневые связи между занятиями средней и высшей школ.

Таким образом, модульность занятий обеспечит высокую результативность последних только при условии комплексного подхода к обучению на всех уровнях.

В процессе преподавания на кафедре Машиностроения и транспорта Севастопольского национального технического университета были выявлены наиболее важные, по мнению автора, модули занятий и составлена их иерархическая структура. Компьютерная версия проведенной в этом направлении работы позволяет резко повысить результативность преподавания и успеваемость студентов. При этом уже на высоких уровнях иерархии имеет значение форма занятия — лекция, лабораторная работа, семинар, консультация. Особое внимание хочется обратить на консультационные занятия. Традиционно считается, что это ответы преподавателя на вопросы студентов перед экзаменом или в процессе выполнения курсовых, выпускных, дипломных и магистерских работ. Однако консультация — это полноценное занятие, которое необходимо готовить и строить не менее тщательно, чем остальные формы.

Ниже приведен фрагмент (в силу большого объема) иерархической системы формирования занятий по модульным схемам. Для каждого звена этой системы подобраны базы данных, позволяющие вести высокопродуктивную подготовку занятий:

1. Подача нового материала:
 - 1.1. Методы:
 - 1.1.1. Проблемно-поисковый
 - 1.1.2. Дедуктивный
2. Контроль:
 - 2.1. Время проведения:
 - 2.1.1. Предварительный
 - 2.1.2. Текущий
3. Диагностика и коррекция:
 - 3.1. Психологические свойства:
 - 3.1.1. Активность

- 3.1.2. Психологический тип
- 3.2. Познавательные способности:
 - 3.2.1. Тип восприятия
 - 3.2.2. Память
- 3.3. Мотивы, склонности:
 - 3.3.1. Приоритетные цели учебы
- 3.4. Особенности характера и поведения:
- 4. Организация занятия:
 - 4.1. Обучающий — обучаемый
 - 4.2. Обучаемый — обучаемый
 - 4.3. ПЭВМ — обучаемый

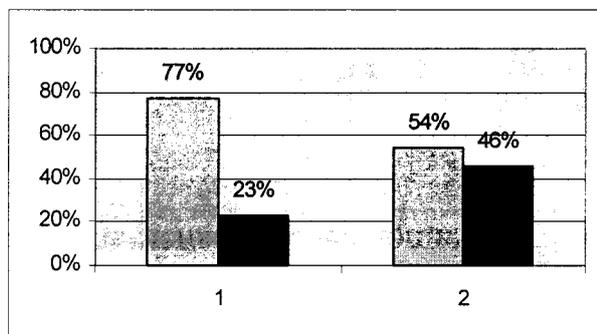


Рис. 1. Сравнительные результаты исследования “Мотивация обучения”: 77% и 54% — внутренняя мотивация соответственно в 1-ой и 2-ой группах; 23% и 46% — внешняя мотивация.

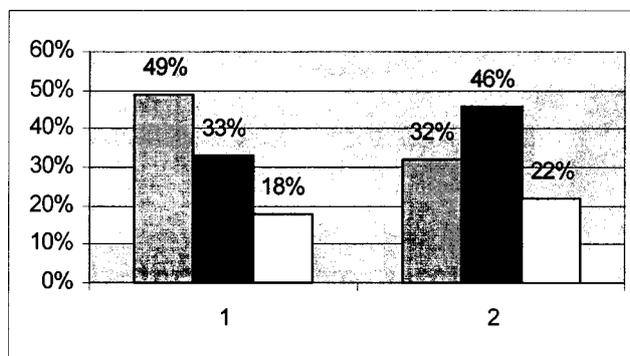


Рис. 2. Сравнительные результаты исследования “Усвоение материала”: 49% и 32% — высокая степень усвоения; 33% и 46% — средняя степень; 18% и 22% — низкая степень.

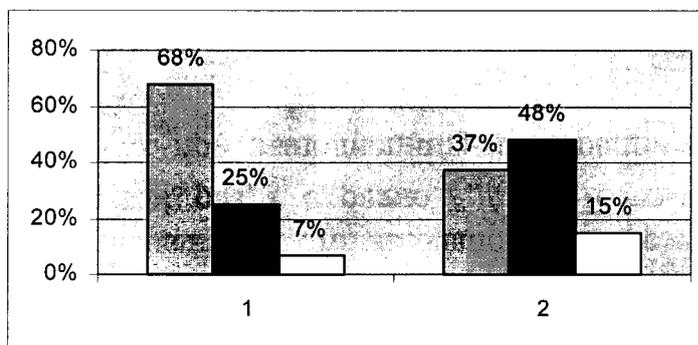


Рис. 3. Сравнительные результаты исследования “Концентрация внимания”: 68% и 37% — высокая концентрация внимания; 25% и 48% — средняя концентрация; 7% и 15% — низкая концентрация.

В процессе работы со школьниками по разработанным автором программам развития творческих способностей была сформирована модульная структура тематических модулей для учащихся старших классов в рамках дисциплины “Технология творчества”. Эти модули предназначены для профориентационной работы и формированию у школьников умений и навыков, необходимых для успешной учебы в высшей школе. Соответственно этому модули делятся на две большие группы:

- универсальные;
- вариативные (условно отнесенные к основным типам профессий и включаемые в программу в соответствии со специализацией класса (группы) учащихся; в конкретной программе модули могут быть скомбинированы).

Ниже представлен фрагмент этой иерархической программы, составленной по модульному принципу. Приняты обозначения: МУ — модуль универсальный; МВ — модуль вариативный; Ч — тип профессии “человек — человек” по предмету труда (по классификации Е.А. Климова); Т — “человек — техника”; З — “человек — знаковая система”; П — “человек — природа”; Х — “художественный образ”.

МУ1. Твоя профессия: прошлое, настоящее, будущее.

МУ2. Познай себя: твои склонности, возможности, способности.

МУ3. Мир логики: доказательства и опровержения.

МУ4. Основы систематизации: упорядочение предметов и явлений.

МУ5. Информация: получение, обработка, использование.

МУ6. Искусство быть читателем: что и как читать.

МУ7. Язык как система: основы лингвистики.

МУ8. Моделирование как категория познания: исследование объектов и процессов.

МВЧ1. Умение общаться: эффективность речевой коммуникации

...

МВЧ8. Как организовать свое дело: планы и их реализация.

МВТ1. Технохроника: история развития машин.

...

МВТ8. Как продать свою продукцию: профессия — реклама — творчество.

МВЗ1. Семиотика: знаковые системы природы и человека.

...

МВЗ8. Фирменный знак: формула успеха.

МВП1. Познание мира: общие законы природы.

...

МВП8. Путь к гармонии: социальная экология.

МВХ1. Ассоциации: создание образов.

...

МВХ8. Modus: влияние моды на жизнь человека.

МУ9. Учись учиться: технология самостоятельной работы.

МУ10. Адаптивность мышления: самостоятельный выбор и принятие решений.

Занятия по этим программам проводятся в течение 8-ми лет; получены высокие результаты, на основе которых сделаны методологические обобщения. Интерес представляет комплекс модульных блоков, для школьников и студентов, реализующий принцип непрерывного образования.

На протяжении 5-ти лет проводились исследования студентов, обучавшихся по программам “Технологии творчества” (условно — группа 1) и не прошедших такого обучения (группа 2). Исследования включали комплекс диагностических заданий в явной и скрытой форме: “Мотивация обучения”, “Усвоение материала”, “Концентрация внимания”. На рисунках 1-3 представлены сравнительные результаты выполнения заданий.

Эти данные подтверждают результативность описанного подхода и программ. Результаты разработок могут быть использованы в работе с абитуриентами и студентами.

Литература

1. Интегративный аспект подготовки инженерных кадров. В сб. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2002. — С.311-314.
2. Модульная структура профориентационной работы со школьниками и студентами. В сб. Образовательная система как технологический комплекс — шаг в XXI век. — Севастополь: СевГТУ, 1999. — С.13-17.

УДК 621.9.

ПРИЧИНЫ ВИБРАЦИИ ШПИНДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ

Наддачин В.Б., канд. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

The causes of chattering of a spindle system of the machine tool and their influencing on process of grinding

Появление на обрабатываемой поверхности волнистости связано с наличием колебаний шпиндельного узла, вызванных неуравновешенностью шлифовального круга или периодическими ударами инструментом с прерывистой рабочей поверхностью.

В данной статье рассматривается влияние прерывистости процесса резания на колебания шпинделя станка и процесс шлифования.

Наличие дисбаланса шлифовального круга, вызывает колебания системы “шлифовальный круг- шпиндель”, амплитуда которых зависит от величины смещения центра масс круга $A_o=f(E)$, а частота колебаний — от угловой скорости вращения $\omega=f(n_{об})$ (рис 2а).

Например: при вращении круга со скоростью $n_{об}=2700$ 1/мин, частота колебаний составляет $f=46$ Гц.

Кроме того, наличие прерывистого характера резания (при использовании кругов с прерывистой рабочей поверхностью по периферии) способствует дополнительным колебаниям шпинделя [1]. Это связано с тем, что в момент прохождения впадины круга над обрабатываемой поверхностью, из-за наличия зазора в подшипниках шпиндель “проседает”. При соприкосновении режущего выступа с обрабатываемой поверхностью происходит удар режущей кромки и отжатие системы (рис 1), т.е. происходят дополнительные колебания оси шпинделя, накладываемые на колебания, связанные с дисбалансом круга. Частота дополнительных колебаний зависит от количества режущих выступов на круге (рис 2).

Например: при количестве выступов $n = 4$ шт, $f = 182$ Гц; при $n = 12$ шт, $f = 546$ Гц, т. е. с увеличением количества выступов частота колебаний будет увеличиваться.

Таким образом, ось шпинделя станка в результате приведённых выше факторов будет совершать в плоскости сечения перпендикулярном оси шпинделя сложную замкнутую кривую, описываемую выражением

$$\begin{cases} Y = B * \sin \omega_0 t + U_y * \sin \omega_b t * \sin \omega_0 t, \\ Z = A * \cos \omega_0 t + U_z * \sin \omega_b t * \cos \omega_0 t, \end{cases} \quad (1)$$

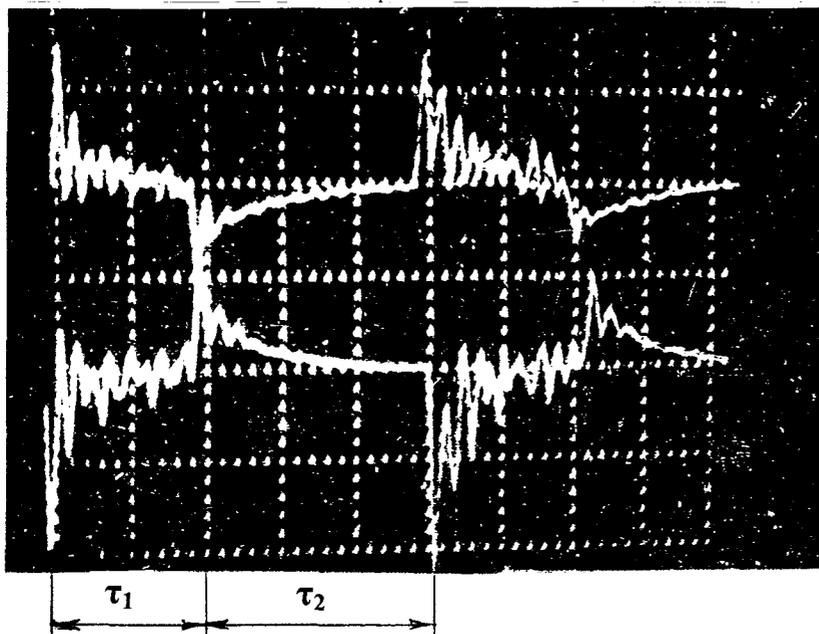


Рис. 1. Осциллограммы ударной нагрузки, возникающей в процессе шлифования прерывистым кругом: T_1 – время прохождения выступа; T_2 – время прохождения паза

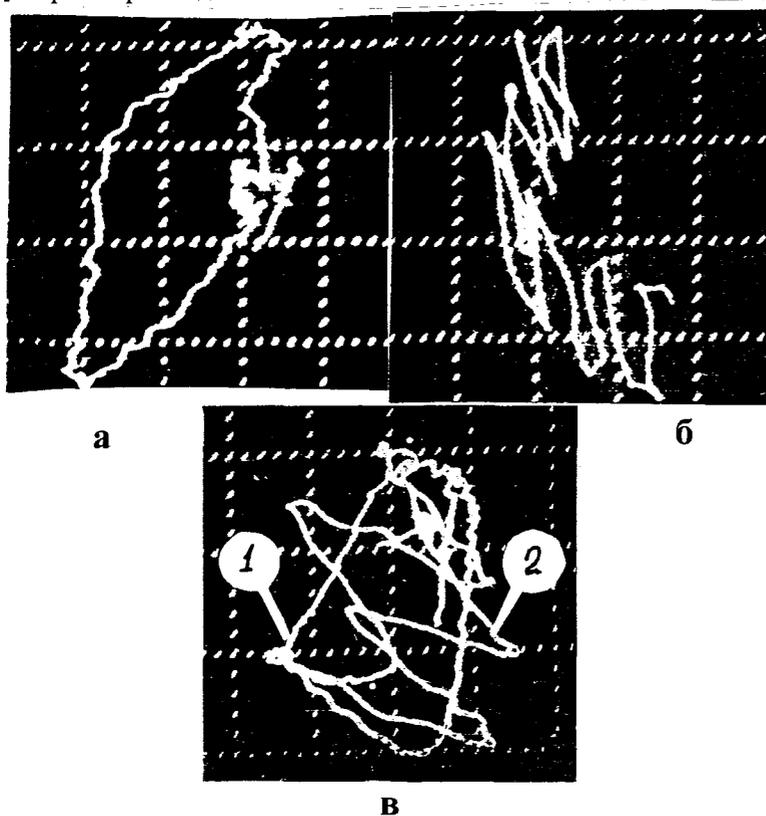


Рис.2. Экспериментально полученные осциллограммы виброперемещений.

определяющем положение оси в данный момент времени, где A и B – амплитуды горизонтальных и вертикальных (соответственно) колебаний, связанных с дисбалансом круга; U_y и U_z – амплитуды радиальных и тангенциальных колебаний, связанных с действием дополнительной (ударной) возмущающей силы; ω_0 и ω_b – круговая частота колебаний, связанная с дисбалансом круга и дополнительной возмущающей силой (соответственно).

На рис.2 представлены осциллограммы экспериментальных исследований центра шлифовального круга: перемещения центра круга (оси шпинделя) при холостом вращении в результате наличия дисбаланса (рис.2а); кривая виброперемещений (часть оборота) круга с 12 выступами (рис. 2б); виброперемещения (кривая 2) при обработке кругом с 4 выступами (рис.2в), наложенная на перемещения от дисбаланса круга (кривая 1).

В работе Прилуцкого В.А. [2] была высказана гипотеза о возможности управления параметрами волнистости (высотой и шагом) за счёт использования возбуждаемых в системе шпиндельного узла (из-за эксцентриситета круга) вынужденных колебаний, обеспечивающих эффект самоперерезания волн.

Эффект самоперерезания волн проявляется при условии, когда режущий контур круга проходит в разные промежутки времени дважды через одну и ту же точку поверхности.

Схема образования волнистой поверхности представлена на рис.3.

В идеальном случае перемещение центра шлифовального круга происходило бы по прямой 1. Формируемая при этом поверхность представляет прямую линию 2. В реальных условиях шлифования центр круга движется по кривой 1' (например, при наличии эксцентриситета круга). При этом, точка режущего контура круга будет принимать последовательно положения 1', 2', 3', 4' и т. д., создавая "мнимую" волнистость. Но, так как круг имеет ещё и

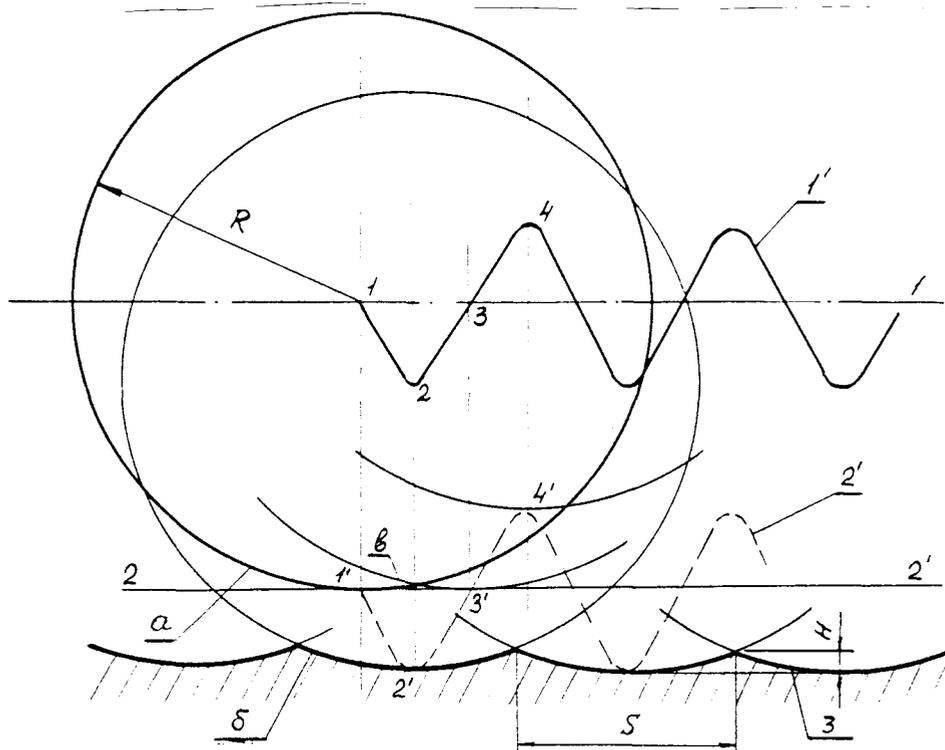


Рис.3. Схема образования волнистой поверхности.

определённый радиус R, а дуга окружности будет принимать ряд положений a, б, в, и т. д., то формируемая таким образом на поверхности детали кривая, будет представлять собой огибающую ряда пространственных положений шлифовального круга с радиусом R.

Система уравнений, описывающая формирования волнистости с учетом кинематики и динамики процесса, имеет вид

$$\begin{cases} X_g = X_{дин} + S \\ Y_g = Y_{дин} + S, \end{cases} \quad (2)$$

где $X_{дин}$ и $Y_{дин}$ – координаты профиля, связанные с динамикой процесса шлифования прерывистыми кругами;

$S = S' + S''$ и H – параметры макропрофиля. зависящие от конструкции прерывистых кругов (рис. 4).

Причём, проведённый расчёт высоты образующихся неровностей S и H даже при $V_g = 17$ м/мин и протяженности впадины $l_2 = 50$ мм (для круга $\varnothing 250$ мм) не превышает $H = 0,15$ мкм, т. е. фактически являются величиной 2-го порядка малости по сравнению с волнистостью, образуемой за счёт динамики процесса, и ими можно пренебречь.

Таким образом, координаты профиля волнистой поверхности с учётом амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний шлифовального круга, его радиуса R и продольного перемещения детали (Vg t) можно определить по следующей зависимости

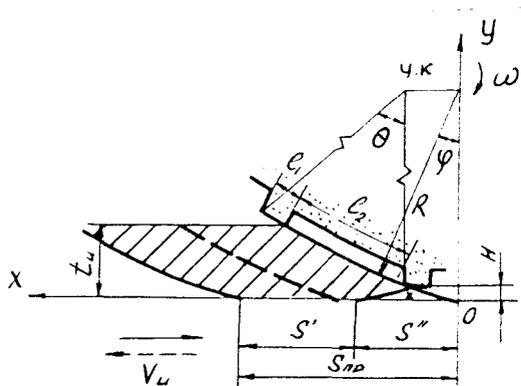


Рис.4. Схема формирования макропрофиля поверхности при плоском прерывистом шлифовании, с учётом только кинематики относительного движения круга и детали.

$$X_{дин} = (A_i + U_{z_i} \cdot \sin \omega_{\theta_i} \tau) \cdot \cos \omega_{c_i} \tau + V_{\partial} \cdot \tau + \frac{R_{кр} \cdot [(B_i + U_{y_i} \cdot \sin \omega_{\theta_i} \tau) \cdot \omega_{c_i} \cdot \cos \omega_{c_i} \tau + U_{y_i} \cdot \omega_{\theta_i} \cdot \cos \omega_{c_i} \tau \cdot \sin \omega_{c_i} \tau]}{V}, \quad (3)$$

$$Y_{дин} = (B_i + U_{y_i} \cdot \sin \omega_{\theta_i} \tau) \cdot \sin \omega_{c_i} \tau + \frac{R_{кр} \cdot [U_{z_i} \cdot \omega_{\theta_i} \cdot \cos \omega_{\theta_i} \tau \cdot \cos \omega_{c_i} \tau + V_{\partial} - (A_i + U_{z_i} \cdot \sin \omega_{\theta_i} \tau) \cdot \omega_{c_i} \cdot \sin \omega_{c_i} \tau]}{V};$$

где

$$V = \sqrt{[U_{z_i} \omega_{\theta_i} \cos \omega_{\theta_i} \tau + V_{\partial} - (A_i + U_{z_i} \sin \omega_{\theta_i} \tau) \cdot \omega_{c_i} \sin \omega_{c_i} \tau]^2 + [(B_i + U_{y_i} \sin \omega_{\theta_i} \tau) \omega_{c_i} \cos \omega_{c_i} \tau + U_{y_i} \omega_{\theta_i} \cos \omega_{\theta_i} \tau \sin \omega_{c_i} \tau]^2},$$

A_i и B_i – амплитуды колебаний (горизонтальная и вертикальная), вызванные дисбалансом круга для i -й гармоники; U_{z_i} и U_{y_i} – амплитуды вынужденных колебаний, вызванные наличием прерывистости процесса резания;

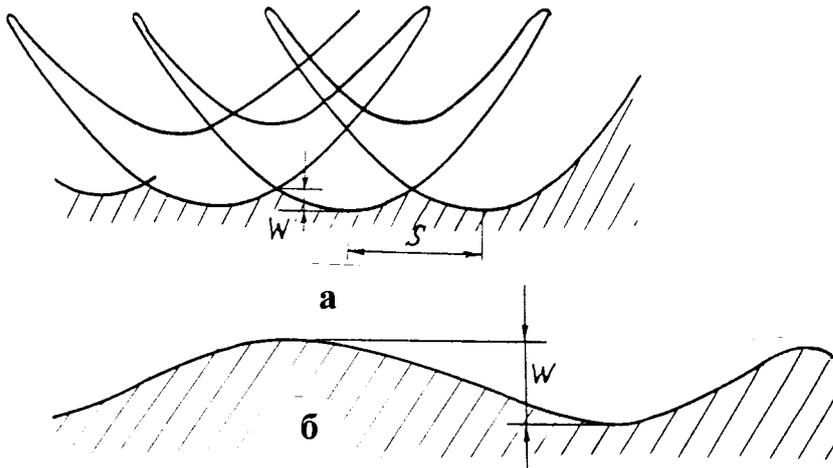


Рис.5. Вид кривой, формирующей волнистую поверхность, с учётом амплитуды и частоты колебаний при прерывистом шлифовании.

ω_{ci} и ω_{ei} – амплитуды колебаний, вызванные дисбалансом и прерывистостью процесса резания (соответственно); V_g – продольная подача стола; $R_{кр}$ – радиус круга.

Произведённые расчёты координат точек волнистости при прерывистом шлифовании показали, что формообразующая точка круга за период прохождения каждого режущего выступа совершает петлеобразное (осциллирующее) движение, уменьшая при этом высоту волны за счёт многократного перерезания её за период полного оборота круга (рис.5).

Результаты расчётов параметров волнистости в зависимости от режимов обработки и конструкции круга приведены в таблице.

Количество выступов Z	Протяжённость		Режим резания		Высота волны W, мм	Шаг волны S, мм
	выступа l_1 , мм	впадины l_2 , мм	V_g м/мин	t мм		
12	44	22	3	0,01	$0,8 \times 10^{-3}$	1,06
			17	0,05	$5,0 \times 10^{-3}$	6,35
8	64	32	3	0,01	$1,9 \times 10^{-3}$	1,1
			17	1,05	$10,6 \times 10^{-3}$	6,24

Из анализа приведённых данных видно влияние режимов и параметров круга на высоту и шаг волны. С увеличением количества режущих выступов от 8 до 12 при прочих равных условиях шлифования ($t = 0,05$ мм, $V_g = 17$ м/мин) высота волны уменьшается от $10,6 \times 10^{-3}$ мм до $5,0 \times 10^{-3}$ мм. В первом случае количество петлеобразных сглаживающих волну осциллирующих движений формообразующей точки за один оборот круга равно 8, а во втором – 12. Увеличение количества самоперезающих осциллирующих движений периферийных точек шлифовального круга уменьшает высоту волны.

Приведённые данные показывают, что за счёт подбора геометрических параметров кругов и режимов шлифования в довольно широких пределах можно управлять параметрами волнистости при прерывистом шлифовании.

Литература

1. Прилуцкий В. А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей. - М.: Машиностроение, 1978. - 136 с.
2. Наддачин В. Б. Использование вибраций в процессе резания // Ресурсо-энергосберегающие технологии в промышленности. / Матер. конф. 3-5. 09.1997г. Одесса. - 1997, - 4.2, - с. 66-67

УДК 621.91

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ НА КРОМКЕ ПОВЕРХНОСТИ УПРОЧНЯЕМОЙ ТРЕНИЕМ

Сизый Ю.А., докт. техн. наук, Погребной Н.А., канд. техн. наук, Волков О.А.
(г. Харьков, Украина)

This paper reports the conditions of the surface section heat is different on the different distance off the edge in the time of disk cutting in surface of material. The change of heat source dimensions take place in the time of the treatment by the steel disk is shown. The physical and mathematical tasks of temperature field description in detail on the section nearby of edge in the strengthening are presented. Besides the full decision of the task temperature field description in the detail strengthening is shown. The mathematical calculations are also presented. The theoretical and experimental data are compared.

При врезании стального быстровращающегося диска в упрочняемую трением поверхность размеры поверхности контакта его с ней растут до врезания диска на полную глубину. Очевидно, что условия нагрева и охлаждения участка поверхности прилегающей к кромке при врезании диска отличаются от условий при значительном удалении от нее. Прежде всего, имеет место изменение размеров источника тепла - поверхности контакта, а

также отличие условий теплообмена на торцевой поверхности (рис. 1) детали и на участке поверхности на значительном удалении от кромки. Рассмотрим физическую и математическую постановку задачи описания температурного поля в детали на участке, прилегающем к кромке упрочняемой поверхности. Поместим декартову систему координат, так как показано на рис. 1. Если толщина фрикционного диска больше ширины B , – упрочняемой поверхности, то боковые поверхности упрочняемой детали можно принять адиабатическими т. е. размеры источника тепла по оси z в положительном и отрицательном направлениях можно принять бесконечным. Адиабатической следует принять и плоскость $x = 0$.

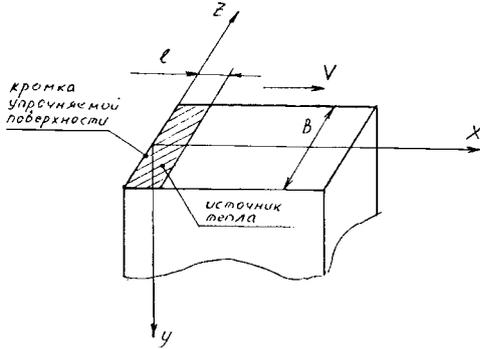


Рис. 1. Схема упрочняемого образца с тепловым источником в декартовой системе координат.

где $R_i^2 = (x - xu)^2 + y^2 + (z - zu)^2$; R_i – расстояние точки поверхности детали с координатами x, y, z , до какой-то точки в источнике тепла с координатами $x_u, z_u, y_u = 0$;

$$F(R_i, T - t) = \frac{1}{\lambda \sqrt{a} \cdot 4\pi^{3/2} (T - t)^{3/2}} \exp\left[-\frac{R_i^2}{4a(T - t)}\right].$$

Если подставить R_i и $F[(R_i, T - t)]$ в (1) и выполнить интегрирование по z то получим:

$$T_{\text{П.Н.}} = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^l dx_u \int_0^{t_1} \frac{dt}{T - t} \exp\left[-\frac{(x - xu)^2 + y^2}{4a(T - t)}\right]. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает температурное поле в полупространстве от полосового источника тепла длиной l действующего в течении времени t_1 в момент T наблюдения за температурным полем.

В рассматриваемой задаче источник тепла все время увеличивается в направлении оси x и достигает максимального размера по оси x равного L , когда глубина резания достигает своего максимума при $x = 0$. Этот увеличивающийся источник можно представить суммой дискретных источников разбив его на n источников длиной $b = \frac{L}{n}$, как показано на рис 2.

Выбирая b достаточно малой величиной, принимаем, что 1-й источник вспыхивает мгновенно в момент времени $t = 0$ и действует в течении времени от 0 до $\frac{L}{V}$. Таким образом температурное поле $T_1(x, y, T)$ в упрочняемой поверхности описывается уравнением (2) с подстановкой указанных выше пределов интегрирования:

$$T_1 = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^b \int_0^{\text{if}(T \leq \frac{L}{V}, T, \frac{L}{V})} \frac{1}{T - t} \exp\left[-\frac{(x - xu)^2 + y^2}{4a(T - t)}\right] dt dx_u. \quad (3)$$

Второй источник имеет длину от b до $2b$ и действует в течение времени от $\frac{b}{V}$ до $\frac{L}{V}$. При записи уравнения (2) для этого источника надо учесть, что подключается этот источник после времени $T = \frac{b}{V}$, а до времени $T \leq \frac{b}{V}$ он отсутствует. В соответствии с этим температурное поле $T_2(x, y, T)$ от второго источника описывается следующим образом

$$T_2 = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_b^{2b} \int_{\text{if}(T \leq \frac{b}{V}, 0, \frac{b}{V})}^{\text{if}(T \leq \frac{L}{V}, T, \frac{L}{V})} \frac{1}{T - t} \exp\left[-\frac{(x - xu)^2 + y^2}{4a(T - t)}\right] dt dx_u. \quad (4)$$

По аналогии можно записать (2) для n -го источника тепла:

$$T_n = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_{(n-1)b}^{nb} \int_{\substack{\text{if } (T \leq \frac{(n-1)b}{V}, 0, \text{ if } (T \leq \frac{nb}{V_2}, T, \frac{nb}{V_1})) \\ \text{if } (T \leq (n-1)\frac{b}{V}, 0, \frac{(n-1)b}{V})}} \frac{1}{T-t} \exp\left[-\frac{(x-xu)^2 + y^2}{4a(T-t)}\right] dt dx. \quad (5)$$

Температурное поле от удлиняющегося источника тепла будет суперпозицией температурных полей от всех п - дискретных источников, т. е. суммой полей от этих п - источников:

$$T_1 = \frac{q}{2\pi\lambda} \sum_{k=1}^n \int_{(k-1)b}^{kb} \int_{\substack{\text{if } (T \leq \frac{(k-1)b}{V}, 0, \text{ if } (T \leq \frac{L}{V}, T, \frac{L}{V})) \\ \text{if } (T \leq (k-1)\frac{b}{V}, 0, (k-1)\frac{b}{V})}} \frac{1}{T-t} \exp\left[-\frac{(x-xu)^2 + y^2}{4a(T-t)}\right] dt dx. \quad (6)$$

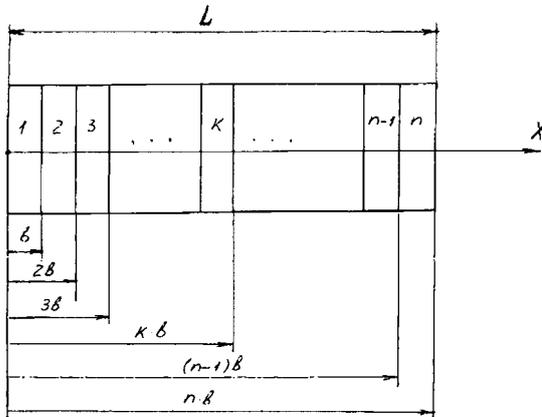


Рис. 2. Увеличивающийся источник тепла на упрочняемой поверхности.

Для того чтобы учесть адиабатичность плоскости $x = 0$ (см. рис. 1) нужно ввести мнимый источник такой, как и действительный, описанный выше, но симметричный действительному относительно плоскости $x = 0$. Температурное поле $T_2(x, y, T)$ для такого источника опишется уравнением (6) с заменой знака перед x на минус. Когда источник тепла достигнет максимальной длины то он уже не растет, а “отрывается” от кромки и движется в направлении оси x со скоростью V . Таким образом источник тепла превращается в движущийся и для описания температурного поля от такого источника надо к координате x добавить слагаемое $V(T-t)$ [1,2,3] в уравнении (2). В результате мы получаем описание температурного поля в движущейся вместе с источником системе координат вдоль оси x . У нас же координата точки отстоящей от кромки на расстояние x неизменна, и чтобы использовать решение в движущейся системе координат надо вместо x в (4) подставить $(x - Vt)$. Таким образом, описание температурного поля будет выглядеть следующим образом

$$T_3 = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^L \int_{\substack{\text{if } (T \leq \frac{L}{V}, 0, T) \\ \text{if } (T \leq \frac{L}{V}, 0, \frac{L}{V})}} \frac{1}{T-t} \exp\left[-\frac{[x - V(T - \frac{L}{V}) + V(T-t) - xu]^2 - y^2}{4a(T-t)}\right] dt dx. \quad (7)$$

Как и для “удлиняющегося” источника тепла, адиабатичность плоскости $x = 0$ учитываем введением мнимого движущегося источника симметричного действительному движущемуся относительно плоскости $x = 0$. Для этого используем решение (7) с заменой знака перед x на минус и получаем $T_4(x, y, T)$.

Полное решение задачи описания температурного поля $T_5(x, y, T)$ в упрочняемой детали для координат прилегающих к кромке упрочняемой поверхности получаем суперпозицией полей T_1, T_2, T_3 , и T_4

$$T_5 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (8)$$

На рис. 3 приведена распечатка расчета по описанной методике в пакете “Mathcad” изменения температуры в детали из стали 15X11МФ в точке отстоящей от кромки по оси x на 0,005 см и в глубину от упрочняемой поверхности, т. е. по оси y на 0,02 см. Фрикционный диск диаметром 250 мм режет с глубиной 0,7 мм при скорости подачи $V = 10$ см/с. При этом длина источника тепла L при полной глубине равна 1,4 см. Из распечатки видно, что основной вклад в нагрев детали оказывает реальный “удлиняющийся” источник тепла. Несколько меньший вклад вносит “удлиняющийся” мнимый и совсем малый вклад вносят движущиеся источники.

Рассмотрим решение аналогичной задачи, когда источник приближается к кромке, и “выходит” из контакта с упрочняемой поверхностью. Решение такой задачи выполняется аналогично, но в другой последовательности. Сначала описывается решение для движущегося, приближающегося к кромке источника, а затем от “уменьшающегося” по длине представленного суммой дискретных источников. Опуская подробное описание этой задачи, приведем слагаемые общего решения:

$$T_1 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (9)$$

где $T_1 = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^L \int_0^{\substack{\text{if } (T \leq T_s, T, T_s)}} \frac{1}{T-t} \exp\left[-\frac{[-xs - x - VT + V(T-t) - xu]^2 - y^2}{4a(T-t)}\right] dt dx,$

Расчет температуры детали у кромки поверхности при врезании диска в неё.

$a := 0.057 \quad \lambda := 0.064 \quad q := 748.031 \quad L := 1.4 \quad v := 10 \quad b := 0.05 \quad \Delta r := 0.0025 \quad i := 0.200$
 $r_1 := \Delta r + i \Delta r \quad y := 0.02 \quad x := 0.005 \quad a := \cos\left(\frac{L}{b}\right) \quad r1 := \frac{L}{v} \quad r2 := \frac{b}{v}$

$$T1(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \sum_{k=1}^{n} \int_{(k-1) \cdot b}^{k \cdot b} \int_{\text{if}(r \leq (k-1) \cdot v, 0, \text{if}(r \leq r1, r - 0.0000001, r1))}^{\text{if}(r \leq (k-1) \cdot v + 2, 0, \text{if}(r \leq r1, r - 0.0000001, r1))} \frac{e^{-\frac{(x^2 - 2x \cdot m + m^2 + y^2)}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T2(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^L \int_{\text{if}(r \leq r1, 0, r - 0.0000002)}^{\text{if}(r \leq r1, 0, r1)} \frac{e^{-\frac{(x-v(t-t1)+v(t-t1)-m)^2 - y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

...-0.005

$$T3(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \sum_{k=1}^{n} \int_{(k-1) \cdot b}^{k \cdot b} \int_{\text{if}(r \leq (k-1) \cdot v + 2, 0, \text{if}(r \leq r1, r - 0.0000001, r1))}^{\text{if}(r \leq (k-1) \cdot v, 0, \text{if}(r \leq r1, r - 0.0000001, r1))} \frac{e^{-\frac{(x^2 - 2x \cdot m + m^2 + y^2)}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T4(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^L \int_{\text{if}(r \leq r1, 0, r1)}^{\text{if}(r \leq r1, 0, r - 0.0000002)} \frac{e^{-\frac{(x-v(t-t1)+v(t-t1)-m)^2 - y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T(r) := T1(r) + T2(r) + T3(r) + T4(r)$$

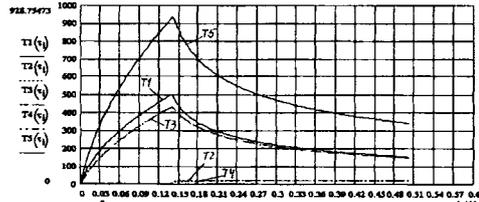


Рис. 3

Расчет температуры детали у кромки поверхности при выходе диска с поверхности.

$a := 0.08 \quad \lambda := 0.095 \quad q := 748.031 \quad L := 1.4 \quad v := 10 \quad b := 0.05 \quad \Delta r := 0.0025 \quad i := 0.250$
 $r_1 := \Delta r + i \Delta r \quad y := 0.02 \quad x := 4 \quad m := \frac{x \cdot b - L}{v} \quad n := \frac{L}{b} \quad x := 0.005 \quad n = 28$

$$T1(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^L \int_0^{\text{if}(r \leq m, r - 0.0000002, m)} \frac{e^{-\frac{(m-x-v\alpha+v(t-t1)-m)^2 - y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T2(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \sum_{k=1}^{n} \int_{0+k \cdot b}^{L} \int_{\text{if}(r \leq m + (k-1) \cdot \frac{b}{v}, 0, \text{if}(r \leq m + k \cdot \frac{b}{v}, r - 0.0000001, m + k \cdot \frac{b}{v}))}^{\text{if}(r \leq m + (k-1) \cdot \frac{b}{v} + 2, 0, \text{if}(r \leq m + k \cdot \frac{b}{v}, r - 0.0000001, m + k \cdot \frac{b}{v}))} \frac{e^{-\frac{(L-x-m)^2 + y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T3(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^L \int_0^{\text{if}(r \leq m, r - 0.0000002, m)} \frac{e^{-\frac{(m+x-v\alpha+v(t-t1)-m)^2 - y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T4(r) := \frac{q}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \sum_{k=1}^{n} \int_{0+k \cdot b}^{L} \int_{\text{if}(r \leq m + (k-1) \cdot \frac{b}{v}, 0, \text{if}(r \leq m + k \cdot \frac{b}{v}, r - 0.0000001, m + k \cdot \frac{b}{v}))}^{\text{if}(r \leq m + (k-1) \cdot \frac{b}{v} + 2, 0, \text{if}(r \leq m + k \cdot \frac{b}{v}, r - 0.0000001, m + k \cdot \frac{b}{v}))} \frac{e^{-\frac{(L+x-m)^2 + y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (r-t)}}}{r-t} \cdot dt dx$$

$$T(r) := T1(r) + T2(r) + T3(r) + T4(r)$$

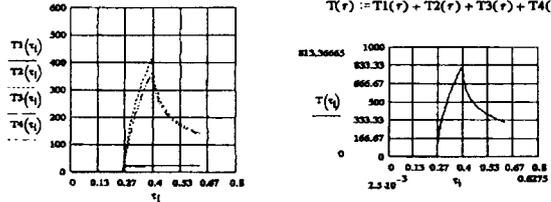


Рис. 4

$$T_2 = \frac{q}{2\pi\lambda} \sum_{k=1}^n \int_{kb}^L \int_{\substack{\text{if } (T \leq T_s + (k-1)\frac{b}{V}, 0, \text{ if } (T \leq T_s + \frac{kb}{V}, T, T_s + k\frac{b}{V})) \\ \text{if } (T \leq T_s + (k-1)\frac{b}{V}, 0, T_s + (k-1)\frac{b}{V})}} \frac{1}{T-t} \exp\left\{-\left[\frac{(L-x-xu)^2 + y^2}{4a(T-t)}\right]\right\} dt dx,$$

xs - расстояние по оси x до кромки, с которого принимаем начало действия движущегося источника тепла.

$$T_s = \frac{XS}{V}.$$

Температурные поля T3 и T4, это поля, от мнимых источников тепла симметричных T1 и T2 соответственно. Расчет по (9), для условий тех же что и при расчете температурного поля при врезании диска, приведен на распечатке расчета рис. 4. Представляет интерес сравнить полученные результаты с изменением температуры в точке далеко отстоящей по оси x от кромки на той же глубине 0,02 см. Для такого случая температурное поле описывается известным решением для движущегося полосового источника тепла перемещающегося по поверхности полупространства $y \geq 0$ при установившемся теплообмене ($T = \infty$):

$$T_{П.Д.} = \frac{q}{\pi\lambda} \int_0^L e^{\frac{-v(x-xu)}{2a}} K_0 \left[\frac{V}{2a} \sqrt{y^2 + (x-xu)^2} \right] dx, \quad (10)$$

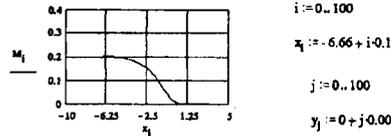
где $K_0(x)$ - модифицированная функция Бесселя 2^{го} рода, нулевого порядка.

Расчет интенсивности теплового потока в деталь и температуры в детали на большом удалении источника тепла от кромки упрочняемой поверхности

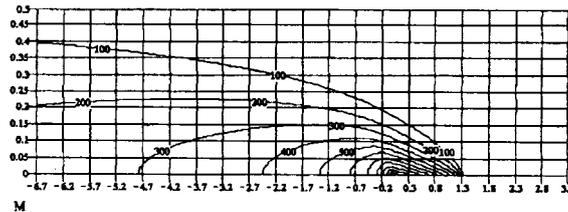
a:=0.057 λ:=0.064 v:=10 L:=1.4 y:=0.3 i:=0..100 x₁:= -6.67+ i-0.1

$$f(x) := \frac{1}{\pi\lambda} \int_0^L e^{\frac{-v(x-xu)}{2a}} K_0 \left[\frac{V}{2a} \sqrt{y^2 + (x-xu)^2} \right] dx \quad M_1 := f(x_1) \quad q := \frac{150}{\max(M)}$$

q = 748.031



$$f(x,y) := \frac{q}{\pi\lambda} \int_0^L e^{\frac{-v(x-xu)}{2a}} K_0 \left[\frac{V}{2a} \sqrt{y^2 + (x-xu)^2} \right] dx \quad M_{1,j} := f(x_1, y_j)$$



i:=0..99 y:=0.02

$$T(t) := \frac{q}{\pi\lambda} \int_0^L e^{\frac{-v(x-vt-xu)}{2a}} K_0 \left[\frac{V}{2a} \sqrt{y^2 + (x-vt-xu)^2} \right] dx$$

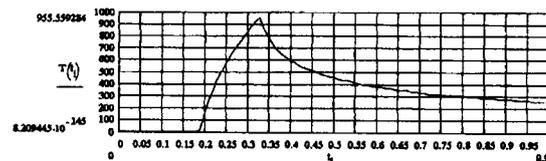


Рис. 5

Эта формула использована нами не только для описания температурного поля, но и для экспериментально-теоретического определения интенсивности теплового источника q по методике, изложенной в [4].

В результате обработки поверхности с указанными режимами, определено расстояние прогрева детали до 150 °C на глубину $y = 0,3$ см. На рис. 5 приведена распечатка расчета q которое получилось равным $748.031 \text{ ксМ} / \text{см}^2 \cdot \text{с}$, также здесь приведено температурное поле от такого источника тепла и представлен график изменения температуры для точек $y = 0,02$ см. Из последней видно, что максимальное значение температуры 955 °C.

Согласно рис. 3 и рис. 4 максимальное значение температуры для точек на той же глубине $y = 0,02$ см и отстоящих от кромки на $0,05$ см по оси x равны соответственно 928 °С и 813 °С.

Таким образом, у кромки упрочняемой поверхности нагрев ее ниже и особенно это заметно на выходе диска из упрочняемой поверхности.

Литература

1. Резников А.А. Теплофизика резания. М., Машиностроение, 1969. -288 с.
2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. –М.: Машиностроение, 1987. –167 с.
3. Якимов А.В. и др. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании. –Одесса: ОГПУ, 1998. –272 с.
4. Сизый Ю.А., Кулик Г.Г., Чебитко И.С. Прогнозирование температурного поля в поверхностном слое детали после обработки трением. Авиационно-космическая техника и технология. Труды государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", вып. 14, 2000, 234-237.

УДК 621.7.044

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМО-ИМПУЛЬСНОЙ ОЧИСТКИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ЛИТЕЙНЫХ КАНАЛОВ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МНОГОФАЗНЫМИ ГАЗОЖИДКОСТНЫМИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОТОКАМИ

Савченко Н.Ф., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The features of clearing of channels of the composite form in castings are esteemed.

Очистка внутренних каналов корпусных деталей относится к сложным и трудоемким технологическим процессам после литейной обработки. Это обусловлено тем, что использование известных методов таких, как продувка воздухом, промывание жидкостями, механическая очистка гибким инструментом, электрогидравлическая очистка колебанием струй жидкости и других технологических процессов, малоэффективно, особенно для каналов малых поперечных размеров.

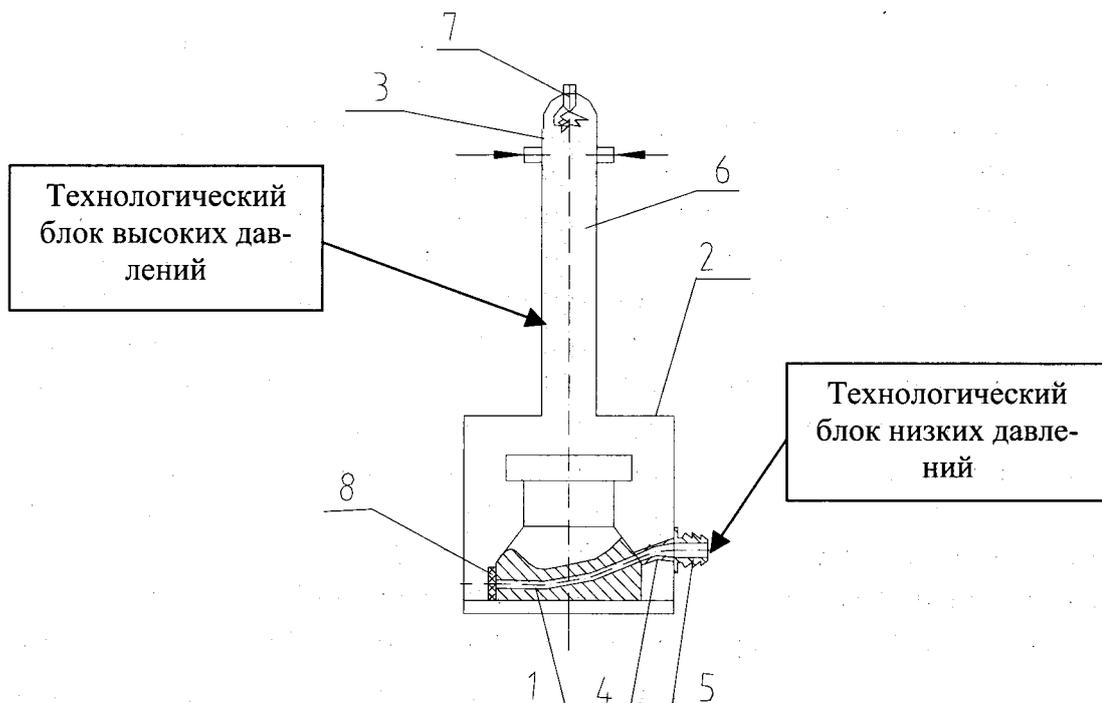


Рис.1. Схема термо-импульсного процесса очистки сложных криволинейных каналов: 1 – отливка; 2 – технологический блок; 3 – газодетонационная трубка; 4 – узел принудительного удаления и фильтрации продуктов; 5 – штуцер для подсоединения полости отливки к камере низкого давления; 6 – исходная многокомпонентная газовая среда; 7 – блок поджига и инициирования химической реакции; 8 – входное устройство для формирования параметров потока.

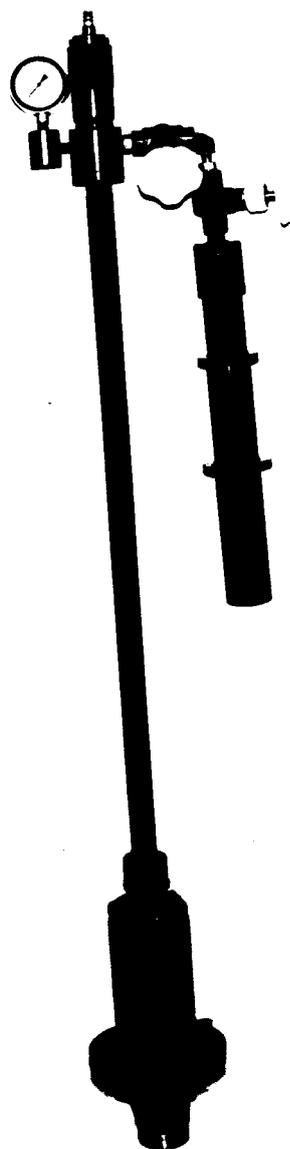


Рис. 2. Опытно-экспериментальный образец устройства «Технологический блок высокого давления» - детонационное устройство.

удаления. Важным представляется и то, что в последние десятилетия интенсивно создаются и развиваются новые технологические процессы, в которых применяются высокие давления и температуры рабочих тел для последовательно-локального воздействия на участки обрабатываемых изделий. Условно эти процессы можно разделить на статические и динамические.

Статические процессы, как правило, ограничены из-за технологических возможностей сравнительно небольшим интервалом давлений (2 – 5 Мпа) и температур (-50°C – 300°C). Область их применения – изготовление крупногабаритных деталей в литейном и кузнечно-штамповочном производствах, в химической технологии как средство интенсификации технологических процессов.

Динамические процессы связаны с использованием в большинстве случаев энергии импульсных источников энергии, например для взрывного преобразования их энергии в кинетическую, сообщаемую различного рода рабочим органам (твердые, жидкие и газовые), и предполагают создание импульсно-волновых механизмов формообразования изделий или воздействия на их локальные зоны.

Поэтому при выборе рациональной технологии очистки криволинейных каналов следует исходить из того, что процессы в полости каналов являются, с одной стороны химико-механическими, а, с другой, финишными, определяющими качество всего изделия, его надежность и эксплуатационные характеристики. Исходя из этих

Недостатки большинства проявляются как в низком качестве очистки каналов (либо неполное удаление после литейных остатков, либо нарушение геометрии и пропускной способности каналов), так и в высокой стоимостью их проведения. Сложность проблемы также и в том, что практически отсутствует возможность оперативного обнаружения дефектов во внутренней полости.

Сравнительно невысокая эффективность большинства известных технологических процессов очистки литейных каналов объясняется, прежде всего, высокопрочным сцеплением остатков формовочной смеси и их большими размерами, искажающими форму поперечного сечения канала, а также во многих случаях влияющими на параметры среды, протекающей в полости канала (например, топливо). Во многих случаях в зоне контакта частиц возникают химически чрезвычайно стойкие интерметаллидные соединения, прочно сцепляемые с основным сплавом (сравнимы и могут превышать предел текучести материала отливки). В результате удаление остатков в сложных криволинейных каналах становится достаточно сложной технологической задачей, вероятность решения которой во многих случаях может считаться неопределенной из-за отсутствия надежных средств контроля состояния качества внутренней поверхности канала, не только параметров шероховатости, но и наличия недопустимых включений на границе «канал – литейное включение».

Проведенный анализ наиболее существенных факторов показывает, что на выбор метода очистки и прогнозирование его эффективности значительное влияние оказывают такие факторы как диаметр и длина канала, наличие ответвлений и перепадов сечений, отклонения от прямолинейного расположения, материал отливки и тип и материал литейной оснастки.

Представляется важным при выборе возможных вариантов очистки криволинейных литейных каналов (КЛК) необходимость оценки особенностей осуществления физико-химических процессов удаления вредных послелитейных остатков, а также максимально учитывать наличие и параметры рабочей среды (тела), используемой для их

предпосылок, можно сделать вывод, что в зоне контакта инструмента, удаляющего послелитейные включения должны соблюдаться следующие условия:

механические усилия в зоне контакта удаляемой части должны быть больше сил ее сцепления с материалом отливки;

удаление остатков смеси должно быть гарантированным, то есть сопряжено с созданием предпосылок для получения ювенальных поверхностей во внутренней полости каналов.

Проведенный комплекс исследований позволяет считать целесообразным разработку новых технологий очистки каналов с использованием специального инструмента по типу многофазных термоимпульсных потоков. Преимуществом такого подхода является прежде всего, то, что в его основе предполагается возможным целенаправленное использование реакции химического превращения одних веществ в другие и использование выделяющейся энергии для механического воздействия на продукты – остатки формовочной смеси и другие литейные отходы.

Предполагается для термо-импульсной очистки сложных внутренних каналов и полостей замкнутой формы в отливках из различных материалов (стали, титановые и алюминиевые сплавы и др.) использовать специальную установку модульного исполнения (рис.1). В ее состав, кроме силового блока с энергоносителями, например типа горючих газовых смесей, входит технологический – один или два блока с арматурой для сообщения с ними полостей каналов. Один из технологических блоков – импульсная камера –аккумулятор давления (рис.2), в котором создается регулируемая газовая среда (давление, температура), во втором – комбинированные многофазные среды, например газо-жидкостные, абразивно-газовые и другие.

УДК 621.923

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Жданов А.А.

(г. Харьков, Украина)

In activity the pathes of increase of operational effectiveness of high-velocity cutting of stuffs are justified.

Обработка материалов резанием по-прежнему является основным методом создания высокоточных и высококачественных деталей машин. Это требует изыскания новых эффективных решений по совершенствованию процессов резания материалов, главным образом, за счет увеличения скорости резания – применения высокоскоростного резания.

За последние десятилетия в этом направлении за рубежом достигнуты определенные успехи: созданы станки и лезвийные инструменты, реализующие скорости резания порядка 100-200 м/с. Данные станки начинают поступать и к нам в Украину, однако, достаточного опыта их использования пока нет. Основные трудности связаны с низкой стойкостью отечественных режущих инструментов, особенно при съеме неравномерных припусков. Для обоснования путей совершенствования процессов высокоскоростного резания оценим их технологические возможности.

В общем случае мощность резания определяется произведением тангенциальной составляющей силы резания P_z и скорости резания V , т.е. $N = P_z \cdot V$. Очевидно, с увеличением V мощность резания N увеличивается, например, при увеличении V с 2 до 100 м/с мощность резания N (при $P_z = \text{const}$) увеличится в 50 раз и может достигнуть весьма больших значений. Следовательно, реализация высокоскоростного резания требует создания металлорежущих станков повышенной мощности.

С увеличением скорости резания V уменьшается время контакта инструмента с фиксированным сечением обрабатываемой детали, в результате чего уменьшается время теплового воздействия на деталь. Это способствует улучшению качества обработки. Больше количество тепла уносится образующейся стружкой. Однако, при этом увеличивается мощность теплового потока в зоне резания, равного N , что ведет к увеличению температуры резания Θ . Данный вывод вытекает из простейшей зависимости из курса физики, устанавливающей связь между мощностью теплового потока N и разностью температур $(\Theta_1 - \Theta_2)$ на двух поверхностях стенки толщиной l (условно равной толщине реза):

$$N = \lambda \cdot S \cdot \frac{(\Theta_1 - \Theta_2)}{l}, \quad (1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала реза; S - поверхность стенки (площадь контакта образующейся стружки с передней поверхностью реза в м²), $\Theta_1 - \Theta_2 \approx \Theta$.

Представим N в виде [1]: $N = \sigma \cdot S_1 \cdot V$, где σ - условное напряжения резания, н/м²; S_1 - площадь поперечного сечения среза, м²; $S_1 = \alpha \cdot S$; α - безразмерный коэффициент зависящий от толщины стружки и толщины среза ($\alpha < 1$). Тогда, после преобразований зависимости (1), получим

$$\Theta = \frac{\alpha \cdot \sigma \cdot l \cdot V}{\lambda}. \quad (2)$$

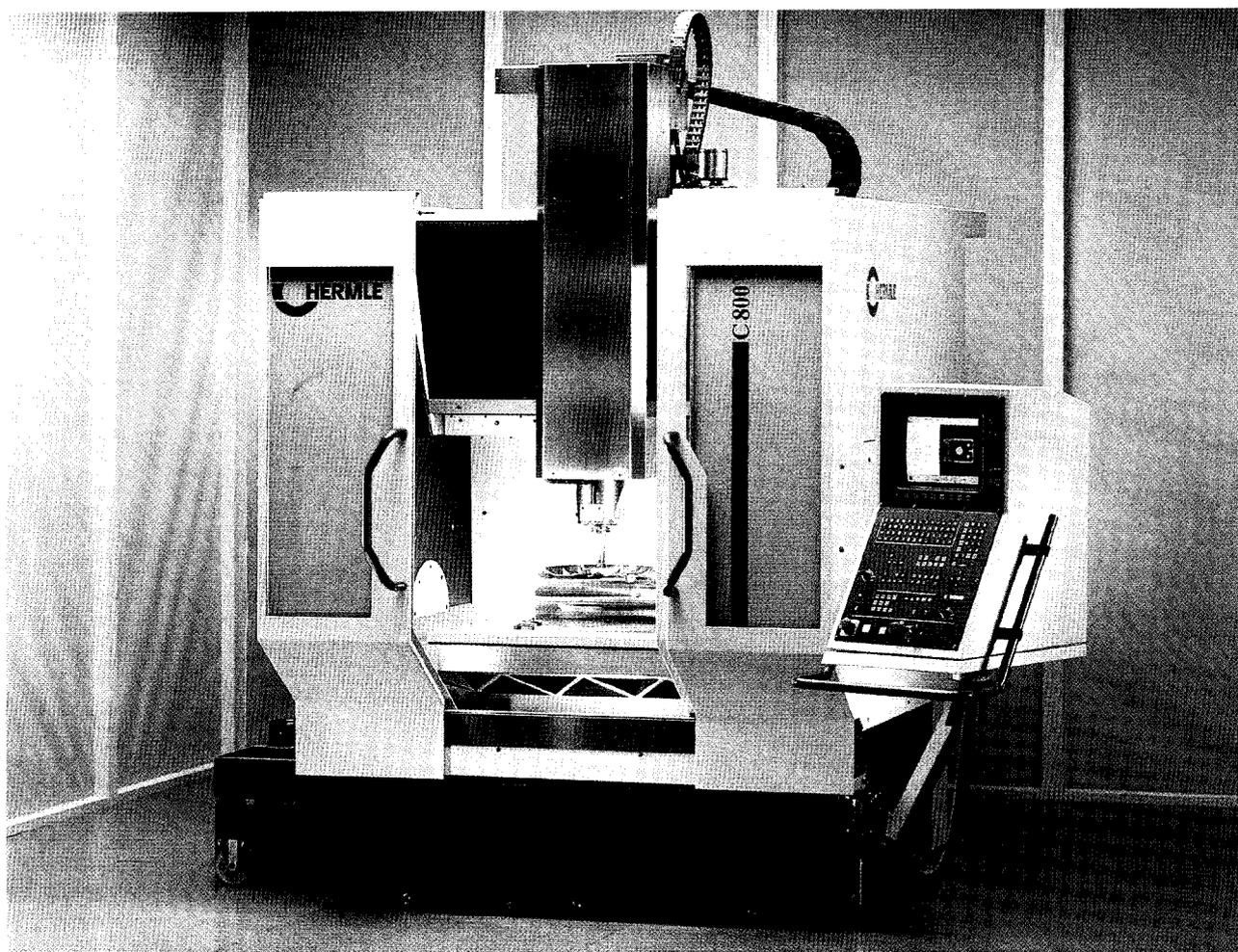


Рисунок. Общий вид обрабатывающего центра C800U фирмы HERMLE

Температура резания Θ определяется скоростью резания V . Это хорошо согласуется с практикой резания: период стойкости инструмента обусловлен главным образом скоростным фактором.

Параметр S явно в зависимость (2) не входит. Он связан с температурой резания Θ посредством коэффициента α , который мало изменяется с изменением параметра S . Из этого можно заключить, что площадь поперечного сечения среза S несущественно влияет на температуру резания Θ и с целью повышения производительности обработки ее целесообразно увеличивать. Однако, увеличение S ограничено прочностью инструмента.

Уменьшить Θ можно уменьшением параметров α , σ , l , V и увеличением λ . Как известно, с увеличением скорости резания V уменьшается условное напряжение резания σ , однако, не столь существенно. Поэтому с увеличением V , в конечном итоге, температура резания Θ будет увеличиваться. Собственно этим и определяются основные трудности при осуществлении процессов высокоскоростного резания.

Как отмечалось выше, параметры α и σ мало изменяются для рассматриваемого обрабатываемого материала. Поэтому с целью уменьшения температуры резания Θ , исходя из зависимости (2), варьировать следует параметрами l и λ , определяющими геометрию инструмента и его теплопроводность. В этой связи эффективно применение инструментов из синтетических сверхтвердых материалов (синтетических алмазов, эльбора, гексанита и т.д.), обладающих наибольшими значениями коэффициента теплопроводности λ из всех инструментальных материалов.

Важным условием повышения стойкости режущего инструмента необходимо рассматривать нанесение на его рабочие поверхности износостойких покрытий, которые в меньшей степени подвергаются износу в условиях повышенной температуры резания, чем материал инструмента. Для оценки эффективности применения режущих инструментов с износостойким покрытием (нанесенным по технологии КИНТ – конденсация с ионной бомбардировкой низкотемпературная [2]) на Харьковском машиностроительном заводе “ФЭД” в лаборатории

передовых методов обработки металлов были проведены стойкостные испытания упрочненных инструментов при резании ряда труднообрабатываемых материалов (таблица).

Таблица

Результаты стойкостных испытаний упрочненных режущих инструментов

№	Наименование инструмента	Обрабатываемый материал	Твёрдость обрабатываемого материала	Увеличение стойкости упрочненного инструмента к неупрочненному (к-во раз).
1	Сверло 3 мм	Титановый сплав	HRC ₃ >35,5 ед	20 раз
2	Сверло 1,6 мм	Сталь конструкционная высоколегированная	HRC ₃ 35 - 43,5 ед	18 раз
3	Долбяк М 1,5	Сталь конструкционная высоколегированная	HRC ₃ > 30 ед	8 раз
4	Долбяк М 1,25	Сталь конструкционная высоколегированная	HRC ₃ > 30 ед	8 раз

Приведенные в таблице данные показывают, что упрочнение режущих инструментов износостойкими покрытиями позволяет многократно повысить их стойкость. Это создает объективные предпосылки интенсификации режимов резания и в первую очередь – увеличения скорости резания и перехода в область высокоскоростного резания. Экспериментально также установлено, что упрочненный инструмент обеспечивает осуществление процесса резания труднообрабатываемых материалов в тех случаях, когда резание обычным (неупрочненным) инструментом невыполнимо.

Для реализации высокоскоростного резания может быть рекомендован обрабатывающий центр С800U фирмы HERMLE (Германия), рисунок. Он предназначен для высокоскоростной обработки деталей из различных материалов со сложными пространственными формами (за счет возможности одновременной обработки по 5-ти осям). Краткая техническая характеристика:

Частота вращения шпинделя	16000 об/мин;
Скорость холостого хода	35 м/мин;
Мощность	15кВт.

Данный станок эффективно используется в основном производстве Харьковского машиностроительного завода «ФЭД»

Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.
2. Завалеев В.А., Романов А.А. Использование способа КИНТ для упрочнения инструмента. – Вісник Харківського державного університету сільського господарства – “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Фізичні та комп’ютерні технології”. – Вып.10, 2002. – С. 180-186.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Набока Е.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The progressive master schedules in engineering with application of ultrasonic sound are reviewed. The intensification of processes is offered at the expense of the introducing of ultrasonic oscillations.

Труднообрабатываемые материалы – это жаропрочные, магнитные, коррозионно-стойкие, антикавитационные стали и твердые сплавы, полупроводниковые материалы, радиокерамика, алмаз, рубин, кварц, керсил, люкор, термосил, ситал, феррит и другие материалы. Представители этой группы материалов обладают химической и термической стойкостью, огнеупорностью, структурной и оптической однородностью и другими ценными свойствами, которые обусловили изготовление из них ряда изделий в различных отраслях техники. Широкое применение перечисленных материалов ограничено из-за их низкой обрабатываемости механическим способом, вызванной высокой твердостью и повышенной хрупкостью. Обработка материалов металлорежущими инструментами малопроизводительна и часто приводит к возникновению сколов, трещин, а также к образованию больших внутренних напряжений в поверхностном слое.

Ультразвуковые методы получили широкое распространение при обработке сверхтвердых, хрупких и особенно токонепроводящих материалов. Важной особенностью является то, что форма инструмента отображается, а точнее, копируется сразу по всей поверхности заготовки или детали в результате сложения поступательного и колебательного движений инструмента. Благодаря этому можно повысить производительность при изготовлении деталей со сложными вырезами и полостями.

Существуют технологические операции, которые выполнимы только ультразвуковым методом. Ультразвуковая обработка особенно эффективна при обработке отверстий и полостей сложной конфигурации в изделиях из хрупких материалов, обработка которых другими методами либо затруднена, либо вообще невозможна. Возросшая необходимость в использовании указанных материалов в машино- и приборостроительной, инструментальной, электронной и других отраслях промышленности привела к быстрому развитию и усовершенствованию ультразвукового метода размерной обработки, созданию и внедрению в производство ультразвуковых станков, преимущественно копировально-прошивочных.

Ультразвуковая обработка может быть применена при сообщении соответствующего движения поперечной подачи (ультразвуковое точение, фрезерование, шлифование, ленточная резка и др.). Однако эффективность использования ультразвука в этих операциях пока еще недостаточна, вследствие чего его внедрение ограничено.

Получили распространение следующие виды обработки: ультразвуковая размерная; совмещенная ультразвуковая и электрохимическая; ультразвуковая механическая шаржированным инструментом; свободным абразивом при ненаправленном воздействии ультразвука – гидроабразивная обработка; резание; ультразвуковая очистка рабочей поверхности шлифовального круга в процессе работы на обычных шлифовальных станках.

Ультразвуковые колебания нашли применение при размерной обработке сверхтвердых и хрупких материалов. Физическая сущность ультразвуковой размерной обработки состоит в следующем. Если между рабочей поверхностью ультразвукового инструмента и обрабатываемой деталью ввести абразивный материал, то при работе излучателя частицы абразива будут воздействовать на поверхность детали. Разрушение и удаление материала, необходимые при обработке, производятся очень большим числом направленных микроударов. Под действием абразива мельчайшие частицы материала выкальваются. При дальнейшей работе рабочая поверхность ультразвукового инструмента будет все больше и больше углубляться в деталь.

Все чаще стали применять ультразвук для уменьшения сил резания при токарной, фрезерной, строгальной обработке, сверлении, зенковании, нарезании резьбы, шлифовании. Снижение сил с помощью ультразвука позволило значительно повысить производительность, получить более высокую чистоту обработки, увеличить срок службы режущих инструментов. Проведены теоретические и экспериментальные исследования о влиянии вынужденных ультразвуковых колебаний для уменьшения сил обычных процессов резания на металлорежущих станках.

Токарная обработка с наложением ультразвуковых колебаний на резец при обработке хрупких материалов существенно влияет на процесс резания. Силы резания и шероховатость обработанной поверхности при этом значительно уменьшается. Эффективность воздействия ультразвуковых колебаний в процессах резания зависит от амплитуды, частоты и вида колебаний, физико-химических и теплофизических свойств обрабатываемого материала и материала инструмента, частоты вращения заготовки, величины подачи и глубины резания.

Сверление, зенкерование, развертывание с наложением ультразвуковых колебаний на инструмент деталей из меди, алюминиевых сплавов и коррозионно-стойкой стали перовыми сверлами из быстрорежущей стали повышает производительность процесса. Легче дробится стружка и меньше налипание обрабатываемого материала на рабочих поверхностях инструмента. Более эффективное воздействие на процессы сверления, зенкерования и развертывания оказывают крутильные колебания, совпадающие с направлением главного движения.

Нарезание резьбы с наложением ультразвуковых колебаний на метчик на боковых гранях режущей части резко уменьшается сила трения, практически полностью устраняется их защемление, а также заметно уменьшается сила резания. Таким образом, значительно уменьшается необходимый крутящий момент, представляющий собой сумму трех моментов: резания, трения и защемления.

Эффект снижения силы резания и необходимого крутящего момента при воздействии ультразвуковых колебаний на метчик целесообразно использовать в процессе нарезания внутренних резьб в материалах, обладающих очень большой вязкостью и высокой твердостью. К таким материалам относятся коррозионно-стойкие, жаропрочные, маломангнитные стали, жаропрочные титановые сплавы.

Совмещенная ультразвуковая и электрохимическая обработка основаны на рациональном совмещении ультразвукового и электрохимического процесса анодного растворения. Одновременное совмещение двух процессов позволяет добиться резкого повышения производительности при обработке твердосплавных материалов. Например, при акустической мощности колебательной системы станка, равной 4 кВт, производительность обработки достигает 1000-1200 мм³/мин. Совмещенную обработку можно использовать на ультразвуковых станках, имеющих систему принудительного нагнетания абразивной суспензии в зону обработки, которая обеспечивает подачу абразива в зазор между деталью и инструментом независимо от глубины обработки.

При совмещенной обработке значительно сокращается износ ультразвукового инструмента, который в данном случае является одновременно и катодом.

Широкое применение нашли упрочняюще-чистовые методы обработки деталей поверхностным пластическим деформированием. Одним из таких методов является алмазное выглаживание. Небольшие усилия (около 250 Н), прилагаемые к детали, простота процесса и оснастки, возможность использования универсальных металлорежущих станков определяют основные преимущества ультразвукового алмазного выглаживания по сравнению с обкаткой и раскаткой роликовыми головками, дорнованием, протягиванием выглаживающими протяжками. Ультразвуковые колебания интенсифицируют процесс пластической деформации поверхностного слоя металла и позволяют вести его при значительно меньших статических силах.

Ультразвуковое алмазное выглаживание оказалось также перспективным методом повышения стойкости режущего инструмента из инструментальных сталей. При ультразвуковом алмазном выглаживании режущего инструмента достигается малая высота микронеровностей и упрочнение поверхностного слоя, которые обеспечивают высокие эксплуатационные свойства инструмента.

Весьма эффективно наложение ультразвука при шлифовании. Ультразвук используют для интенсификации процесса при непосредственном воздействии на зону обработки. При введении ультразвуковых колебаний в зону обработки происходит изменение контактного взаимодействия инструмента с металлом, кинематических параметров и появление новых физических явлений и эффектов.

Высокочастотные вынужденные колебания приводят к тому, что на контактных участках вместо трения пока получается место трения движения. Силы трения уменьшаются, в итоге устраняются застойные явления: наросты при ультразвуковых колебаниях не образуются.

Колебания приводят к кавитационным явлениям и обеспечивают лучшее проникновение жидкости в зону обработки, что дополнительно способствует снижению сил трения и устранению наростообразования. Кроме того, при этом происходит интенсивная очистка рабочих поверхностей инструмента от налипков и устраняются из зоны обработки частички металла, обломки стружки и всякого рода шлам.

При наложении колебания уменьшается сопротивление сходу стружки, уменьшаются силы резания, облегчается процесс стружкообразования и формирования поверхностного слоя, т.к. качество поверхности улучшается. Шлифование с ультразвуком в определенной мере исследовано, и его эффективность доказана экспериментально.

Колебания могут сообщаться кругу или обрабатываемой детали с частотой 15-30 кГц и амплитудой 10-70 мкм. При шлифовании периферией круга хороший эффект получен при наложении колебаний вдоль оси вращения инструмента. Нами предложен более эффективный комбинированный процесс алмазно-искрового шлифования с дополнительным воздействием ультразвуком. При этом за счет лучшего проникновения жидкости в зону обработки уменьшается трение на контактных участках и формирование электрических разрядов в жидкой среде, повышается эффективность процесса. Алмазно-искровое шлифование с ультразвуком наиболее эффективно при обработке вязких материалов, дающих сливную стружку. При этом снижаются требования к параметрам электрических импульсов: можно использовать источники постоянного (выпрямленного) тока.

К преимуществам ультразвуковой обработки относятся: небольшие затраты преобразования электрической энергии в акустическую, простота введения ее (энергии) в зону обработки. Недостатки ультразвуковой обработки – это более высокая стоимость акустической энергии по сравнению с обычными ее видами, используемыми при обработке, и неблагоприятное влияние ультразвука (не гигиеничность работы).

Ультразвук для очистки круга можно использовать либо непосредственно на шлифовальном станке, либо на специальной установке. К поверхности круга подводится правящий инструмент в виде сопла и через него подается под давлением жидкость, омывающая круг. Инструменту сообщают колебания (нормально к поверхности круга) от ультразвуковой головки. Основной эффект – активная очистка поверхности и предотвращение засаливания, что связано с кавитацией.

Литература

1. Ультразвуковая обработка материалов. О.В. Абрамов, И.Г.Хорбенко, Ш.Швегла – М.: Машиностроение, 1997. – 279с.

УДК 621.9.06

ПРИМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Фадеев А.В.

(г. Харьков, Украина)

In activity the concept of maintenance of flexibility of unit-type machine tools in effecting aggregates of air assigning is offered.

Анализ мирового и отечественного опыта развития авиационного производства открывает, с одной стороны, тенденции повышения качественных характеристик производимых машин и приспособлений, соответственно предъявляемые требования к качеству обработки их элементов на металлорежущих станках. С другой стороны, дальнейшее развитие и усовершенствование рыночных отношений связанного с повышением экономической эффективности производства или, соответственно к металлообработке резанием, со снижением себестоимости механической обработки и повышением надежности достижения необходимого результата. Одним из направлений решения названных задач можно считать приоритетное усовершенствование принципа агрегатирования, на основании которого создается высокопроизводительное и эффективное металлорежущее оборудование различной степени гибкости.

Сокращение сроков технологической подготовки и нестабильность объектов производства на предприятиях массового и крупносерийного типов выдвигают новые требования к гибкости металлорежущего оборудования, как главного условия сокращения сроков технической подготовки производства при переходе на изготовление

новых изделий за счет максимального использования существующего оборудования. При этом повышение гибкости металлорежущего оборудования не должно приводить к снижению его производительности, т.е. необходимо сохранить высокий уровень концентрации технологических переходов и автоматизации технологических операций и процессов обработки деталей. Повышение гибкости технологических систем массового и крупносерийного производства требует создания новых конструкций технологического оснащения, способного обеспечить необходимую гибкость основного технологического оборудования.

Корпусные детали (КД) являются наиболее сложными и трудоемкими в изготовлении авиационных агрегатов и составляют более 20 % всей продукции агрегатного производства. В массиве деталей, которые обрабатываются на агрегатных станках (АС) малых и средних размеров, доля КД составляет 25 %, а большинство АС больших размеров предназначены для обработки исключительно КД. Анализ соотношения видов обработки КД в структуре технологических процессов, которые осуществляются на АС и АЛ из АС, показал, что приоритетными видами обработки есть сверление, зенкование, расточка и нарезка резьбы.

АС имеют наибольшие возможности в реализации всех видов концентраций технологических переходов. Кроме того, способность переналадки агрегатного оборудования, которое состоит в основном из унифицированных агрегатов, приспособлений и деталей, создает объективную основу для разработки МАС с различными степенями гибкости при сохранении высокой производительности, которые с успехом могут быть использованы в агрегатном производстве. Анализ опыта создания и эксплуатации АС показал, что существуют отдельные конструкторско-технологические разработки, которые повышают степень их гибкости, но отсутствуют научные основы структурно-параметрического синтеза МАС, а также достаточная элементная база для их создания.

Гибкость МАС обеспечивается конструкторскими решениями при выборе структуры компоновки станка. Анализируя обобщенную функциональную структуру МАС, в которую входят только основные функциональные элементы и подсистемы, рассмотрена предложенная классификация МАС, основным классификационным признаком которого является объект переналаживания, т.к. он существенно влияет на структуру компоновки МАС.



Рис. 1. Структура действующего процесса проектирования и изготовления АС.

Для установления реальных источников возникновения открытых вследствие статистического анализа проблем рассмотрим процесс проектирования и изготовления АС (рис. 1). На первом этапе проектирования разрабатывается технологическая компоновка, что пригодно для специализированного и специального металлорежущего оборудования. Другими словами, на этом этапе в соответствии с техническим заданием на проектирование (необходимая производительность, координаты и размеры поверхностей для обработки, точность и качество их, схема базирования и закрепления в процессе обработки и межпозиционное транспортирование и т.п.) устанавливается структура и параметры инструментальной наладки, т.е. количество и группы инструментов, распределение их по позициям обработки, режимы резания, структура циклов работы силовых агрегатов и общая циклограмма станка и т.д. При этом ограничениями являются требования вычерчивания детали, произво-

длительность (с учетом коэффициента технического использования) и определенное практикой изготовления и эксплуатации АС условие: на проектируемом станке обработка должна выполняться при возможно меньшем количестве позиций или, более точно, силовых узлов, которые обеспечивают этот процесс. Это своего рода технико-экономическое ограничение: чем меньше число позиций, тем при других равных условиях ниже трудоемкость изготовления и стоимость АС.

В соответствии с разработанной технологической компоновкой агрегатного станка (ТК) осуществляется проектирование оригинальных элементов и СЕ, в состав которых входят узлы реализации многоинструментной обработки (многошпиндельные насадки, коробки, бабки, кондукторы и т.п.) и схем базирования-закрепления заготовки в процессе обработки и при транспортировании по технологическому циклу (установочно-зажимные приспособления). Для конструирования этих элементов АС в варианте проектирования, который рассматривается, необходимы данные, которые отобраны из анализа структуры многоинструментной наладки (количество и типы инструментов, распределение их по позициям обработки, координатные связи между инструментами и т.п.), а для расчета – параметры ТК (в основном, режимы обработки при выполнении соответствующего формообразования).

Следующим этапом общей структуры создания АС является проектирование конструкторской компоновки (КК), вследствие которого, во-первых, разрабатывается так называемое теоретическое черчение общего вида АС и, во-вторых, составляется вся необходимая документация, основная часть которой – спецификация. Теоретическое черчение общего вида АС разрабатывается с учетом данных ТК, вследствие чего реализуется общая циклограмма работы, а также обеспечивается необходимая производительность АС. Спецификация служит для комплектации АС унифицированными элементами (силовыми головками, силовыми столами и т.д.), поступающими далее на сборку.

Обобщенно анализируя существующую структуру процесса создания АС, можно сформулировать следующие выводы:

- 1) процесс не включает в себя расчетно-проектные циклы, вследствие реализации которых можно получить необходимое конструкторско-технологическое решение. Существующий подход является сквозным проектированием, при котором оценка принимаемого решения осуществляется, выходя из субъективного опыта проектирования;
- 2) комплектация АС, обеспечиваемого унифицированными и оригинальными СЕ и агрегатами, осуществляется без тесной увязки с процессом проектирования и только для реализации разработанной на первом этапе ТК АС;
- 3) в процессе проектирования не проводятся точностные и силовые расчеты, которые позволили бы оценить конструкторско-технологические решения некоторыми числовыми критериями;
- 4) как и при создании каких-либо уникальных приспособлений, изготовление АС не включает в себя изготовление и доводку опытного образца, что существенно усложняет взаимоотношения с заказчиком этого сложноструктурного оборудования.

На основании анализа структуры процесса проектирования агрегатных станков получена система связей и приоритетов при анализе множества и выборе наилучших вариантов технологических и конструкторских компоновок, что позволяет повысить основные технические и экономические показатели агрегатных станков, что целиком удовлетворяет условиям авиационного агрегатостроения.

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.771.07

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СПОСОБА ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, Давыдова С.Н.

(г. Харьков, Украина)

For regulation of structurization in a working layer rolling-roll from steel investigated influence of a chemical compound of an alloy, a way of heat treatment on a level of properties steel for rolling-roll.

Впервые в Украине на ЛОПВ (Лутугинское объединение) начато освоение производства прокатных валков из заэвтектоидной стали.

В период с декабря 2001 по май 2002 г. отлито 15 валков $\varnothing 560 \times 1074$ и $1 \varnothing 980 \times 2400$ (табл. 1) из заэвтектоидной стали с различным содержанием кремния – от 0,93 до 1,6 %. В валках с повышенным содержанием кремния 1,26 – 1,6 % при кристаллизации в рабочем слое выявлен графит. Который имеет форму компактных и точечных выделений. Для получения шаровидной формы требуется дополнительное модифицирование магнием или другими модификаторами, как было представлено в разработанной технологической инструкции.

Таблица 1.

Химический состав и твердость отлитых валков.

№ валка условный	Химсостав								Твердость	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	До т/о	После т/о
1	1,35	1,60	0,60	0,06	0,03	0,94	1,10	0,33	341/20-50	311/20-50
2	1,40	1,10	0,61	0,05	0,03	0,74	1,10	0,33	352/20-50	311/20-50
3	1,43	1,08	0,69	0,05	0,03	0,71	1,05	0,26	341/20-50 331/75	293/20-50
4	1,47	1,06	0,68	0,05	0,04	0,72	1,14	0,29	331/20-75	321/20-50
5	1,58	1,15	0,71	0,07	0,04	0,75	1,09	0,33	388/20 363/50 352/75	-
6	1,45	0,93	0,63	0,06	0,04	0,71	1,10	0,32	341/20-50 331/75	-
7	1,64	1,04	0,70	0,05	0,04	0,72	1,05	0,31	363/20 341/50	311/20 302/50
8	1,62	1,16	0,63	0,05	0,04	0,68	1,10	0,24	363/20-50	341/20 331/50-75
9	1,58	1,11	0,64	0,05	0,03	0,70	1,05	0,28	341/20-75	311/20-50 307/75
10	1,85	0,97	0,79	0,07	0,03	0,88	1,00	0,29	321/20-50	321/20 293/50
11	1,54	1,06	0,65	0,06	0,04	0,72	1,12	0,30	-	302/20-50
12	1,54	1,06	0,65	0,06	0,04	0,72	1,12	0,30	341/20-40	-
13	1,55	1,32	0,63	0,11	0,06	0,72	1,14	0,31	352/20 331/35	302/20-50
14	1,84	1,23	0,67	0,07	0,04	0,75	1,11	0,31	375/20	-
15	1,52	1,12	0,68	0,08	0,04	0,72	1,12	0,34	363/20 352/50	285/20-50

Все валки размером $560 \varnothing 1074$ изготовлены для Белорусского меткомбината.

В ФРГ, Японии, Швеции в черновых группах клетей применяют валки из заэвтектоидной стали (1,0-1,9%С; 0,2-0,6 % Si; 0,5-1,0 % Mn; 0,7-1,5 % Cr; 0,2-0,5 % Mo) после двойной термообработки с твердостью 35-40 и 50-55 НS. Получение заданной твердости обеспечивается химическим составом и режимами термообработки.

Исследования проводили на образцах, отобранных от колец бочек валков содержащих 1,35-1,85 % С; 0,93-1,60 % Si; 0,60-0,79 % Mn; 0,05-0,11 % P; 0,03-0,06 % S; 0,68-0,94 % Cr; 1,0-1,14 % Ni и 0,24-0,34 % Mo в литом состоянии и после т/о.

В исследуемых сталях содержание марганца, никеля и молибдена изменялось в узком интервале. В связи с этим исследовали влияние углерода, кремния и хрома на структурное состояние, а следовательно, и уровень твердости сплава.

При исследовании влияния химического состава сплава на уровень твердости применяли факторное планирование эксперимента с изменением изучаемых факторов на двух уровнях.

План эксперимента.

Условия планирования	X ₁ (%C)	X ₂ (%Si)	X ₃ (%Cr)
Основной уровень	1,60	1,285	0,81
Интервал варьирования	0,25	0,315	0,13
Верхний уровень	1,85	1,60	0,94
Нижний уровень	1,35	0,97	0,68

Матрица планирования (план эксперимента 2³)

X ₁	X ₂	X ₃	Y
+	+	+	388
-	+	-	341
+	-	+	363
-	-	+	352
+	+	-	363
-	+	-	341
+	-	-	375
-	-	-	321

где Y – среднее значение твердости на глубине 20-50 мм.

Модель эксперимента представлена в виде линейного уравнения регрессии:

$$HB = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i$$

$$HB = 356,8 + 16,8X_1 + 2,8X_2 + 5,5X_3$$

Из сопоставления коэффициентов регрессии видно, что уровень твердости наиболее существенно зависит от содержания углерода в сплаве. Содержание кремния незначительно влияет на ее уровень.

В заэвтектоидных сталях для разрушения цементитной сетки применяют нормализацию от температуры аустенизации или близкой к ней с последующим умягчающим отжигом для полной сфероидизации всех карбидов.

Для выбора эффективного способа термообработки исследовали одно-, двух- и многоступенчатые режимы термической обработки. Исследованиями показано, что при одноступенчатом нагреве карбидная сетка несколько утоняется, но не разрушается. При двух- и многоступенчатых обработках она дробится, а карбиды сфероидизируются.

Для валков, к которым предъявляют повышенные требования по прочности, рекомендуются использовать двухступенчатый отжиг.



а)



б)

Рис. 1. Микроструктура заэвтектоидной стали (×100): а – до термической обработки; б – после двухступенчатого отжига

При этом уровень твердости материала снижается. Для улучшения эксплуатационных свойств рекомендуется увеличение скорости охлаждения после каждой ступени нагрева (принудительное охлаждение вентиляторами). Термическая обработка, устраняющая сплошную цементитную сетку, при сохранении отдельных сфероидизированных включений, приводит к некоторому снижению уровня твердости (≈на 9,4%).

В дополнение к измерению твердости в качестве экспресс-метода для оценки структурных изменений в стали

после термической обработки использовали измерение коэрцитивной силы с помощью прибора КРМ-Ц. Измерения показали, что уровень коэрцитивной силы снижается после термообработки от 9,6-10,5 до 8,7 А/см, т.е. уровень напряжений уменьшается в среднем на 13,0% и структура стабилизируется.

Значительное снижение количества крупных включений цементита, получение структуры троостита и сорбита с равномерным распределением мелких карбидов в матрице позволяет получить $\sigma_a = 1176$ МПа; $\delta = 2-3\%$.

Измерения микротвердости карбидной фазы и матрицы проводили для сплавов с различным химическим составом в литом состоянии и после термической обработки.

Исследованиями установлено, что уровень микротвердости цементита составляет Н-50 - 950-1000 и не изменяется после термической обработки.

Средняя микротвердость матрицы с увеличением содержания углерода в стали от 1,52 до 1,84% возрастает от Н-50 - 300 до Н-50 - 340.

Матрица термообработанных сплавов, имеющая структуру троостита или сорбита, с равномерно распределенными мелкими карбидами, характеризуется микротвердостью Н-50 - 270-280.

Снижение твердости после термообработки определяется степенью дробления цементитной сетки. С увеличением концентрации кремния от 1,06 до 1,32% (при одинаковой доле остальных химических элементов) средняя толщина цементитной сетки уменьшается на исследуемой глубине - 5-25мм с 10,0мкм до 7мкм, что облегчает ее дробление при термической обработки. Наблюдаемое уменьшение цементитной сетки можно объяснить выделением доли графита в такой стали.

Выполненными исследованиями показано, что наибольший эффект дробления цементитной сетки при термообработке достигается оптимизацией химического состава, при котором формируется более тонкая карбидная сетка в сочетании с двойной нормализацией при ускоренном охлаждении после каждой ступени.

УДК 621.771.63 УДК 621.785

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДВЕРГНУТЫХ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, Сидашенко А.И., канд. техн. наук,
Науменко А.А., канд. техн. наук, Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В.

(г. Харьков, Украина)

In activity the method of realization of a denitriding of surface layer of parts previously subjected chemical and heat treatment is reviewed and the outcomes of experiments and mathematical substantiation of process conditionss of dissociation of nitrides are adduced at their processing by a laser beam.

Ряд деталей машин и оборудования для повышения износостойкости и обеспечения высокого уровня твердости подвергают химико-термической обработке – азотированию, цементации, нитро-цементации. В процессе их эксплуатации и изнашивания такой упрочненный слой частично сохраняется, что при восстановлении любым из общепринятых методов наращивания не обеспечивает получение качественного покрытия.

Наиболее часто встречаемые в производстве способы восстановления [1] включают такие технологические операции как - предварительную термообработку, удаление дефектов путем обточки, наплавку слоя металла с помощью электрода, предварительную и окончательную механическую и термическую обработки.

Недостатком этих способов является то, что требуется выполнение большого количества. Такая технология эффективна для небольшого объема восстанавливаемых деталей или для которых требуется компенсация изношенного слоя более 2-3мм.

Удаление частично сохранившегося упрочненного слоя путём механической обработки уменьшает эффективное сечение и снижает усталостную прочность детали. При такой подготовке к ремонту много металла идет в отходы, приходится удалять полностью оставшийся упрочненный слой, который в ряде случаев и не содержит каких-либо дефектов. В процессе ремонта и восстановления таких деталей приходится наносить компенсирующий слой существенно больший, чем это можно было бы сделать при сохранении качественного, но предварительно упрочненного и изношенного слоя. Это связано с тем, что при наличии такого слоя при восстановлении наплавкой из-за нагрева происходят структурные изменения, которые приводят к разложению (диссоциации) окислов специальных карбидов и карбонитридов в результате процессов диффузии. Процесс сопровождается газовыделением, поро- и трещинообразованием. Кроме того, большое количество тепла, выделяемое при наплавке, может существенно изменить геометрическую форму детали. Поэтому наиболее целесообразным является разложение упрочняющих фаз перед восстановлением.

В промышленности известен способ разложения слоя, полученного химико-термической обработкой [1], который позволяет восстанавливать деталь без полного его удаления. Метод заключается в безуглероживании стальных изделий путем нагрева и выдержки при 1000-1050⁰С в расплаве оксидов: - железа (2,7-2,9вес %); - бария (14-16 вес %) и хлористого железа (остальное). Этот метод не может быть использован для тонкостенных, длинномерных деталей, поскольку приведет к изменению геометрических размеров (короблению), разупрочнению сердцевины, увеличению зерна в металле рабочего слоя при длительной выдержке в области высоких температур, развитию процессов эрозии.

Большинство деталей машин и оборудования, работающих в сопряжении, имеют износ рабочего слоя, не превышающий 0,5мм, поэтому компенсировать его по известной технологии не эффективно из-за большого количества операций, интенсивного прогрева деталей, большого расхода наплавляемого металла и объёмов механической обработки (до и после восстановления).

Для восстановления длинномерных и тонкостенных деталей, предварительно упрочненных химико-термическим способом, нами предложено выполнение следующего ряда технологических операций:

- предварительную лазерную термическую обработку поверхности детали (отжиг) для “разложения” оставшегося после эксплуатации азотированного слоя, путем его нагрева до температуры диссоциации нитридов и карбонитридов на глубину формирования переходной зоны (0,4-0,5мм);

- нанесение компенсирующего износ покрытия, используя при этом электроискровую обработку (ЭИО) электродами из стали типа 30X13 с одновременной пластической деформацией (ППД) шариком или роликом;

- окончательная механическая обработка детали под номинальный размер - шлифование

Это обеспечивает:

- сохранение структуры и свойств сердцевины металла детали;
- разложение азотированного поверхностного слоя детали, в зависимости от плотности мощности, по всей глубине предварительного химико-термического упрочнения;
- удаление (заплавление) поверхностных дефектов и микротрещин детали;
- повышение износостойкости поверхностного слоя детали за счет отвода тепла в глубь материала (сверхбыстрая закалка), что является преимуществом обработки высококонцентрированными источниками энергии;
- отсутствие коробления длинномерных полых деталей;
- уменьшение величины компенсирующего наплавляемого слоя, что сокращает затраты на окончательную механическую обработку.

Этот способ обеспечивает повышение износостойкости, сокращение периода ремонта, уменьшение расхода наплавляемого металла. Он отличается от существующих методов [1, 2] тем, что для сокращения числа операций восстановления, сохранения структуры и свойств сердцевины, удаления дефектов при обработке изношенной поверхности, восстанавливаемую деталь подвергают предварительной лазерной термообработке, для разложения химико-термически упрочненного слоя. При которой деталь вращают и перемещают со скоростью, обеспечивающей формирование однородного температурного поля с плотностью мощности лазерного потока – 6,0-8,0КВт/см². После чего деталь обрабатывают на электроискровой установке электродом типа 30X13с одно-временным ППД нанесенного слоя, с последующей обработкой наплавленного слоя детали шлифованием под номинальный размер.

По данным проведенных теоретических и экспериментальных исследований, разложение химико-термически упрочненного слоя – деазотирование происходит при температуре $\geq 550^{\circ}\text{C}$.

Поверхностную лазерную термообработку проводили с помощью CO₂-лазера. При этом след лазерного луча на поверхности детали перемещался по винтовой линии без перекрытия – шаг обработки соответствовал диаметру сфокусированного лазерного луча – 3-5мм. В работе был рассмотрен вариант обработки, внутренней поверхности детали типа втулки.

В качестве геометрической модели был выбран полый цилиндр (рис. 1.) ограниченный двумя коаксиальными цилиндрическими поверхностями. Используя принцип относительности, считали луч лазера постоянным (отсутствует неоднородность в распределении плотности мощности по диаметру лазерного пятна) и неподвижным, а цилиндр – совершающим сложное движение: вращательное относительно оси и поступательное вдоль нее. Для оценки глубины разложения нитридов предполагалось, что процесс обработки - устоявшийся и тепло-

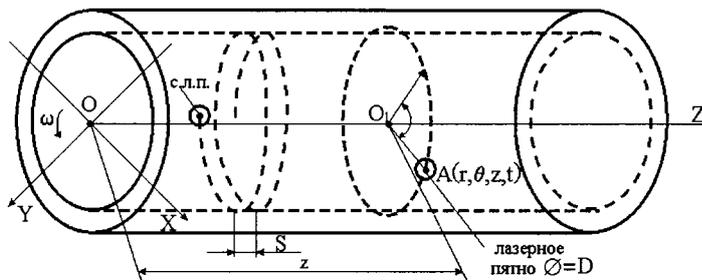


Рис. 1. Схема для расчета режимов лазерной термообработки.

физические свойства материала не зависят от его температуры.

Расчетами [4] было установлено, что толщина слоя, на глубине которого произошло разложение азотированного слоя в результате лазерной термообработки составляет 0,52мм.

Экспериментальная проверка подтвердила, что при таких параметрах обработки [4] начинается диссоциация нитридов и карбонитридов на глубине до 0,50-0,54мм. Процесс лазерной обработки сопровождается потрескиванием и газовыделением. Качество

обработанной поверхности (табл. 1) хорошее и при диссоциации нитридов не требуется последующей механической обработки (точение, шлифовка). Использование лазерной обработки (перед восстанавливающей ЭИО) обеспечивает локальный нагрев и не приводит к разупрочнению сердцевины, что особенно важно для длинномерных деталей типа – шток, которые подвергаются сложной термической обработке.

Таблица 1.

Зависимость уровня и однородности твердости от плотности мощности при лазерной обработке деталей*

Плотность мощности, КВт/см ²	Средний уровень твердости, HRC	Наличие дефектов (поры, трещины)
6,0	56,6±2,0	наличие пор и микротрещин
7,0	28,5±2,0	поверхность без видимых дефектов
8,0	26,8±1,8	то же
9,0	25,7±2,2	-//-
10,0	26,1±1,5	незначительное оплавление поверхности
11,0	26,1±1,2	видимое оплавление поверхности

Примечание: *-материал деталей – сталь 20X1M1Ф1TP; диаметр деталей 40мм; обороты-16мин⁻¹.

Эксперименты проводили на промышленной установке – лазерно-технологического модуля "Комета - 2", образцами были детали узла парораспределения турбины, снятые после эксплуатации для ремонта, а также штоки гидроцилиндров сельскохозяйственной техники.

Получены зависимости уровня и однородности твердости от плотности мощности при лазерной обработке деталей предварительно подвергнутых азотированию на глубину до 0,5мм.

Также рассматривали процесс восстановления деталей лазерной наплавкой поверхностного слоя порошком ПП-10Н-01. Исследовали влияние шага перекрытия при плотности мощности лазерного потока на формирование однородного качественного слоя.

Качество обработки поверхности деталей, как при использовании предварительной термообработки и последующих ЭИО и ППД, так и при восстановлении лазерной наплавкой – хорошее.

Основываясь на работах [3, 4, 5, 6], а также выполненных исследованиях структуры, свойств деталей и испытаниях на твердость было выдвинуто предположение, что при термообработке лазерным лучом, на приведенных режимах деталей, подвергнутых предварительно химико-термическому упрочнению, происходит диссоциация нитридов и карбонитридов на глубину воздействия лазерного пятна (0,5-0,6мм). Это было подтверждено в дальнейших исследованиях. Использование предварительной лазерной обработки (перед восстановлением наплавкой) обеспечивает локальный прогрев поверхности детали и разложение нитридов в заданном поверхностном слое и не приводит к разупрочнению сердцевины, что особенно важно для восстановления длинномерных деталей типа – шток, которые подвергаются сложной термической обработке.

Литература

1. А.с. №1722762, СССР, МКИ В23Р 6/00. Способ ремонта прокатных валков. /Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Автухов А.К. и др. /БИ. №12, 1990.- 8с.
2. А.с. №1468933, СССР, МКИ 4С21 Д3/02. Способ обезуглераживания стальных изделий. /Кандаловский И.П. и др. –3с.
3. Нарита К. кристаллическая структура неметаллических включений в стали. Перевод с японского В.А. Митькина, под ред. П.П. Арсентьева: - М.: Металлургия, 1969. – 191с.
4. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Слоновский Н.В. Способ восстановления и упрочнения деталей лазерным лучом. //Сб. науч. тр.: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вып. 4: - Харьков: ХГТУСХ, 1997. – С.82-87
5. А.с. №176498, СССР, МКИ В24В 39/00. Способ поверхностного упрочнения и восстановления цилиндрических длинномерных деталей. /Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Триполко В.К.и др. /БИ. №36, 1992.– 6с.
6. Паровая турбина К-300-240ХТГЗ /Безуглый Г.З., Галацан В.Н., Палей В.А. – М.: Энергоиздат, 1982. – 272с.

УДК 006.1:006.354

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Скобло Ю.С., канд. техн. наук, Нестерова Н.В., докт. техн. наук, Нестерова И.Б.

(г. Харьков, Украина)

The new strategy control quality is indication.

Для успешного продвижения товара на рынок необходимо выпускать конкурентноспособную продукцию, причем недостаточно быть хорошим маркетологом и уметь на высоком уровне проводить маркетинговые исследования, прежде всего необходимо обладать глубокими знаниями стратегического менеджмента, внутренним чутьем, чтобы правильно управлять производством и предвидеть рынок. Поэтому управлению качеством продукции на предприятиях отводится главенствующая роль на всех этапах изготовления – двенадцатитичних этапов жизненного цикла товара.

При заключении контракта одним из привалирующих условий является наличие системы качества на предприятии. Безусловно, при этом ни в коем случае не пренебрегается такой фактор, як девять основных показателей качества: к примеру, показатель технологичности – все гениальное просто. Настоящее время актуальным стал показатель эргономичности, эстетический показатель, все считает деньги – поэтому показатель экономичности уважают все. Для потребителя очень важны показатели надежности, долговечности, безопасности, ремонтнопригодности. Для того, чтобы закрепить свои права, безусловно, патентно-правовой показатель всегда актуален.

Согласно международных и национальных стандартов:

1. Если рассматривать Украину, то это Международные стандарты ISO;
2. Государственные стандарты ГОСТ;
3. Державні стандарти ДСТУ;

Для старн Европы:

1. Международные стандарты ISO;
2. Европейские стандарты EN;

3. Документы по гармонизации HD;
4. Европейские технические условия ES;

И других изготовителей гарантирует потребителя высокое качество и прежде всего безопасность.

Действующая система стандартизации позволяет разрабатывать и поддерживать в актуальном состоянии:

- единый технический язык;
- унифицированные ряды важнейших технических характеристик продукции (допуски и посадки, напряжения, частоты и другое).
- типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий;
- систему-классификатор, технико-экономическая информация;
- достоверные справочные данные о свойствах материалах и веществ.

Стандартизация служит базой для сертификации поэтому при выборе товара доверять можно только сертификатам происхождения, качеством, соответствия.

Основной целью определения страны происхождения товара является применение тарифных и некоторых мер регулирования ввоза товара на таможенную территорию государства (к примеру Украины), и вывоза товара с этой территории, а также обеспечение учета товаров статистики внешней торговли.

Определение страны происхождения товара осуществляется принципов международной практики. Страной происхождения товара считается страна в которой товар был полностью произведен или подвергнут достаточной переработки в соответствии с критериями. Сертификат о происхождении товара должен однозначно свидетельствовать о том, что указанный товар происходит из соответствующей страны.

Кроме того, с целью обеспечения безопасности согласно Таможенного Кодекса, таможенные органы осуществляют такие виды контроля, как:

- санитарные;
- ветеринарные;
- фитосанитарный;
- радиологический.

Все это исключает вредные воздействия на организм:

- аллергенов;
- токсикогенов;
- канцерогенов;
- мутагенов.

С 27 июня 2001 года на Украине введена « Система Управления Качеством. ISO 9004 ; 2000.IDT”, т.е. степень соответствия международным стандартам – идентичный.

Для улучшения показателей на предприятии международным стандартам рекомендовано придерживаться восьми основных принципов управления качеством:

- ориентация на заказчика;
- лидерство;
- процессный подход;
- системный подход к управлению;
- постоянное улучшение;
- принятие решений на основании фактов;
- взаимовыгодные отношения с поставщиком.

Успешное применение фирмами восьми принципов управления дает возможность заинтересованным сторонам получить преимущества такие как:

- получение прибыли;
- создание ценностей для повышения стабильности.

Для любой фирмы главный фактор это кадры, т.е. человеческий фактор всегда выходит на первое место.

Нами разработано методика обеспечения системы качества, позволяющие учитывать характер деятельности предприятий.

Литература: ISO 9001:2000

1. Quality management systems – Requirements;
2. Системи управління якістю. Настави щодо поліпшення діяльності. (ISO 9004:2000, IDT) Київ. 2001.

УДК 006.1:006.354

МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Скобло Ю.С., канд. техн. наук, Нестерова Н.В., докт. техн. наук, Нестерова И.Б.

(г. Харьков, Украина)

The new strategy control quality is indication.

Прогрессивные технологические процессы обязаны предусматривать систему безопасности, так как одним из главных критериев характеризующих процесс является обеспечение гарантий безопасности.

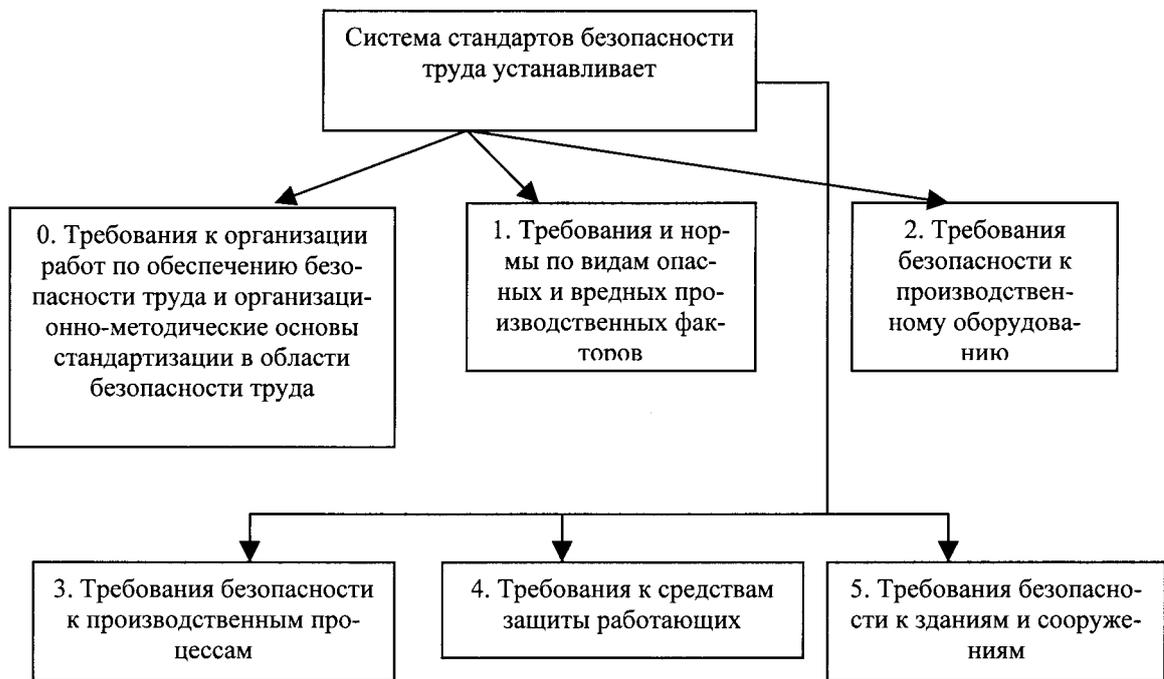


Рис. 1. Система стандартов безопасности труда.

Система стандартов безопасности труда (ССБТ) представляет собой комплекс стандартов, содержащих:

- требования;
- нормы;
- правила, направленные на обеспечение безопасности;
- сохранение здоровья;
- работоспособности человека в процессе труда.

На основании ГОСТа 12.0.001-82 нами разработаны схемы ССБТ:



Рис. 2. Системы требований безопасности к производственным процессам.

Стандарты подсистемы 0,1,2,3,4,5 9см. рис.1. устанавливают:



Рисунок 3.

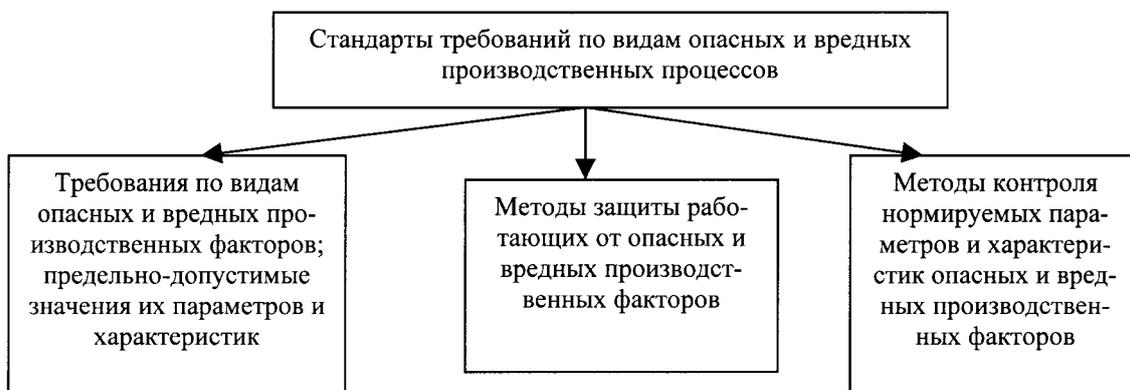


Рисунок.4



Рисунок. 5.

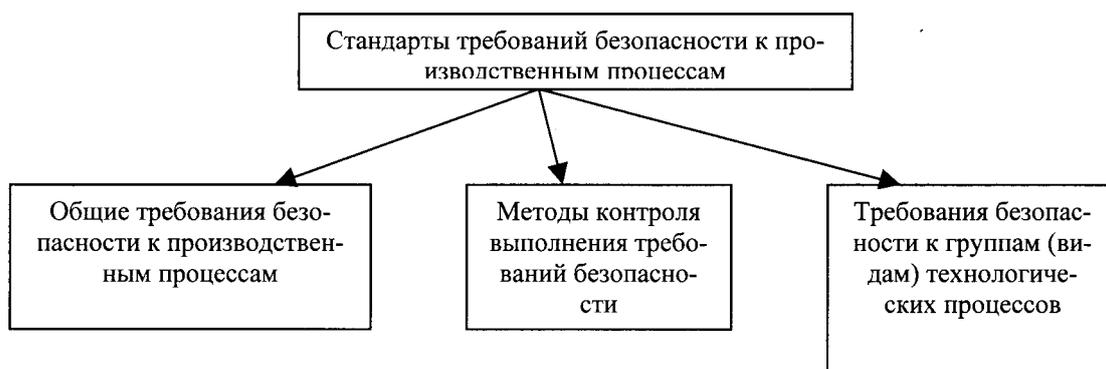


Рисунок. 6.



Рисунок. 7.

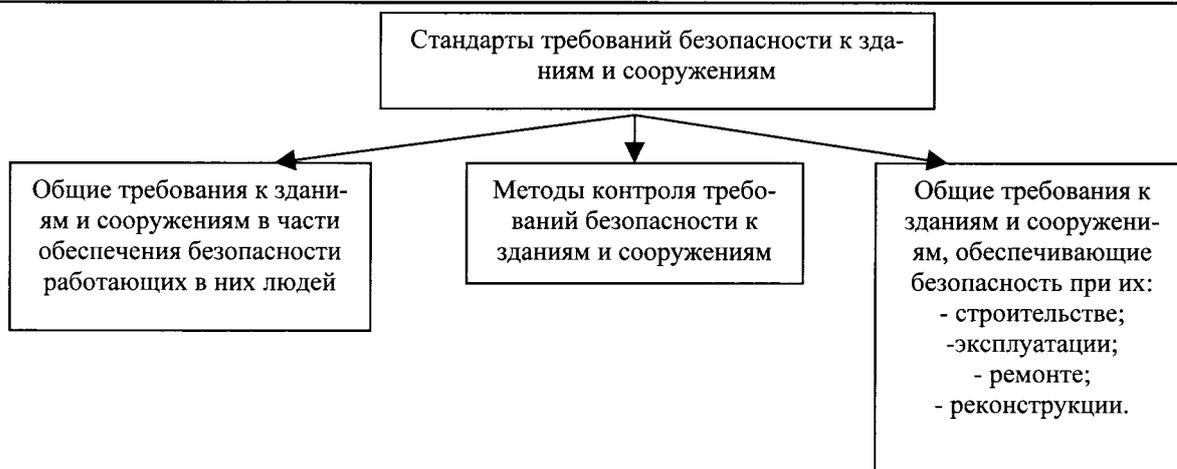


Рисунок 8.

Базируясь на эти схемы, взяв в основу основные положения системы стандартов безопасности труда, учитывая СНиП 2.04.05-91, санитарные правила организации технологических процессов и гигиенические требования к производственному оборудованию, нами разработаны рекомендации по обеспечению безопасности при проектировании производственных процессов.

Нами выполнен анализ порядка разработки, структуры, особенностей технологических процессов, исходных и конечных данных, форм участия работников в достижении требуемого качества продукции на всех этапах жизненного цикла товара.

Изучены стандартные системы качества, системы безопасности для проведения политики в достижении качества. Определены основные виды и источники информации для этой системы. Выделена взаимосвязь с другими системами.

Проанализирована ситуация на предприятиях с целью выявления проблем в обеспечении качества и безопасности. Изучены применяемые методы в различных отраслях.

Рассмотрена информация на примере одного из ведущих предприятий и сделаны выводы о достижении обеспечения системы качества.

Нами разработана методика обеспечивающая систему качества, учитывающая особенности предприятий.

Методика позволяет учитывать характер деятельности предприятия и его подразделений, управлять качеством, выделяя основные, вспомогательные моменты формирования качества с использованием технических средств.

Литература

1. СНиП 2.04.05-91.
2. ССБТ ГОСТ 12.0.001-82.
3. ДСТУ ISO 9004:2001.

УДК 669.131.7:621.78

ИЗМЕНЕНИЕ СТРОЕНИЯ ФЕРРИТНОЙ МАТРИЦЫ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ АУСТЕНИТА В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ

Бондаренко С.И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Ferrite matrix structure changes during austenizing of high-strength cast iron. Bondarenko S.I. Dislocation structure changes of ferrite in high-strength cast iron during austenizing have been investigated. The study has revealed that both slow heating of cast iron ($V_h \sim 60 - 100$ °C/min) with holdings in eutectoid range and continuous fast - speed heating (50 and 250 °C/sec), produce transformation induced hardening and recrystallization of ferrite and it has a pronounced effect on the kinetics of $\alpha \rightarrow \gamma$ -transformation.

Дефекты кристаллического строения оказывают большое влияние на морфологию и кинетику образования аустенита в чугунах [1,2]. Чем больше дефектов сохраняется к началу $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения, тем больше количество аустенита, образующегося при одинаковых условиях нагрева. Количество дефектов, сохраняющихся к началу фазовой перекристаллизации, зависит от исходной плотности и кинетики их снятия в процессе нагрева.

В работе [1] о степени дефектности феррита судили, в основном, по его микротвердости. В данной работе было проведено металлографическое изучение строения ферритной матрицы в процессе аустенизации чугуна следующего химического состава: 3,32%С; 3,1%Si; 0,55%Mn; 0,05%P; 0,005%S; 0,07%Mg.

Выбор ферритной матрицы был обусловлен возможностью выявления её тонкого строения в процессе нагрева, а также из практических соображений, так как часто при термообработке чугуна исходная матрица частично или полностью является ферритной. Для получения ферритной матрицы чугун подвергался ферритизирующему отжигу по следующему режиму: 1100°C – 2 часа, охлаждение с печью до 700°C , выдержка 12 час.

Изменение структуры в процессе нагрева изучали на образцах диаметром и высотой 10 мм в процессе изотермических выдержек в эвтектоидном интервале температур ($765 - 860^{\circ}\text{C}$), (скорость нагрева до температуры изотермы составляла $60 - 100^{\circ}\text{C}/\text{мин}$).

Для непрерывного скоростного нагрева использовали образцы клиновидной формы размерами $(15 - 20) \times 7 \times 6,7$ мм, которые нагревали непосредственным пропусканием тока со средней скоростью 50 и $250^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Выбранная форма образцов позволила получить при нагреве градиент температур от субкритической на широком конце до температур плавления на узком. О количестве образующегося при нагреве аустенита судили по содержанию мартенсита в структуре после закалки образцов.

Дислокационная структура феррита выявлялась электролитическим травлением в водном растворе хромового ангидрида, а также с помощью электрополировки и травления в фосфорно-хромовом электролите.



Рис.1. Дислокационная структура феррита после выдержки чугуна при 790°C в течение 5 мин; $\times 1000$. Электролитическое травление. Участки мартенсита отмечены стрелками.

Феррит вблизи бывших аустенитных участков имеет повышенную плотность дислокаций по сравнению с удалёнными объёмами. Следует отметить, что непосредственно примыкающие к γ -фазе участки феррита имеют пониженную травимость (узкая белая кайма на рис.), что может быть связано с уходом углерода из феррита в прилегающий аустенит и отсутствия в связи с этим декорирования дислокаций.

Повышенная плотность дислокаций вблизи аустенитных участков является следствием фазового наклёпа феррита в процессе $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения. Иногда в прилегающих к аустениту зёрнах α -фазы можно видеть линии скольжения. В случае образования небольших прослоек γ -фазы по границам зёрен зоны с повышенной плотностью дислокаций сравнительно невелики (рис. 1.а). Вокруг массивных же участков γ -фазы зоны с повышенной плотностью ямок травления могут оказаться весьма обширными. Граница области с разной плотностью дислокаций в этом случае, как правило, проходит по границам ферритных зёрен (рис. 1.б).

Наряду с фазовым наклёпом может происходить рекристаллизация феррита, как испытывавшего фазовый наклёп, так и с исходной плотностью дефектов. На рис. 1.а рекристаллизованное зерно феррита отмечено буквой Р.

В клиновидных образцах, нагревавшихся со скоростью $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$, сначала $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращение идёт с небольшой скоростью, затем наступает замедление и количество аустенита после достижения примерно 20% практически не увеличивается, несмотря на непрерывное повышение температуры. Затем образование аустенита ускоряется, но не доходит до конца. Было показано, что микротвёрдость неперекристаллизовавшейся ферритной матрицы изменяется немонотонно с повышением температуры нагрева. Вначале вблизи точки A_{c1}'' она повышается, что связано с его обогащением углеродом, в соответствии с продолжением линии RQ диаграммы состояния. Это подтверждается электронномикроскопическим исследованием, обнаруживающим утолщение прослоек, обогащённых углеродом, по границам ферритных зёрен. На кривой зависимости микротвёрдости от температуры нагрева наблюдаются два максимума, первый из которых связан с насыщением феррита углеродом и, вероятно, с фазовым наклёпом феррита в результате $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения. Дальнейшее падение микротвёрдости обусловлено рекристаллизацией α -фазы. Снятие наклёпа уменьшает движущую силу $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения, что приводит к уже упомянутому замедлению образования аустенита, которое ускоряется при дальнейшем повышении температуры в связи с увеличением разности свободных энергий феррита и аустенита.

Увеличение количества аустенита вызывает интенсивный фазовый наклёп феррита, что приводит к повышению его микротвёрдости (второй максимум). Однако дальнейшее повышение температуры вызывает новую волну рекристаллизации феррита и соответствующее уменьшение его твёрдости.

Фазовые и структурные изменения в образце, нагревавшемся со скоростью $250^{\circ}\text{C}/\text{с}$, происходят аналогичным образом. Однако при увеличении скорости нагрева с 50 до $250^{\circ}\text{C}/\text{с}$ фиксируется более высокая микротвёрдость феррита и большее количество γ -фазы. Это свидетельствует о том, что с увеличением скорости нагрева рекристаллизационные процессы в феррите протекают с меньшей скоростью.

Рисунок 2 иллюстрирует процесс рекристаллизации феррита, сопровождающийся рассыпанием субграниц и зарождением и ростом новых зёрен с малой плотностью дислокаций (рис. 2а, б). С повышением температуры количество рекристаллизованных зёрен с малой плотностью дислокаций увеличивается (рис. 2в).



Рис.2. Рекристаллизация феррита в процессе электронагрева чугуна со скоростью $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$; $\times 600$: а, б - $870^{\circ}\text{C}/\text{с}$, в - $920^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Таким образом, металлографические исследования α -фазы подтвердили, что процесс образования аустенита в высокопрочном чугуне с ферритной матрицей при рассмотренных условиях нагрева сопровождается рекристаллизацией и фазовым наклёпом феррита и аустенита, степень развития которых зависит от температуры и скорости нагрева, количества образовавшейся γ -фазы, и которые, в свою очередь, оказывают влияние на кинетику образования аустенита, способствуя ускорению или замедлению фазовой перекристаллизации.

Полученные результаты могут быть использованы при назначении режимов поверхностной закалки чугуна.

Литература

1. Бондаренко С.И., Петриченко А.М., Дьяченко С.С. Влияние исходного состояния и условий нагрева на кинетику образования аустенита в ферритном чугуне с шаровидным графитом. – Изв. Вузов. Чёрн. Металлургия, 1982, №6, с. 101 – 105;
2. Бондаренко С.И., Петриченко А.Н. Аустенизация ферритного высокопрочного чугуна, деформированного прокаткой, - Лит. пр-во, 1996, №8, с. 9 – 10.

УДК 669.15:668.15

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЮ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В УМОВАХ УДАРНО-АБРАЗИВОГО ЗНОСУ

Браташевський О. Ю., канд. техн. наук, Польотов В.А., Полякова А.Г.,
Горбачова Л. В., Каплуновський В. О.
(м. Харків, Україна)

It was indicated that shearing strength may be use as criterion of wear resistance materials for details of machines in conditions of "mixed" wear.

Зносостійкість деталей машин визначається не тільки їх конструкцією, але й матеріалом, з якого виготовлені деталі. Вибір зносостійкого матеріалу є дуже складним питанням, тому що зносостійкість не є властивістю, яка належить даному матеріалу, незалежно від умов зношування.

Тільки в комплексі умов зношування та властивостей матеріалу можна розглядати стійкість проти спрацювання даної деталі, тобто термін її служби. Проте, й досі нема єдності думок щодо критерію зносу, а тому неможливо встановити рівень якої-небудь характеристики матеріалу, що забезпечила б необхідну зносостійкість. Це має місце тому, що критерій зносостійкості залежить від виду зносу, який визначається умовами зношування і може бути: абразивний, ударний, тепловий, втомний, корозійний, ерозійний тощо.

На практиці має місце "змішаний," або "складний", знос – це коли декілька видів зносу діють одночасно. Якщо, окремо для кожного виду зносу ще можна вибрати критерій зносу, наприклад для абразивного – це твердість матеріалу, то для "змішаного" зносу зробити це неможливо. Хоча в останньому випадку є деякі напрацювання. Так, при ударному абразивному зносі критерієм зносостійкості запропоновано використовувати енергію удара частинки об зношуваний матеріал – чим вища ця енергія, тим менша зносостійкість. Але це справедливо

для малих енергій удару (до 20 Дж/см²). Також за критерій зносостійкості в умовах "змішаного" зносу пропонують застосовувати опір матеріалу зрізу, але цей критерій ще не пройшов практичного випробування.

На підставі вищенаведеного, вивчалася можливість використання характеристики опору зрізу як критерій зносостійкості в умовах комплексного ударно-абразивного зносу.

Матеріали для дослідження, вибиралися з тих сталей, що попередньо були випробувані на зносостійкість в лабораторних і натурних умовах як при суто абразивному зносі, так і при комплексному (ударно-абразивно-корозійно-ерозійно-втомному). В останньому випадку матеріали працювали, як різальні елементи (ножі) бульдозерів тягових класів 10 і 25 т при роботі на скальних ґрунтах найвищої категорії важкості.

Опір зрізу визначався за величиною пружної деформації різця при струганні досліджуваних сталей. Величина пружної деформації різця фіксувалася за допомогою тензодатчиків, розміщених на передній поверхні тіла різця. В момент стругання різець вигинався, на передній поверхні його тіла виникали розтягувальні напруження, і датчики фіксували деформацію розтягування, величина якої складалася з двох частин. На початку різання (врізання різця в матеріал) пружна деформація зростала стрибком і дуже швидко досягала максимального значення. Далі її значення пружної деформації трохи зменшувалося (не більш ніж на 10%), досягала певного рівня і залишалася незмінною на протязі всього процесу різання (до виходу різця з матеріалу). Такий подвійний характер пружної деформації пояснюється тим, що в момент торкання різцем сталі має місце удар, який істотно збільшує швидкість пластичної деформації оброблюваної сталі, що передуює руйнуванню цієї сталі в процесі відриву частинки сталі, яка відрізається при струганні.

В досліді визначався відносний опір різанню. За одиницю був прийнятий опір різанню сталі з найменшою зносостійкістю в усіх умовах зношування. Беручи до уваги подвійний характер пружної деформації в процесі стругання, характеристика опору різанню мала два значення – перше відповідало моменту її стрибка, коли мав місце удар, а друге відповідало стадії стругання, коли пружна деформація була сталою. Одержані результати наведені у таблицях 1 – 4.

Таблиця 1

Абразивна зносостійкість сталей

Марка сталі	Твердість, НВ	Зносостійкість, хв./мм ³
15ХСНД (наплавка сормайтотом)	450-510 (наплавки)	20,0
40 (наплавка сормайтотом)	430-512 (наплавки)	18,3
37ГМ	400-450	13,4
36Г2СР	400-430	19,6

Таблиця 2

Зносостійкість ножів бульдозерів тягового класу 10 т

Марка сталі	Твердість, НВ	Зносостійкість, год/мм
15ХСНД (наплавка сормайтотом)	450-510	5,1-7,2
40 (наплавка сормайтотом)	430-512	4,3-6,4
36Г2СР	400-430	10,0-16,2

Таблиця 3

Зносостійкість ножів бульдозерів тягового класу 25 т

Марка сталі	Твердість, НВ	Зносостійкість, год/мм
36Г2СР	400-430	14,5-21,4
37ГМ	400-440	15,0-17,1

Таблиця 4

Відносний опір різанню при струганні

Марка сталі	Опір різанню при струганні	
	Перша стадія (стрибкова деформація)	Друга стадія (стала деформація)
15ХСНД (наплавка сормайтотом)	1,2	1,05
40 (наплавка сормайтотом)	1	1
37ГМ	3,1	2,6
36Г2СР	3,0	2,85

Аналіз одержаних даних показує, що твердість сталей не корелює з їх зносостійкістю – твердість сталі 15ХСНД і 40 (з наплавками) мають навіть в абразивних умовах зносостійкість на рівні сталі 36Г2СР, твердість якої суттєво нижча, в той же час абразивна зносостійкість останньої значно вища за зносостійкість сталі 37ГМ, хоча їх твердість одного рівня. Тобто, навіть в чисто абразивних умовах зносостійкість не завжди корелює з твердістю.

Найбільше розходження між зносостійкістю і твердістю виявляється при комплексному зносі (табл. 2-3) При цьому, зносостійкість сталі 36Г2СР хоча й не набагато, все ж залишається більшою за зносостійкість сталі 37ГМ при однаковому рівні твердості.

Сталі 15ХСНД і 40, твердість яких вища за твердість сталі 36Г2СР, мають зносостійкість при комплексному зносі набагато меншу – в 2-2,5 рази.

Описані зміни рівня зносостійкості співпадають зі змінами відносного опору різанню (зрізу). Найбільша кореляція спостерігається в другій стадії процесу – сталій деформації. При цьому фіксується різниця в опорі різанню між сталями 36Г2СР та 37ГМ, яка має місце і в рівні зносостійкості цих сталей при комплексному зносі (табл. 3). В той же час добре корелює опір різанню зі зносостійкістю і в стадії стрибкової деформації.

Таким чином, при різних умовах зносу зв'язок між зносостійкістю та твердістю не завжди має однозначний характер і це не дозволяє використати твердість, як критерій зносостійкості. В той же час опір зрізу може розглядатися як "претендент" на критерій зносостійкості при комплексному зносі. Крім того, враховуючи виявлений в проведених дослідях подвійний характер опору зрізу (стрибкова і стала деформація), виникає необхідність проведення додаткових досліджень кореляції між опором зрізу та зносостійкістю.

УДК 621.91.01

ВЫБОР СОСТАВА ЛЕГИРОВАННОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ДЛЯ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Клемешев А.Г., канд. техн. наук, Костина Л.Л., канд. техн. наук, Овчаренко Я.А.

(г. Харьков, Украина)

Selection of Chemical Composition of Alloying Spheroidal Graphite Cast Iron for Details under High Tensors in remounts Processing. Klemeshev A.G., Kostina L.L., Ovtsharenko Y.A. Economic alloying of spheroidal graphite cast iron are forming beinitic structures in castings and properties increasing.

Согласно действующим стандартам химический состав высокопрочного чугуна (ВЧ) определяется в зависимости от его марки, толщины отливки и ряда других факторов. Кроме того, для высоких марок ВЧ предполагается применение экономного легирования такими элементами, как Ni, Cu, Mo, V и др., однако рекомендации по количественному составу таких добавок отсутствуют. Наибольший интерес с точки зрения получения ВЧ для нагруженных деталей машин представляет экономное легирование его такими элементами, которые способствовали бы формированию уже в литом состоянии микроструктур промежуточного превращения, т.е. бейнитных или частично бейнитных, и тем самым обеспечивали высокий уровень свойств материала, не требуя последующей сложной и дорогостоящей термической обработки. Выбрана никель-молибденовая добавка, способная обеспечить значительный рост физико-механических свойств ВЧ за счет формирования игольчатых микроструктур в литом состоянии.

Известно, что в литом состоянии получение бейнитных структур в отливках с толщиной стенки, большей 50 мм, возможно при добавке 3,5-4,5% никеля и более 0,8% молибдена. Однако введение таких количеств легирующих элементов значительно повышает стоимость материала. Рационально уменьшить количество легирующих элементов, вводимых в чугун.

Проведенная серия опытных плавов позволила установить, что ввод в ВЧ никеля и молибдена в количестве соответственно 2,0-«.2% и 0,6-0,7% является оптимальным для обеспечения стабильного формирования в толстостенных отливках (диаметром 50-60 мм) бейнитной микроструктуры матрицы по всему сечению отливки, поэтому указанная концентрация легирующих элементов принята наибольшей при проведении дальнейших исследований.

Для определения оптимального химического состава ВЧ, обеспечивающего наилучшее сочетание механических характеристик в литом состоянии, проводили планирование эксперимента. Задача планирования сводилась к выбору химического состава ВЧ, в первую очередь легирующей добавки, которая должна быть ответственна за максимальный рост прочности и пластичности материала при значениях твердости, позволяющих проводить механическую обработку отливок.

При выборе содержания никеля и молибдена исходили из таких их количеств, которые смогут формировать в литом состоянии различные микроструктуры, обеспечивающие повышенные свойства: перлитную, перлитобейнитную или бейнитную; а также учитывали содержание кремния, как основного элемента, определяющего литейные и механические свойства чугуна.

Таким образом, в качестве независимых переменных выбрали три фактора: 1- содержание в чугуне молибдена, %; 2- содержание в чугуне никеля, %; 3- содержание в чугуне кремния, %. В качестве оптимизируемых параметров выбраны временное сопротивление σ_s , относительное удлинение δ и твердость НВ. Желаемые значения оптимизируемых параметров, исходя из условий работы нагруженных деталей машин, были приняты следующими: σ_s более 800 МПа, δ более 2,0%, НВ менее 3000 МПа. Был проведен полный факторный эксперимент 2^3 . Результаты спланированного и поставленного эксперимента позволили рассчитать коэффициенты уравнения регрессии для каждого параметра оптимизации. При натуральном выражении независимых переменных полученные уравнения имеют следующий вид:

$$\sigma_s = 730,1 + 210,9\text{Mo} + 120,4\text{Ni} - 33,3\text{Si} - 76,6\text{MoNi} - 24,5\text{NiSi} - 26,6\text{MoSi} + 24,2\text{MoNiSi} \quad (1)$$

$$\delta = 2,41 - 0,5\text{Mo} + 1,72\text{Ni} - 0,07\text{Si} - 0,57\text{NiSi} \quad (2)$$

$$HB = 277,9 - 82,5\text{Mo} - 17,4\text{Ni} - 32,6\text{Si} + 15,3\text{MoNi} + 86,0\text{MoSi} + 21,5\text{NiSi} \quad (3)$$

Полученные уравнения затем представляли в виде системы неравенств с подстановкой вместо независимого параметра его желаемого значения. При этом значения твердости HB ограничивали как сверху (не выше 3000 МПа) из соображений возможности проведения механической обработки деталей, так и снизу (не ниже 2000 МПа), т.к. чугун с твердостью, меньшей 2000 МПа не представляет интереса как материал для нагруженных деталей машин из-за низкой прочности и износостойкости. Для предела прочности принято ограничить не ниже 800 МПа, для относительного удлинения – не ниже 2%. Полученные уравнения позволяют использовать их как интерполяционные формулы для расчета выходных параметров (σ_s , δ , HB) при любых значениях варьируемых факторов (содержания элементов). При задании иных значений оптимизируемых параметров (свойств) возможен выбор химического состава *(по кремнию, никелю и молибдену) для деталей иной степени нагруженности. Для определения координат области, описываемой данной системой неравенств, было выполнено их компьютерное решение по специально изготовленной программе. При этом задавалось изменение содержания молибдена от 0 до 1,0%, содержание никеля от 0,1 до 3,0%, содержание кремния от 2,0 до 3,0%. Шаг просчета составлял: для никеля и кремния 0,5%, для молибдена 0,05%.

Изучение данных, полученных после решения системы неравенств, показало, что имеется 6 поверхностей с изменяющимися значениями содержания кремния от 2,0 до 2,5%, каждой из этих поверхностей соответствует определенная совокупность значений двух других факторов системы – содержание никеля и молибдена. Это позволило построить графически в системе 3х координат область, в которой выполняются заданные условия – область получения оптимальных свойств ВЧ, легированного никелем и молибденом. При этом оптимизация состава проведена не только по легирующим элементам, но и по кремнию.

Дальнейшие эксперименты подтвердили адекватность полученной модели и позволили стабильно получать ВЧ с бейнитной и перлитно-бейнитной структурой в литом состоянии, обладающий σ_s 800-900 МПа, δ 2,0-4,0%, при HB менее 3000 МПа.

Достижимые в экономнолегированном никелем и молибденом ВЧ высокие значения механических характеристик, особенно при применении экономного легирования к ВЧ, полученному модифицированием в форме, дает основание получать этот материал для нагруженных деталей машин в условиях литейных цехов и участков ремонтных заводов.

УДК 621.91.01

ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Солнцев Л.А., канд. техн. наук, Костина Л.Л., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The Spheroidal Graphite Cast Iron by Casting in Chill Moulds and Heat treatment. Solntsev L.A., Kostina L.L. The casting Spheroidal Graphite Cast Iron in chill moulds without facing with alloying and heat treatment ensures ferritoperlitic, perlite-beinitic and beinitic structure and high properties of material.

Литье в постоянные металлические формы – кокили – имеет ряд преимуществ перед литьем в песчаные формы. Однако высокопрочный чугун до настоящего времени в необлицованные кокили не заливается.

Харьковским национальным автомобильно-дорожным университетом (Украина) разработана и внедрена на машиностроительных заводах технология изготовления деталей широкой номенклатуры литьем в кокиль. Такая технология позволяет на единой шихте по единому процессу получать различные марки чугуна. Характерной особенностью такого процесса является использование значительно меньших доз модификатора (низкомагниевого лигатура), чем при литье в песчаную форму. Содержание остаточного магния в связи с этим составляет 0,03-0,04% вместо обычного 0,05-0,10%.

Значительное количество цементита в кокильных отливках из высокопрочного чугуна требует обязательно графитизирующего отжига. Особенности литой структуры кокильного чугуна позволяют резко сократить цикл термической обработки (до 4-5 часов). Это связано с образованием больших количеств термически малоустойчивого силикокарбида Fe_3SiC вместо устойчивого цементита Fe_3C .

В литом состоянии кокильный чугун имеет развитую микроликвацию кремния и марганца, отличающуюся по своему характеру от микроликвации в чугуне, отлитом в песчаные формы. Отжиг не устраняет ликвацию, а приводит к образованию гетерогенной структуры, в которой чередуются области, обогащенные кремнием (вокруг включений графита) и обедненные им (области, где до отжига располагался цементит).

Это позволяет рассматривать высокопрочный чугун, отлитый в кокиль и отожженный, как естественный композиционный материал, что положительно сказывается на свойствах чугуна. В частности, прочность и ударная вязкость при одинаковых условиях у кокильного чугуна на 25%, пластичность на 30%, а износостой-

кость – даже на 50% выше, чем у чугуна, отлитого в песчаную форму.

В ряде случаев условия работы деталей требуют для них применения упрочняющей термической обработки. Для деталей из нелегированного чугуна проводилась нормализация с нагревом выше точки A_{C1}^k и в межкритический интервал $A_{C1}^k - A_{C1}^n$. В последнем случае формируется бинарная феррито-перлитная структура матрицы, позволяющая получать σ_b до 850-880 МПа, δ - на уровне 5-10%. Важно отметить, что такая обработка понижает температурный порог хрупкости: при $-40 \dots -60^\circ\text{C}$ ударная вязкость сохраняется на уровне 25-30 Дж/см².

Детали, работающие в условиях трения и изнашивания, следует изготавливать из легированного кокильного чугуна. Лучшие результаты дает применение в качестве легирующих элементов никеля и меди.

Для случая повышения износостойкости лучшие результаты дает бейнитная структура металлической основы. Обычно для ее получения применяют изотермическую закалку. Однако для кокильного чугуна, легированного никелем и медью, такая обработка может быть заменена непрерывным охлаждением. Это возможно для отливок с небольшой толщиной стенки (10-20 мм). Путем подбора интенсивного охлаждения в сочетании с вариациями химического состава могут быть получены верхний бейнит, нижний бейнит и сочетание в матрице бейнита и перлита.

Выводы:

1. Литье высокопрочного чугуна в необлицованный кокиль обеспечивает получение отливок с высокими эксплуатационными характеристиками и позволяет на единой шихте получать марки чугуна от ВЧ 45 до ВЧ 100.
2. Отжиг приводит к измельчению микроструктуры и микронеоднородности матрицы кокильного высокопрочного чугуна, при которой высококремнистые участки чередуются с пластичными малокремнистыми прослойками, повышая таким образом свойства.
3. Легирующие элементы, повышая устойчивость переохлажденного аустенита, позволяют получать бейнитную металлическую основу при непрерывном охлаждении вместо изотермической закалки, что удешевляет и упрощает повышение характеристик прочности чугуна с помощью термической обработки.

УДК 622.243.923

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОБУРЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Никитенко В.Д., Ткаченко В.П.

(г. Харьков, Украина)

Problems of electroboring and possible paths of their solution

Резкое сокращение объемов бурения вызвано появлением серьезных осложнений в хозяйственных связях, ухудшением материально-технического обеспечения, отставанием в техническом перевооружении буровых предприятий, применением морально устаревшей техники (например более 2/3 буровых установок, освоенных производством более 35 лет назад), снижением производственной дисциплины и другими подобными причинами, аналогичными для всего народного хозяйства. Задача осложняется еще тем, что в связи с уменьшением производительности вновь вводимых в эксплуатацию скважин для создания одной и той же мощности по добыче нефти, а также увеличением их средних глубин приходится увеличивать число скважин, а следовательно, и объемы бурения. В условиях, когда простаивают тысячи старых скважин и не вводятся в эксплуатацию новые из-за отсутствия или полной изношенности нефтепромыслового оборудования, а также по многим другим причинам, связанным с общим состоянием экономики, потребность в наращивании объемов бурения без ввода пробуренных скважин в действие теряет свои остроту и цель. При комплексном подходе к бурению как к составной части проблемы по обеспечению потребности в нефти и газе в данной ситуации на первый план выдвигается задача по увеличению производительности буровых работ, их удешевлению и улучшению качества. Основная роль в этом должна отводиться буровой технике и технологии бурения.

Анализ использования буровой техники позволяет выделить технические средства, которые определяют эффективность ее применения в целом. К числу наиболее важных технических средств относится привод долота. От него зависит возможность применения рациональных типов долот и достижение оптимальных режимов бурения, использования эффективных средств автоматизации и информационно-измерительной аппаратуры для контроля и управления процессом бурения и трассой ствола скважины, обеспечения его качества и точности попадания в круг допуска, сроков освоения скважин, повышения коэффициента передачи мощности на забой и многих других факторов, влияющих на технико-экономические показатели бурения.

В настоящее время в качестве привода долота используются в основном гидравлические забойные двигатели (турбобур и винтовые двигатели), ротор и электробур.

Турбинный способ, по существу, и в настоящее время в нашей стране является основным. Но в последнее время с переходом на бурение более глубоких скважин и скважин специального назначения, в том числе горизонтальных, увеличением объемов буровых работ с использованием растворов высокой плотности, вязкости и с волокнистыми наполнителями требования к конструкциям и характеристикам забойных двигателей значительно возросли. Созданные в последние годы турбобуры с мультипликаторами сложны, технически трудно выполнимы, очень дороги и не обладают необходимой надежностью.

Применение винтовых забойных двигателей, несмотря на их преимущество перед турбобурами (более высокий вращающий момент, низкая частота вращения), тоже не может полностью решить проблему глубокого бурения. У винтовых двигателей меньшая надежность в работе, особенно при бурении с применением утяжеленных буровых растворов и в условиях высоких забойных температур.

Общим недостатком гидравлических забойных двигателей (ГЗД) является зависимость их характеристик от параметров промывочной жидкости, что создает значительные трудности при выборе рациональных режимов бурения.

Широкое применение роторного способа бурения, который до сих пор является основным в США, у нас сдерживается в основном из-за отсутствия высокопрочных бурильных труб. В связи с увеличением объемов бурения наклонно направленных и горизонтальных скважин значение роторного бурения уменьшается. Поэтому за рубежом все большее применение находят забойные двигатели, в частности обращается серьезное внимание на электробур.

Технико-экономический анализ применения различных способов бурения показывает, что наиболее полно требованиям технологии и целям бурения в качестве привода долота отвечает электробур.

Наиболее эффективно электробурение при строительстве наклонно направленных и глубоких скважин в сложных горно-геологических условиях. В связи с развитием бурения горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин, которые особенно эффективны для разработки низко- и неравномерно-проницаемых коллекторов, высоковязких нефтей и труднодоступных залежей, роль электробурения значительно возрастает.

Несмотря на положительный опыт бурения таких скважин электробурами, эффективность от их применения может быть гораздо выше. Для этого, помимо усовершенствования телесистем и системы токоподвода, разработаны укороченные высокомоментные электробуры, которые позволяют бурить участки ствола скважины с небольшими радиусами искривления (20-30 м), что вполне доступно для электробуров, так как удельная мощность, приходящая на единицу длины активной части электродвигателя, значительно выше, чем у ГЗД. Это позволяет при одной и той же длине двигателей получать более высокую забойную мощность у электробуров.

Особенности системы электробурения позволяют использовать электробур (вместе с телесистемой) в качестве забойных датчиков для получения информации и как инструмент для проведения исследовательских работ, т.е. электробур одновременно выполняет информативную и реализующую роли. Использование его в таком качестве может обеспечить получение необходимого объема информации для вывода базовых зависимостей параметров результатов бурения и возможность разработки рациональных технологий не только для электробурения, но и для других способов бурения.

УДК 622.276.05

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ТИПА «ТЕРРАДИН-3»

Ткаченко В.П., Мельник А.К., Зайцев И.Т., Макогон А.И.

(г. Харьков, Украина)

Electromechanical source of seismic transients such as "Terradin -3"

В настоящее время в ОАО завод «Потенциал» проводятся работы по созданию импульсного электромеханического источника типа «Террадин-3», предназначенного для возбуждения сейсмических колебаний без бурения и взрывов при поиске нефти, газа и других полезных ископаемых.

Наименование параметра	Норма
Амплитуда импульса силового воздействия, Н (Тс), не менее	480000 (48)
Длительность импульса силового воздействия, мс	$5,0 \pm 1,0$
Минимальный интервал времени между силовыми воздействиями, с	6,0
Точность синхронизации, мс	$\pm 0,2$
Допустимая амплитудная неидентичность, %	± 10
Амплитуда вторичного воздействия, Н (Тс), не более	14000(1,4)
Время на установку излучателей в транспортное положение, с, не более	30
Время на установку излучателей в рабочее положение, с, не более	20
Удельное давление опорных плит излучателей на грунт, Па (кгс/см^2), не более	$8 \cdot 10^5$ (8)

В отличие от выпускаемых ранее ОАО завод «Потенциал» импульсных электромеханических источников типа «Сейсморин», основанных на электродинамическом способе преобразования энергии, источник «Терра-

дин-3» основан на электромагнитном способе преобразования энергии. Электромагнитный способ позволяет существенно повысить эффективность преобразования энергии (120-150 Н/Дж вместо 12-13 Н/Дж), а следовательно, уменьшить количество запасаемой энергии, снизить габариты, массу и стоимость источника.

Принцип действия источника заключается в следующем.

Электрическая энергия, поступающая от источника питания запасается в емкостном накопителе генератора электрических импульсов, а затем с помощью тиристорного коммутатора передается в виде импульсов разрядного тока на обмотку линейного импульсного электромагнитного двигателя, в котором происходит преобразование электрической энергии в механическую. Развиваемый при этом импульс механической силы через опорную плиту передается грунту, возбуждая в нем упругие волны. Воздействие опорной плиты на грунт проявляется в виде импульса давления. Безударный способ возбуждения колебаний обеспечивает стабильность (воспроизводимость) силового воздействия и синхронность при группировании источников.

Номинальные значения основных параметров источника приведены в таблице.

Конструктивно источник состоит из следующих составных частей:

- транспортной базы – шасси автомобиля «Урал»;
- излучателей с подъемниками – 2 шт;
- генератора электрических импульсов;
- шкафа управления;
- пульта управления в кабине водителя;
- источника питания – синхронного генератора, приводимого во вращение двигателем автомобиля или автономного источника мощностью 8-10 кВт;
- кузова

По воздействию климатических факторов окружающей среды источник должен соответствовать ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89 для изделий климатического исполнения УХЛ категории размещения 1, при этом нижнее значение температуры окружающего воздуха равно минус 40 ° С.

Габаритные размеры источника должны быть не более:

– длина, мм	-	7795
– ширина, мм	-	2500
– высота, мм	-	3800

Масса источника должна быть не более 14000 кг.

Управление подачей импульсов силового воздействия на грунт - местное кнопочное из кабины и дистанционное от сейсмостанции как по проводной связи, так и по радиосвязи с использованием серийно выпускаемых систем синхронизации.

Напряжение силовых электрических цепей – не более 1000 В.

Гидравлическая система источника должна обеспечивать спуско-подъемные операции излучателей, фиксацию их в транспортном положении, прижим опорных плит при работе.

Электрическая схема должна обеспечивать автономность питания электрооборудования и возможность синхронной работы группы источников.

Конструкция источника должна обеспечивать его надежную работу в условиях повышенной влажности и запыленности.

Серийное производство источников «Террадин-3» планируется освоить в 2003 году.

УДК 539.2: 62

ИЗЫСКАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Мощенко В.И., канд. техн. наук, Глушкова Д.Б., канд. техн. наук,

Тарабанова В.П., канд. техн. наук, Мацак А.Т. канд. техн. наук,

Кириченко И.Г., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The choice of the optimal material for details of cooling flight conveyers. Moschenok W.I., Glushkova D.B., Tarabanova W.P., Mazak A.T., Kirichenko I.G. There are investigations of microstructure, microhardness, wear resistance, corrosion resistance of steels. It is proposed the optimal materials for details cooling flight conveyers.

Введение

Горношахтное оборудование эксплуатируется в тяжелых условиях, в результате чего предъявляются жесткие требования к его деталям с точки зрения надежности и долговечности работы.

В частности, детали угольных скребковых конвейеров подвергаются ускоренному разрушению, вызванному совместным воздействием на них агрессивных в коррозионном отношении шахтных вод, больших абразивных масс угля и горных пород, высоких динамических нагрузок. В данной работе обосновывается подход к выбору материала для деталей угольных скребковых конвейеров.

Состояние вопроса

Весьма ответственным узлом, определяющим работоспособность скребкового конвейера, является сопряжение “звена тяговой цепи - днище”. Часто выбор конструкционных материалов для шахтного оборудования основывается главным образом на их стоимости, доступности и далеко не всегда связан с конструкционной прочностью, структурой и физико-механическими свойствами широкой гаммы существующих марок сталей.

С другой стороны, для сопряженных деталей узлов трения важным моментом является структурная приспособляемость контактируемых материалов, т.е. способность прирабатываться и обеспечивать нормальный процесс изнашивания без схватывания, задиры в конкретных условиях эксплуатации.

Что касается природы повреждаемости деталей днища и звена тяговой цепи скребкового конвейера, то ее можно охарактеризовать как специфическую форму механико-коррозионного износа, активизирующегося в значительной мере наличием абразива.

В связи с тем, что ведущим видом изнашивания деталей скребковых шахтных конвейеров является абразивный износ, то выбор марок сталей для их деталей производится с учетом, прежде всего износостойкости. Так, например, для деталей, подвергаемых износу, рекомендуется использовать стали 55С2, 35Г2, 65Г и другие. Иногда, где это возможно, используют белый легированный чугуны.

Методика и результаты исследований

Сопоставление структуры стали с характером износа в абразивно-коррозионной среде показали, что одним из факторов, определяющих износостойкость, является твердость. Повысить ее можно за счет легирования специальными элементами или определенным режимом химико-термической обработки.

В соответствие с (1) при работе материала в абразивной среде важным является соотношение его твердости с твердостью абразива (так называемый коэффициент твердости). При коэффициенте твердости, меньшем 0,6, имеет место чистое микрорезание абразивными частицами поверхностного слоя деталей: твердость абразива значительно выше твердости материала. И наоборот, при коэффициенте твердости выше 0,6...0,7 проявляется несколько иной механизм изнашивания – усталостный или полидеформационный, при котором существенно усиливается влияние жидких сред (воды, например). Эти взаимосвязи величин твердости материала и абразива весьма желательно учитывать при обосновании выбора конструкционного материала.

Таким образом, процесс поверхностного разрушения деталей днища и звена цепи многофакторный. Поэтому для правильного выбора марки стали необходим комплексный подход, учитывающий все перечисленные факторы, прямо или косвенно влияющие на износостойкость материала.

Нами были выбраны для проведения исследований три марки сталей 30Г, 25ХГСП и ASTM, применяемые для изготовления деталей, работающих в гидроабразивной среде.

Для расшифровки структур исследуемых сталей применялся металлографический метод и электронная микроскопия. Для получения данных о процентном содержании различных структурных составляющих был использован метод количественной металлографии. Количество той или иной составляющей в структуре стали

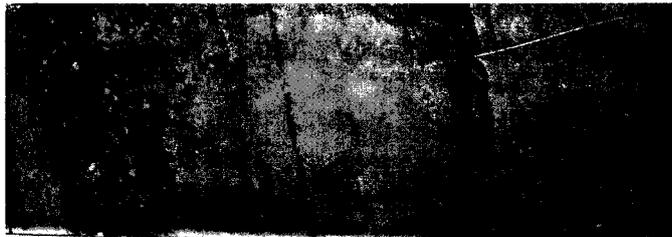


Рис. 1. Характер поверхности трения колодки из стали 30Г после 36 часов испытания, х600.

подсчитывалось методом планиметрирования площади, занимаемой ими.

Для изучения структуры в электронном микроскопе использовался метод лаковых реплик, оттененных хромом. Исследования под электронным микроскопом позволили наблюдать характер расположения карбидов.

Твердость сталей определялась на приборе Роквелл с переводом значений с помощью таблиц в твердость по Бринеллю. Микротвердость определялась на приборе ПМТ-3. Проведенные кратковременные износные испытания трех марок ста-

лей позволили установить особенности изнашивания каждой из сталей. Так поверхность трения колодки из стали 30Г представляет полосы скольжения в виде натиров и возможного шарнирования абразивом (рис. 1).



Рис. 2. Микрорельеф поверхности трения колодки из стали 25ХГСП после 36 часов испытаний, х600.

твердостью.

Совершенно иной микрорельеф формируется при трении в идентичных условиях сталей 25ХГСП и ASTM (рис. 2 - 3).

Поверхность трения стали 25ХГСП, в процессе изнашивания, приобретает густо расположенные риски – следы микрорезания абразивными частицами с локальными наплывами, микросхватываниями которые в случае стали ASTM значительно более развиты.

Все это в целом оказывает влияние на уровень износостойкости сталей, отличающихся между собой структурой и, следовательно,

Результаты изучения износостойкости, которая оценивалась по потере массы исследуемых образцов в ре-

зультате 36-часовых испытаний, показали, что износ колодки из стали 25ХГСП составляет 0,2439 г, из стали



Рис.3. Микрорельеф поверхности трения колодки из стали ASTM после 36 часов испытания, х600.

30Г – 0,7022 г и из стали ASTM – 0,4086 г. Такое распределение износостойкости обусловлено характером структурного состояния, образующим микрорельефом при трении, уровнем твердости, микротвердости исследуемых сталей.

В связи с тем, что износ деталей шахтного оборудования происходит в среде, содержащую воду, то для получения полной информации о поведении материала в таких условиях, необходимо иметь данные о коррозионной стойкости. Это особенно актуально в связи с тем, что чем менее коррозионностойкий материал в среде,

содержащей воду, тем сильнее при прочих равных условиях он будет изнашиваться.

Выполненные на протяжении 120 ч. испытания коррозионной стойкости трех исследуемых марок сталей в водной среде при температуре +20°C показали, что максимальную скорость коррозии ($V_k = 38,0 \cdot 10^{-4}$ г. м⁻² .ч⁻¹) обнаружила сталь 30Г, минимальную ($V_k = 0,75 \cdot 10^{-4}$ г. м⁻² .ч⁻¹) – сталь 25ХГСП. Скорость коррозии стали ASTM равняется $1,6 \cdot 10^{-4}$ г. м⁻² .ч⁻¹.

Выводы

Проведенные испытания позволяют заключить, что для изготовления ответственного узла скребкового конвейера – сопряжения звено тяговой цепи – днище может быть рекомендована сталь 25ХГСП.

Такой вывод сделан на основе изучения структурного состояния в исходном состоянии, анализа микрорельефа при трении, замеров твердости, микротвердости, данных по износостойкости, результатов коррозионной стойкости.

Литература

1. Тененбаум М.М. Основные виды разрушения деталей угольных машин. - М.: Наука, 1986. – 90 с.

УДК 631.354

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОЧИСТИТЕЛЕЙ РЕШЕТ

Завгородний А.И., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The machines with lattices are applied in various branches of a national economy: chemical, mountain industries, agriculture. The working process of these machines is accompanied by pollution of apertures of lattices by particles of a processable mix. It compels to apply to clearing apertures special mechanisms. The work is devoted to a substantiation of the optimum law of movement of working bodies of mechanisms for clearing lattices.

Критерием оптимизации закона движения рабочих органов очистителя служит так называемый коэффициент эффективности “живого сечения” (КЭЖ), равный отношению числа открытых отверстий решета к числу всех его отверстий. Из двух групп очистителей – с однонаправленным и возвратно-поступательным движением рабочих органов, рассмотрим первую, для которой КЭЖ определяется следующим образом [1]:

$$G = \left[1 - \exp(-\lambda(T - t_B - \tau_1)) \right] / \left[\lambda T (1 + \bar{n}\lambda(T - t_B - \tau_2)) \right]. \quad (1)$$

Здесь: λ – скорость забиваемости отверстий в начальный момент времени; \bar{n} – среднее потребное число циклов очистки для извлечения застрявших частиц из отверстий; T – период очистки; t_B – время закрытого состояния отверстия в течение периода T за счет его контакта с рабочим органом очистителя; τ_1, τ_2 – время погружения частицы в отверстие на предельную глубину соответственно в процессе просеивания и заклинивания. Отметим, что величины τ_1, τ_2 постоянны, а время t_B переменное и зависит от закона движения рабочих органов очистителя.

Один из возможных законов движения рабочих органов изображен на рис.1. Линии $O_i A_i, i = 1, 2, \dots$ получены параллельным переносом произвольной кривой OA вдоль оси абсцисс на расстояния iT . Для решения задачи введем вспомогательную функцию $S = S(t)$. На отрезке $t \in [0, T]$ она совпадает с искомым законом, а на каждом последующем отрезке той же длины она получается как результат переноса соответствующей ветви $O_i A_i$ графика вдоль оси ординат до момента устранения разрыва (совмещения точек A_{i-1} и O_i). При таком построении функции $S(t)$ ее определение равносильно определению искомого закона. Далее потребуем, чтобы $S(t)$ была непрерывной вместе со своей производной по крайней мере на отрезке $t \in [0, 2T]$, а также, чтобы

производная $S'(t)$ не равнялась нулю на этом отрезке. Тогда на основании теоремы о существовании неявных функций [2] на отрезке $S \in [0, 2L]$ (L – длина решета) найдется функция, обратная к данной: $t(S) = S^{-1}$.

Оценку состояния решета легче провести с использованием функции $t(S)$, так как многие величины, входящие в формулу (1), имеют смысл времени. Кроме того следует подчеркнуть, что неизвестность функции $S(t)$, а вместе с ней и $t(S)$, не сводится лишь к неопределенности вида кривой между точками O и A (рис.1.).

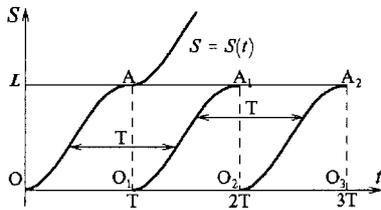


Рис. 1. Расчетная схема к оптимизации закона движения рабочих органов.

Неизвестно еще где окажется сама точка A на линии $S = L$. Таким образом, период очистки оказывается также зависимым от функции $t(S)$ и определяется совместно с ней. Для любой точки S решета он равен:

$$T = t(S + L) - t(S) = y \tag{2}$$

В целях удобства для правой части записанного равенства введено стандартное обозначение y .

Выразим теперь переменное слагаемое t_B в формуле (1) через ту же функцию $t(S)$. Рассмотрим произвольную точку решета на расстоянии S от кромки. Величина t_B по смыслу равна времени

прохождения рабочего органа очистителя через выбранную точку, то есть, времени прохождения пути равному ширине B рабочего органа:

$$t_B = t(S + B) - t(S) \tag{3}$$

С учетом (2), (3) составим выражения для определения времени открытого состояния выбранной точки. Для процесса забиваемости это время равно:

$$T - t_B - \tau_2 = t(S + L) - t(S + B) - \tau_2 = \varphi(y) - \tau_2, \tag{4}$$

где обозначено:

$$\varphi(y) = t(S + L) - t(S + B) \tag{5}$$

В силу обратимости функции $t(S)$ функция $y = y(S)$ (2) также обратима и, следовательно, имеет смысл зависимость $S = S(y)$, поэтому правая часть равенства (4) записана как функция от y . С использованием (4) для процесса просеивания аналогично получаем: $T - t_B - \tau_1 = \varphi(y) - \tau_1$.

Рассматривая совместно полученные зависимости, видим, что “живое сечение” решета переменено по длине, так как оказывается зависимым от переменной $y = y(S)$. В этом случае состояние решета в целом оценивается средней величиной КЭЖ:

$$G = \frac{1}{\lambda L} \int_0^L \frac{1 - \exp[-\lambda(\varphi(y) - \tau_1)]}{y[1 + \bar{n}\lambda(\varphi(y) - \tau_2)]} dS. \tag{6}$$

Функцию y в соотношении (6) необходимо подобрать так, чтобы КЭЖ был максимальным. Причем на эту функцию наложено единственное условие: $t(0) = 0$. Следовательно, мы пришли к задаче о максимизации функционала (6) с одной закрепленной и одной подвижной границей. Для ее решения воспользуемся уравнением экстремалей Эйлера [3]:

$$F_y - \frac{d}{dS} F_{y'} = 0, \tag{7}$$

где F – подынтегральная функция функционала (6), F_y и $F_{y'}$ – ее производные, соответственно по y и по y' .

Поскольку F не зависит от y' , то $F_{y'} = 0$ и уравнение (7) существенно упрощается:

$$F_y = \left\{ \frac{1 - \exp[-\lambda(\varphi(y) - \tau_1)]}{y[1 + \bar{n}\lambda(\varphi(y) - \tau_2)]} \right\}' = 0. \tag{8}$$

Отметим, что при решении задач с подвижной границей и известной траектории перемещения граничной точки для определения постоянных интегрирования в искомой функции на нее дополнительно накладывается так называемое условие трансверсальности [3]. В нашем случае граничная точка A (рис.1.) перемещается по прямой $S = L$ в результате чего условие трансверсальности имеет простой вид $F_{y'}|_{S=L} = 0$ и удовлетворяется тождественно.

Выражение (8) – алгебраическое уравнение относительно y . Решив его, мы получим величину требуемого периода $y = T = const$. Тогда и величина $\varphi(y)$ будет также постоянна. При известном периоде T соотношения (2) и (5), рассматриваемые совместно, представляют систему функциональных уравнений относительно функции $t(S)$:

$$\begin{cases} t(S+L) - t(S+B) = \varphi(T), \\ t(S+L) - t(S) = T. \end{cases} \quad (9)$$

Системе (9) удовлетворяет следующее решение:

$$t(S) = \frac{T}{L}S + t_*(S). \quad (10)$$

Учитывая, что функция $t(S)$ обратима, полученный закон движения (10) можно представить в привычной форме как зависимость пути от времени:

$$S(t) = \frac{L}{T}t + S_*(t). \quad (11)$$

Нелинейное слагаемое $S_*(t)$ характеризует отклонение движения от прямолинейного (так же, как и $t_*(S)$) и удовлетворяет условиям периодичности:

$$S_*(\kappa T_*) = 0, \quad S_*(t) = S(t + \kappa T_*), \quad \kappa \in \mathbb{Z}, \quad ((L-B)/L = \ell/r, \quad T_* = T/r, \quad \ell, r \in \mathbb{N}). \quad (12)$$

Кроме того, из условия однонаправленности движения $S'(t) \geq 0$ имеем дополнительное требование:

$$S_*' > -L/T. \quad (13)$$

Таким образом, оптимальным может быть движение рабочих органов с постоянной скоростью $V = L/T$ (при $S_*(t) = 0$) или же с наложением на это движение нелинейной составляющей $S_*(t)$. Причем в качестве нелинейной составляющей может быть принята любая функция в пределах требований (12), (13). Некоторый произвол в выборе закона движения объясняется следующим. Максимальный эффект процесса может быть достигнут только тогда, когда условия очистки будут оптимальными и, следовательно, одинаковыми по всей длине решета. Эти условия определяются следующими параметрами работы очистителя: $\bar{n}, T, t_B, \tau_1, \tau_2$. Величины $\bar{n}, T, \tau_1, \tau_2$ сохраняют постоянные значения по длине решета (не зависят от координаты S). Остается выяснить, как влияет нелинейность движения на составляющую t_B . На основании соотношений (3), (10), а также опираясь на периодичность функции $t_*(S)$, запишем:

$$t_B = t(S+B) - t(S) = (S+B)\frac{T}{L} + t_*(S+B) - S\frac{T}{L} - t_*(S) = B\frac{T}{L}. \quad (14)$$

Результат (14) показывает, что при любом выборе функции $S_*(t)$ в пределах ограничений (12), (13) время t_B прохождения рабочими органами очистителя любой точки решета сохраняет одно и то же значение, как и в случае движения рабочих органов с постоянной скоростью $V = L/T$, когда $S_*(t) \equiv 0$. Причем отклонение движения от прямолинейного при $S_*(t) \neq 0$ незначительно, так как происходит на малом участке решета длиной L/r . Максимально возможное значение этой длины равно ширине B рабочего органа очистителя.

Таким образом, неоднозначность выбора оптимального закона, например в форме (11), включающего произвольную нелинейную составляющую $S_*(t)$, имеет достаточно простое объяснение: несмотря на отклонение движения от прямолинейного, если они регламентируются требованиями (12), (13), параметры работы очистителя (условия очистки) остаются одинаковыми в каждой точке решета, а это как раз и требуется для достижения наилучшего эффекта очистки.

Литература

1. Завгородний А.И. Очистка решет в зерноочистительных машинах. – Киев: изд-во УСХА, 1992. – 180с.
2. Смирнов В.И. Курс высшей математики. – 21-е изд., стереотип. – М.: Наука, 1974. – 656с.
3. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 424с.

УДК 628.349.08
**УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАМОВ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
 ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Тарелин А. А., докт. техн. наук, Калекин О. Ю., канд. техн. наук, Толчеева И. С.,
 Лукьянов В. Н., Софронов Н. Б.
 (г. Харьков, Украина)

The basic opportunity of recycling of waste products of electro pulse clearing of drains of galvanic manufacture is shown as raw material of catalysts. The submitted samples fine disperse, have the advanced surface and satisfactory activity.

Основной стратегией в области охраны окружающей среды в отдельных государствах и международных организациях стало развитие методов утилизации шламов или ценных компонентов из них. Гальванические покрытия являются одними из наиболее распространенных способов обработки металлов. Так как количественный и качественный составы сточных вод гальванического производства колеблются, то применение какого-либо способа рекуперации металлов из стоков не всегда экономично, и тогда применяют методы очистки отдельного вида стоков с последующей утилизацией шламов.

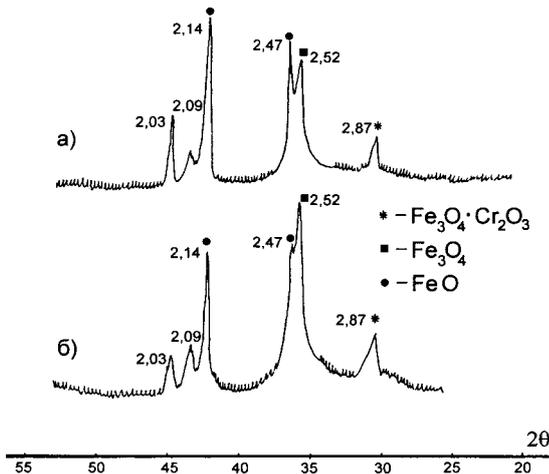


Рис. 1. Рентгенограммы исходных образцов 1 (а) и 2 (б).

морфологическим изменениям материала порошков: увеличенная дефектность кристаллической решетки и измельченная структура.

Известно несколько направлений, позволяющих произвести утилизацию таких шламов очистки хромовых стоков. Использование осадков в качестве компонентов сырьевых смесей при получении строительных материалов и применение модифицированных осадков в производствах, где наиболее полно могут быть реализованы специфические свойства соединений, включающих железо, хром, медь.

Были исследованы четыре железо-оксидных образца шламов очистки гальванических хромовых стоков, проведенных по электроимпульсной технологии. При их исследовании использовались физико-химические методы: рентгенофазовый, дифференциально-термический (ДТА), термопрограммированного восстановления (ТПВ). На основе этих образцов были приготовлены катализаторы среднетемпературной конверсии оксида углерода и проведены их испытания на активность в сопоставлении с промышленным железохромовым образцом.

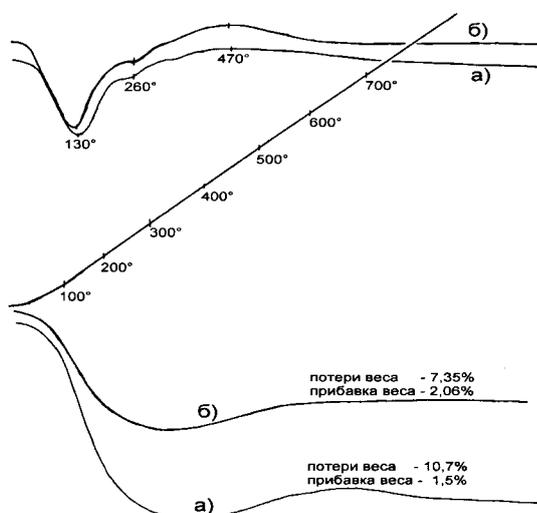


Рис. 2. Кривые ДТА образцов 1 (а) и 4 (б).

Рентгенофазовым анализом установлено, что образцы содержат оксиды железа FeO с $d = 2,14; 2,47 \text{ \AA}$ и Fe_3O_4 с $d = 2,03; 2,52 \text{ \AA}$, и железохромовая шпинель с $d = 2,87 \text{ \AA}$ (Рис. 1). Незначительные различия в величинах межплоскостных расстояний свидетельствуют о количественной разнице обнаруженных фаз. При определении химического состава об-

наружено отсутствие соединений каталитических ядов (SO_4^{2-} и Cl^-), тогда, как в образцах 2, 3, 4 ионы SO_4^{2-} присутствуют (~0,6%); оксиды хрома (~4%). Таким образом, по фазовому составу анализируемые образцы содержат оксиды железа различной валентности с примесью хрома.

Методом ДТА показано, что при нагревании до 800°C как образца 1, так и 4 (Рис. 2) наблюдается удаление адсорбционной влаги (6%) с максимумом 130°C и прибавление веса до 2,06%, обусловленного окислением оксидов железа. Для подтверждения этого явления образец 1 был прокален при 500°C и 900°C с последующим определением фазового состава. Найдено, что эти образцы содержат Fe_3O_4 и Fe_2O_3 .

Поскольку в изученных образцах основой являются оксиды железа, целесообразно сопоставить их с промышленным железохромовым катализатором. На рис. 3 приведены рентгенограммы образца 1, прокаленного при 500°C и 900°C (б, в), и образца 4 (а).

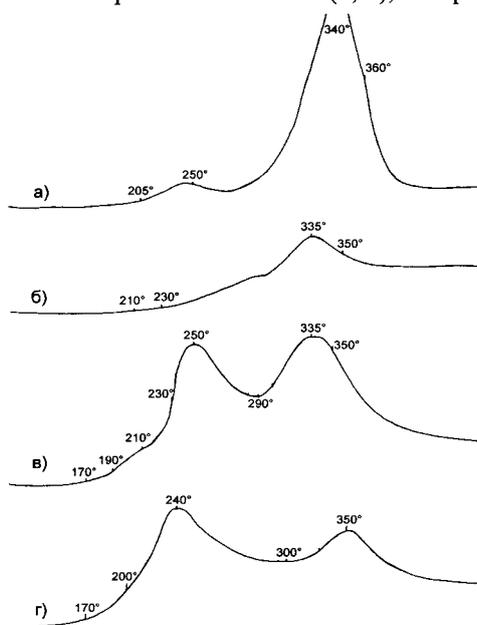


Рис. 4. Кривые ТПВ образцов:
а) СТК. б) 1. в) 2. г) 4.

Сопоставляя их с данными таблиц, можно видеть, что образец, прокаленный при 500°C, по фазовому составу практически идентичен промышленному среднетемпературному катализатору конверсии CO .

При 900°C наблюдается процесс рекристаллизации, о чем свидетельствует увеличение интенсивности межплоскостных расстояний (1,83; 2,20; 2,69).

Проведенные измерения площади поверхности образцов показали, что у промышленного железохромового катализатора поверхность $S = 30 \text{ м}^2/\text{г}$ и образца 1, прокаленного при 500°C, $S = 41 \text{ м}^2/\text{г}$, что свидетельствует о более высокой дисперсности фаз образцов, приготовленных на основе шламов электроимпульсной очистки.

Из образцов 2 и 4 были приготовлены катализаторы для среднетемпературной конверсии окиси углерода. Сопоставляя полученные кривые ТПВ для образцов 2 и 4 (рис. 4в, г) с промышленным железохромовым образцом (рис. 4а) и образцом 1, прокаленным при 500°C, (рис. 4б) можно отметить следующее. Общим для всех образцов является пик с максимумом при 350°C, обусловленный восстановлением оксида железа Fe_3O_4 . Пик с максимумом при 260°C, свидетельствует о восстановлении ионов меди, цинка. После дополнительных технологических операций приготовленные пробы образцов испытывались в реакции конверсии оксида углерода CO в условиях далеких от равновесия. Было найдено, что промышленный образец при 320°C имеет активность α , выражающую степень пре-

вращения равную 0,45. Пробы, приготовленные из образцов 2, 3, 4 имели аналогичную активность, соответственно равную 0,4; 0,42 и 0,4. Таким образом, приготовленные образцы обладают активностью в реакции конверсии CO , близкой к активности стандартного катализатора.

Существует принципиальная возможность утилизации твердых отходов очистки гальванических стоков с использованием электроимпульсной технологии. Возможным направлением получения образцов для катализаторов является применение гальванических шламов после электроимпульсной очистки комплексных стоков с повышенным содержанием ионов хрома, меди, никеля. При этом могут быть получены шламы с содержанием меди и хрома $5 \div 25\%$, необходимые, например, как сырье для катализаторов глубокого окисления ксилола.

Литература

1. Левченко В. Ф. Электроимпульсная технология очистки воды. – Пробл. инж. экологии: Тез. докл. I Всеукр. науч.-техн. конф. – Х.: ХПИ, 1992. – С. 23 – 24.
2. Левченко В. Ф., Толчеева И. С. Эл.-физ. способ получения порошков. – Эл.-физ. техн. порошковой металлургии. – К.: Ин-т пробл. материаловедения. – 1989. С. 17-21.
3. Тарелин А. А., Калекин О. Ю. Тютюнник М. С. и др. Электроимпульсный способ получения активных коагулянтов для извлечения физико-химических загрязнений из водных сред. – Сб. научн. Тр.: Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2001, №3. С. 210 – 213.

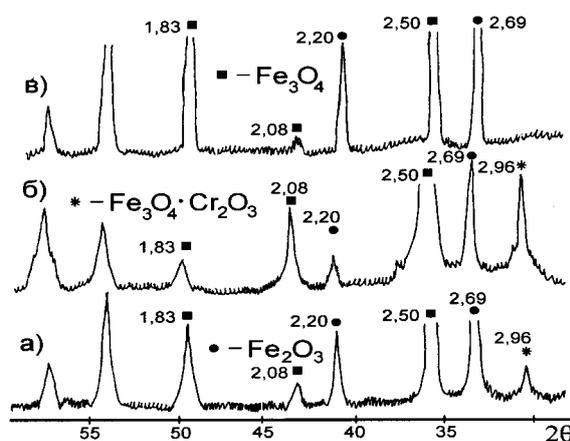


Рис. 3. Рентгенограммы СТК (а) и образца №1, прокаленного при 500°C (б) и 900°C (в).

УДК 628.349.08

ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Тарелин А.А., докт. техн. наук, Калекин О.Ю., канд. техн. наук,
Михайленко В. Г., канд. техн. наук, Князева О. И., Тютюнник М. С.,
Гиль З. П., Лукьянов В.Н.
(г. Харьков, Украина)**

The technology is based on a versatile electric pulse method employing a pulsed electric discharge acting upon a metal charge in a reactor for erosive buildup of a highly effective coagulant, which absorbs the contaminant to further yield a sediment. In so doing, the sediment can be used repeatedly. Further desalination of the water is effected in an ion-exchange unit, followed by further purification in an electrodialysis unit.

Охрана окружающей среды, в частности, охрана водоемов от истощения и загрязнения сточными водами, - актуальная проблема современности.

Основную часть объема сбрасываемых в водоемы стоков составляют промышленные сточные воды, включающие в себя наиболее токсичные стоки гальванических производств. С целью сокращения вредных сбросов в водоемы, необходимо переходить к замкнутым системам водопользования промышленных предприятий.

Существующие методы очистки не позволяют перейти от проточных к замкнутым системам водопотребления. Требуется поиск новых перспективных технологий, которые могли бы применяться для очистки различных загрязнений и могли бы послужить базой для создания оборотных систем.

Одной из таких перспективных технологий может стать электроимпульсный способ очистки сточных вод, разработанный в ИПМаш НАН Украины.

Он основан на обработке электрическими импульсами системы, образованной слоем электропроводной загрузки и водной среды в электроразрядном реакторе. Электроразрядный реактор, загруженный электропроводным материалом и генератор импульсных токов являются основными технологическими аппаратами данного способа.

Под воздействием импульсного напряжения между частичками загрузки возникают сильноточные разряды, сопровождающиеся рядом физико-химических процессов, ведущих к предположительному изменению структуры воды и загрязнений и одновременному образованию активного коагулянта, обладающего высокой сорбционной способностью [1].

Сырьем для получения активного сорбента, а также элементом электрической схемы реактора служат отходы металлообработки (стружка, лом и другие), а также гранулированные железорудные окатыши.

В электроимпульсной технологии для очистки гальванических стоков наибольшее применение в качестве сырья получили отходы обработки железа.

Механизм образования коагулянта, полученного электроимпульсным способом, и его свойства значительно отличаются от ныне существующих (гидролиза минеральных солей и анодного растворения металлов) поскольку коагулянт формируется из жидкой и газообразной фазы диспергируемого металла [2].

Коагулянт представляет собой окси- и гидроксокомплексы металла, нерастворимые в воде. Используя в электроимпульсной технологии железосодержащие отходы, мы получаем ферромагнитный материал, состоящий из оксидов железа различной степени окисления и гидратации, а также α -железа.

Размеры частиц ферромагнитного сорбента колеблются от 1 до 100 мкм. Меняя электрические параметры генератора можно получать частички с различной дисперсностью, а также разнообразным составом по степени окисления металла. В литературе известны факты применения магнетита для сорбции из воды тяжелых металлов взамен традиционного гидроксида железа. Преимущества заключаются в увеличении скорости, а также уменьшении объема осадка, так как плотность магнетита в 6 раз выше плотности гидроксида железа [3].

Однако, применяемый авторами магнетит, получен с использованием химических реагентов. В электроимпульсной технологии получение ферромагнитного материала обеспечивается электрическими параметрами, а следовательно, вода не обогащается анионными остатками солей, что очень важно для создания систем оборотного водоснабжения. Для переработки 1 кг железных отходов в ферромагнитный сорбент электроимпульсным способом требуется 6 кВт ч электроэнергии, а затраты на очистку сточных вод составляют 0,3 – 5 кВт ч/м³ в зависимости от исходных концентраций и видов загрязнений.

Ферромагнитный сорбент, полученный электроимпульсным способом, может быть использован многократно, таким образом, снижаются энергозатраты на очистку, а также значительно уменьшается количество сбрасываемого шлама. Экспериментально определено, что сорбционные свойства ферромагнитного сорбента для очистки от ионов тяжелых металлов не меняются в течении длительного времени. Степень очистки не меняется при использовании сорбента после шестимесячного хранения.

Электроимпульсная технология апробирована на предприятиях Украины и за рубежом. В частности, после предварительных исследований по очистке стоков гальванического участка ГП ХМЗ «ФЭД» электроимпульсным способом были получены положительные результаты: качественный состав обработанной воды соответствовал нормам ПДК. На основании технических условий предприятия были разработаны предложения по созданию замкнутой водооборотной системы промывки деталей после нанесения гальванических покрытий с незна-

чительной подпиткой водопроводной водой для компенсации ее потерь. В настоящее время завершаются работы по созданию замкнутого цикла водоснабжения гальванического участка КМЗ, г. Харькова.

Замкнутый цикл представляет собой двухступенчатую систему, в которой на первой ступени происходит очистка от ионов тяжелых металлов с помощью электроимпульсной технологии, включающей в себя непосредственно технологические аппараты данного способа, а также отстойники и фильтры для разделения твердой фазы и очищаемой воды. Вторая ступень замкнутого цикла обеспечивает доочистку стоков в электродиализном блоке, разработанном специалистами Харьковской государственной академии технологии и организации питания. Основные составляющие второй ступени очистки - это блок ионообменного умягчения и электродиализатор.

Применение электроимпульсного метода очистки сточных вод требует низкой электропроводности очищаемой воды. Эта проблема решается путем дозирования коагулянта, генерированного электроимпульсным способом на воде с низкой проводимостью. Такие вариации предусмотрены в технологической схеме замкнутого цикла. Экспериментально проверено, что для очистки гальванических стоков нет качественного отличия, ведется эта очистка непосредственно в электроразрядном реакторе, или дозировкой активного сорбента в сборник-коагулятор, находящийся вне зоны действующего реактора.

Предварительные исследования качественного состава воды после применения комбинации электроимпульсной и электродиализной технологий представлены в таблице.

Таблица

Стадии обработки	Показатели качества воды									
	pH	Жест., мг - экв л	Fe, мг/л	Cr ⁶⁺ , мг/л	Cu ²⁺ , мг/л	Zn ²⁺ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Уд. эл- сть, см	
Исходная вода	5,5	8,0	20	30	35	20	620	265	0,12	
I ст	эл. имп.	8,3	5,2	0,3	Отс.	1	2,5	500	220	0,09
	дозир	8,1	5,3	0,3	Отс.	1	2,5	500	220	0,09
II ст	1.ион .обмен	8,1	0,1	0,2	Отс.	0,7	2,3	500	230	0,09
	2.эл. диал.	7,5	0,05	0,1	Отс.	0,3	1,5	250	110	0,05

Анализ приведенных данных показывает, что качественный состав воды после двухступенчатой обработки, предложенными способами, удовлетворяет технологическим требованиям для повторного использования воды в гальваническом производстве.

Рассматривая экологическую оценку различных способов очистки гальваностоков, авторы [4] отдают предпочтение электрохимическому и ионообменному методам. Предлагаемая нами технология двухступенчатой очистки гальваностоков выгодно отличается от указанных методов меньшей энергоемкостью, водопотреблением и большей надежностью.

Литература

1. Левченко В.Ф., Гиль З. П. Электроимпульсная очистка сточных вод//Охрана окружающей среды при проектировании внеплощадных систем очистки сточных вод: Сб.докл. Всесоюзн. Семинара. - М.: Знание, 1990. - С. 87-92.
2. Левченко В. Ф., Глупак А. Н. Получение активного коагулянта в процессе электроимпульсной обработки металлов в воде// Комунальное хозяйство городов. - 1998. - Вып. 13. - С.76-81.
1. 3.Терновцев В. Е., Пухачев В.М. Очистка промышленных сточных вод. - К.:Будівельник, 1986. - 118 с.
3. Мазо А. А., Гребенюк В. Д. Экологические проблемы очистки воды// Химия и технология воды. - 1993. Т.15, №11-12. - С.745-766.

УДК 667.63.004; 667.637.27

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ХИМЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Тарелин А.А., докт. техн. наук, Паршина Т. Н., Сурду Н.В., Чичоткина С.В.

(г. Харьков, Украина)

The results of use of polymeric compositions for the device chemically of sheeting's are submitted. The high adaptability to manufacture and efficiency of their application on an example of manufacturing of sheeting's on a surface of filters of installations for chemical processing of water is shown.

Наиболее эффективный способ продления эксплуатационного срока службы оборудования химической водообработки (ХВО) является применение различного рода защитных покрытий. В качестве материалов для из-

готовления защитных покрытий чаще всего используются лакокрасочные материалы на основе эпоксидных смол и их соединений, а также химически стойкая резина. Причем, применение резины (гуммировка) используется в основном для защиты поверхностей Н - катионитовых и анионитовых фильтров, а также фильтров смешанного действия, а эпоксидные покрытия выполняются в основном на поверхностях осветлителей и баков с нейтральной средой.

Долговечность и надежность защиты оборудования при помощи резиновых покрытий может достигать более двадцати лет, однако эта технология обладает рядом недостатков. Так, например, для обеспечения приемлемой адгезии резины к металлическим поверхностям необходимо проводить очень тщательную и трудоемкую их подготовку. При этом процесс вулканизации очень энергоемкий, требует строгого соблюдения теплового режима, а качественное его проведение подвластно только высококвалифицированным специалистам.

Защитные покрытия на основе эпоксидных материалов менее долговечны (3-5 лет), что связано, прежде всего, с быстрым старением и охрупчиванием материалов, которое приводит к растрескиванию и преждевременной потере эксплуатационных свойств [1-3].

В ИПМаш НАН Украины совместно с ООО ПКФ "ЭМПО-НИСАТ" разработана и успешно испытана в лабораторных и производственных условиях технология защиты оборудования ХВО с использованием полимерных композиций на основе модифицированных эпоксидных, уретановых и других смол и химических соединений [4-9]. Разработанные покрытия обладают высокими эксплуатационными свойствами, а именно:

- повышенной адгезионной прочностью;
- высокой стойкостью к кислотно-щелочным средам, в том числе органического происхождения;
- высокой эластичностью и механической прочностью;
- после полной полимеризации экологически чисты, а некоторые из них разрешены для применения в контакте с питьевой водой;
- срок службы многослойного композиционного покрытия составляет не менее 10 лет.

Покрытия состоят из нескольких функционально различных слоев, каждый из которых последовательно наносится на защищаемую поверхность любой формы и кривизны, в том числе на внутренние поверхности труб в строго определенной последовательности при помощи кисти, валика или распылителя. Общая толщина покрытия составляет 1,7-1,9 мм и задается в зависимости от состава среды и условий эксплуатации. Количество последовательно наносимых слоев от 12 до 20. Каждый слой имеет высокую стойкость к кислотным, щелочным и другим агрессивным средам различной концентрации. Нижний - адгезионный слой обладает повышенной адгезией к металлическим, бетонным, керамическим, резиновым и другим неметаллическим материалам.

Расход полимерных материалов на изготовление 1м² защитного покрытия составляет 2,6÷2,9 кг.

Нами были проведены испытания покрытия в объеме:

1. Выдержка 8 часов при T=150°C;
2. Выдержка в воде - 8 часов при T=100°C (кипячение);
3. Проверка герметичности при P=2,56 МПа (25.6 кгс/см);
4. Климат ±50±3°C – выдержка 6 часов;
5. Влажность: 35±3°C при относительной влажности 98%- выдержка 6 часов;
6. Транспортная тряска с ускорением 30 м·с⁻² при частоте от 80 до 120 ударов в минуту в течение 4 часов.

При наполнении полимерного покрытия прочность составила 4,5-8 МПа в зависимости от типа наполнителя. Удлинение составило 400-480%. При выдержке покрытия в 30% растворе серной кислоты, 30% растворе щелочи, в 4% растворе перекиси водорода и в нефтепродуктах прочность в течение года изменилась не более, чем на 12%.

Покрытие соответствует требованиям ТУ У 14308262.048-98.

В настоящее время антикоррозионные химзащитные покрытия успешно прошли производственные испытания и внедрены на ряде теплоэлектростанций Харькова и его региона (ТЭЦ-5, ТЭЦ-2 "ЭСХАР", Змиевская ТЭС) для защиты Н-катионитовых, анионитовых фильтров, баков нейтрализаторов, осветлителей, в том числе труб обвязывающих трубопроводов фланцевого соединения и запорной арматуры, сварных швов емкостей для хранения коагулянтов, гальванических ванн, баков и емкостей для сточных вод масложиркомбинатов, а также для питьевой и технической воды.

Таким образом, разработанные технологические приемы и материалы можно рекомендовать для широкого внедрения в народное хозяйство, как Украины, так и других стран СНГ.

Литература

1. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред. – М.: Химия, 1972. – 232 с.
2. Негматов С.С., Евдокимов Ю.М. Адгезионные и прочностные свойства полимерных материалов и покрытий на их основе. – Ташкент.: Фан, 1979.- 168 с.
3. Бабаевский П.Г., Кулик С.Г. Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций. – М.: Химия, 1991.- 333 с.
4. Кулезнев В.Н. Основы создания композиционных материалов. – М.: Химия, 1986.- 85 с.
5. Кадурина Т.И., Омельченко С.И. Модифицированные полиуретаны. – К.: Наукова думка, 1983.- 226 с.

6. Сперлинг Л. Взаимопроникающие полимерные сетки и другие аналогичные материалы. – М.: Мир, 1984.-327 с.
7. Чалых Т.И., Бабаевский П.Г. Пористые полимерные материалы. Структура, гигроскопичность, проницаемость. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.- 284 с.
8. Вознесенский В.А., Вырова В.Н. Современные методы оптимизации композиционных материалов. – К.: Будивельник, 1983.- 144 с.
9. Сефтон М., Чанг К. Новейшие методы исследования структуры полимеров. – М.: Мир, 1982.-174 с.

УДК 691.175(031); 691.557

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КИРПИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Тарелин А.А., докт. техн. наук, Паршина Т.Н., Сурду Н.В., Чичоткина С.В.

(г. Харьков, Украина)

The work presents the results of investigating new technologies of restoring, protecting and increasing the bearing capacity (due to strengthening) of construction structures with the usage of polymer materials

В настоящее время на многих предприятиях очень остро стоит вопрос восстановительного ремонта инженерных сооружений, эксплуатация которых становится проблематичной в связи с частичной или полной потерей их несущей способности по причине разрушений, как отдельных элементов строительных конструкций, так и сооружений в целом. Традиционные методы ремонта, основанные, например, на восстановлении целостности частично разрушенных участков бетонных и кирпичных конструкций путем наформовки и оштукатуривания с использованием обычных цементных растворов зачастую оказываются малоэффективны, так как не позволяют обеспечить достижение требуемых значений несущей способности конструкций. Это связано, прежде всего, с тем, что обеспечить достаточно высокую адгезионную прочность старого и нового бетонов традиционными методами практически невозможно. Строительство же новых объектов обходится очень дорого и при нынешнем финансовом положении многих предприятий практически недостижимо.

В ИПМаш НАН Украины совместно с ООО ПКФ "ЭМПО-НИСАТ" проведены исследования новых технологий восстановления, защиты и повышения несущей способности (за счет упрочнения) строительных конструкций с использованием полимерных материалов как отечественного, так и зарубежного производства [1-3].

Как известно разрушение материалов чаще всего начинается с поверхности, поэтому исследования были направлены на поиск полимерных материалов, способных проникать в поверхностный слой на некоторую глубину, обеспечивая при этом герметизацию и повышение прочностных свойств [4-5].

Для исследований использовались различные пропиточные и герметизирующие составы, добавки в цементный раствор и композиции для защитных покрытий на полимерной основе, в том числе с использованием кремнийорганических соединений и модифицированных полиуретанов [4].

На первом этапе исследования был испытан ряд пропиточных составов на водопоглощение по ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Метод определения водопоглощения. Образцы изготавливались из цементно-песчаной смеси. Результаты приведены в табл.1.

Таблица

№ п.п	Наименование пропитываемого слоя	Водопоглощение, %	Коэффициент изменения водопоглощения
1.	Контрольный образец (цементно-песчаная смесь)	4.36	1
2.	Пропиточный состав № 1 (на основе кремнийорг. соединений)	3.18	1.37
3.	Пропиточный состав № 2 (на основе полиуретановой композиции)	1.29	3.36
4.	Пропиточный состав № 3 (гидрофобизирующая жидкость ГКЖ-11)	3.69	1.18
5.	Пропиточный состав № 4 (укрепитель для бетона «Лигурин»)	4.11	1.06

По данным табл. 1 был выбран для дальнейших испытаний пропиточный состав №1, так как у данного пропиточного состава максимальная глубина пропитки.

Второй этап – испытание бетонных образцов на прочность по ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Размер образцов – призмы квадратного сечения 100×100×400 мм. Результаты приведены в табл. 2.

На третьем этапе определялась прочность на срез клеевых соединений бетонных образцов с различными добавками. Испытания проводились по стандартной методике, которая заключалась в определении минимальных разрушающих усилий при статическом нагружении образцов при помощи пресса ПСУ-50п №310. Погрешность измерения усилий составила не более 2%. Прочностные характеристики клеевых соединений бетонных призм (40×40×160 мм) приведены в табл. 3.

Таблица 2

№ п.п.	Наименование пропиточных составов	Образцы без трещин		Образцы с технологическими трещинами	
		растяжение при изгибе	осевое растяжение	растяжение при изгибе	осевое растяжение
1.	Пропиточный состав №1 (на основе кремнийорг. соедин.)	1.36	1.24	1.63	1.59
2.	Пропиточный состав №2 (на основе кремнийорг. соедин.)	1.3	1.09	1.51	1.17

Таблица 3

№	Наименование клеевого соединения	Среднее напряжение, МПа	Коэффициент изменения напряжения
1.	Контрольный образец (цементно-песчаная смесь)	0.230	1
2.	Цементно-песчаная смесь, обработан. пропиточным составом № 1	0.355	1.54
3.	Цементно-песчаная смесь, обработан. пропиточным составом №1 + добавка в бетон (Ультро)	0.381	1.66
4.	Полимерная композиция на основе модифицированного полиуретана	2.84	12.35

В результате испытаний было установлено, что применение пропиточных материалов, например, на полиуретановой основе, позволяет: повысить прочностные свойства обожженного кирпича в 2-5 раз, и практически полностью исключить поглощение воды; повысить в 2-50 раз прочность швов бетонных образцов, склеенных по специальной технологии с применением пропиточных материалов и добавок; значительно повысить устойчивость железобетонных и кирпичных конструкций к разрушающему воздействию переменных климатических условий и довести долговечность до 60 лет и более.

Разработанные технологии предусматривают выполнение следующих основных технологических операций. В случае восстановительного ремонта - устройство упрочняюще-герметизирующего слоя методом пропитки поверхности разрушенных участков, например, полимерной композицией "Консолид-1", устройство на указанных участках адгезионного слоя с использованием, например, полимерной композиции "Консолид-2", с последующей наформовкой штукатурного слоя при помощи цементного раствора с применением, например, полимерной добавки "УЛЬТРО-А", и устройство упрочняюще-герметизирующего слоя методом пропитки всей поверхности, например, полимерной композицией "Консолид-1". В случае необходимости далее могут выполняться работы по устройству на поверхности защитно-декоративного слоя, например, для стен фасадов и пр. с использованием различного рода фасадных красок, в том числе на полимерной основе, или по устройству резиноподобного, гидроизоляционного, защитно-декоративного слоя на поверхности объектов, предназначенных для контакта с водой. В этом случае технология предусматривает устройство резиноподобного слоя с применением, например, полиуретановой композиции ВУК-1 или ВУК-2, с последующим нанесением защитно-декоративного слоя с использованием эмали УР-7115 или ЭПУ-33.

В настоящее время с использованием этих технологических приемов и полимерных материалов фирмой ПКФ "ЭМПО-НИСАТ" выполнен целый ряд работ по устройству, например, гидроизоляционного, защитно-декоративного покрытия на поверхности бассейнов при строительстве медвежатника Харьковского зоопарка, при ремонте баков для питьевой воды на Харьковском хлебозаводе №3, при ремонте плавательного бассейна, межвитражного пространства и фасада здания ОУСЦ "АКВАРЕНА".

Кроме того, выполнено ряд работ по ремонту мостовых путепроводов, силосов, фасадов зданий и пр. в Киеве, Днепропетровске и Кривом-Рогу, Запорожье и Донецке. Последующие испытания и эксплуатация показали высокие прочностные и защитные характеристики покрытий.

Литература

1. Кенеке Р. Защита поверхности бетона. – М.: Стройиздат, 1981.- 105 с.
2. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989.-248 с.
3. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобнопластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. – М.: Стройиздат, 1979.-125 с.
4. Смокин В.Ф., Фиговский О.Л. Полиэфирные и полиуретановые смолы в строительстве. – К.: Будівельник, 1974.-213 с.
5. Ярмоленко Н.Г., Искра Л.И. Справочник по гидроизоляционным материалам для строительства. – К.: Будівельник, 1979.-159 с.

УДК 541.182

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ВЕСОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА В ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕМНОЙ ПАЙКИ.

Колодяжный А.В., канд. техн. наук, Мельчакова Н.В.

(г. Харьков, Украина)

It is considered new method of the join element construction powdered material large powered solder nickel-chrome group. They are determined geometric and weigh of the feature construction powder and solder.

Применение порошковых металлов (ПМ) для спекания деталей не нашло широкого применения из-за ряда недостатков, присущих этому методу: усадка материалов и недостаточная прочность полученных спеканием деталей, достаточно высокая температура спекания, недостаточная контролируемость, управляемость процессом диффузии. Поэтому был рассмотрен вопрос соединения конструкционных ПМ не спеканием, а пайкой. По-

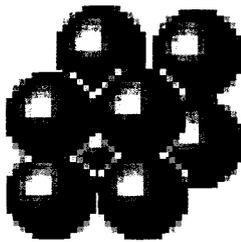


Рис.1.

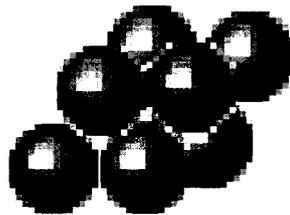


Рис.2.

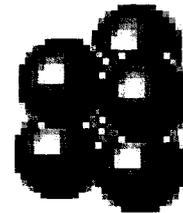


Рис.3.

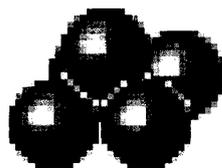


Рис.4.

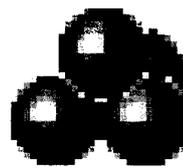


Рис.5.

рошковая металлургия развивается уже не один десяток лет, в последние годы освоены методы получения сферических порошков по форме металлов с различными служебными свойствами, которые легко технологически получить (разбрызгиванием расплава в воду), они хорошо калибруются (рассеиваются) по фракциям. Ввиду остывания с большими градиентами температур ($\nabla T \geq (10^6)^{\circ}C/сек$) эти ПМ имеют мелкокристаллическую, а то и аморфную структуру, т.е. малая концентрация межкристаллической засорки, которая снижает теоретическую прочность материала. С другой стороны появились высокопрочные аморфные припои с высокой температурой

плавления, например, ВПр-42, который имеет температуру плавления $T=1150^{\circ}\text{C}$ и статический предел текучести $\sigma=480\dots 520$ МПа, в то время как оловянные припои ПОС-60 $\sigma=3,0$ МПа, медные и серебряные до 6,0 МПа.

Аморфные припои никелевой и медно-никелевой групп обладают самофлюсуемостью, хорошей смачиваемостью и развитым капиллярным эффектом [1]. Совмещение таких качеств позволило рассмотреть вопрос соединения конструктивных ПМ не спеканием, а пайкой. В настоящее время существует весьма ограниченное количество методов получения объемных и тонкостенных заготовок изделий. Это литье (под давлением, свободное, под вакуумом), кузнечно-штамповочное и сварочное производство, инструментальная обработка, порошковая металлургия, прокатка - для изготовления тонкостенных конструкций. Изготовление порошковых материалов сферической формы в промышленном масштабе позволило разработать методику получения биметаллического компаунда ПМ, состоящего из тщательно перемешанных и уплотненных сферической формы порошин, определенных размеров. Компаунд засыпается в формы как при спекании и уплотняется каким-либо способом, затем нагревается до температуры плавления припоя и остывает с печью. В результате плавления сферические порошины припоя смачивают тонким слоем ($\delta=150\dots 200$ А) сферические порошины конструкционного материала и собираются в точках касания порошин конструкционного материала (в силу капиллярного эффекта). Температура плавления припоя значительно ниже температуры плавления конструкционного порошка, по этому жидкий материал порошин припоя в зонах контакта является не жидкой фазой, а обладает свойствами жидкометаллического припоя. После остывания в зонах касания конструктивных порошин образуются соединительные осесимметричные галтели из прочного припоя. Необходимо произвести исследование возможности частичной или полной рекристаллизации аморфного припоя, а так же изучить его прочностные свойства. Таким образом, мы имеем процесс пайки сферических порошин друг с другом в точках касания. Этот процесс получил название объемной пайкой.

Рассмотрим для примера идеальную регулярную структуру представляющую собой куб, в которой входят два слоя по четыре сферических порошины. Порошины касаются друг друга как в слоях, так и между слоями. В центр куба между сферическими порошинками конструкционного материала поместим сферическую порошинку припоя, которая будет иметь общие точки касания со всеми восьмью порошинками конструкционного материала. Радиус порошины припоя легко вычислить и он равен:

$$r_{np} = (\sqrt{3} - 1) R_k = 0,73 R_k,$$

где R_k – радиус порошин конструкционного ПМ. В этом случае объемное соотношение конструкционного порошка и порошка припоя будет:

$$\frac{r_{np}^3}{R_k^3} = \frac{(0,73)^3 R_k^3}{R_k^3} = 0,39,$$

т.е. для получения биметаллического компаунда ПМ необходимо взять $m_k=1$ кг конструкционного порошка любой фракции $R_k=150\dots 200$ мкм и $m_{np}=0,390$ кг припоя, например ВПр-42 фракции $r_{np}=0,73\dots 0,45 R_k$ мкм и произвести их тщательное перемешивание в смесителе в течение $t=2$ ч. Компаунд засыпается в форму какой-либо детали, виброуплотняется и заготовка нагревается в защитной среде до температуры плавления припоя. При этом источник нагрева может быть любой физической природы (печь, ТВЧ-нагрев и т.п.). Припой ВПр-42 обладает хорошей смачиваемостью (самофлюсующийся), и развитым капиллярным эффектом. В результате, каждая конструкционная порошина сферической формы покроется очень тонким слоем $\delta=30\dots 40$ А, а остальная масса припоя соберется в точках контакта и образует осесимметричные галтели. Объем этой галтели (в пренебрежении объемом смачивающих слоев) будет $\frac{1}{8}V_k$, где V_k - объем порошины конструкционного порошка.

Рассмотрим идеальные структуры расположения порошин металлического порошка в смеси:

- 1) кубическая структура - рис.1;
- 2) ромбическая структура - рис.2;
- 3) призматическая структура - рис.3;
- 4) пирамидальная структура может быть представлена двумя вариантами – частные случаи призматической и ромбической структуры:

а) в основании пирамиды четыре порошины - рис.4;

б) в основании пирамиды три порошины – рис.5.

Рассчитаем высоту падения порошины:

а) при изменении идеальной кубической структуры в ромбическую (или пирамидальную, в основании которой четыре порошины, т.е. квадрат): $\Delta=0,58H_n$, где H_n - высота пирамиды;

б) при изменении призматической структуры в пирамидальную (в основании которой три порошины, т.е. треугольник): $\Delta=0,37H_n$, где H_n - высота пирамиды.

Рассчитаем радиус и объем порошин припоя для различных структур, относительно порошин металла:

- 1) кубическая $r_{np}=0,73R_k$, $V_{np}=1,629R_k^3$;
- 2) призматическая $r_{np}=0,52R_k$, $V_{np}=0,589R_k^3$;
- 3) пирамидальная:

а) в основании квадрат $r_{np}=0,41R_k$, $V_{np}=0,288R_k^3$;

б) в основании треугольник $r_{np}=0,22R_k$, $V_{mн}=0,044R^3$;

ЦНИИЧерметом, ЦИАМом и нами был проведен показательный (демонстрационный) эксперимент [2]. Два прута $L=1,0$ м, $d=0,006$ м из стали 45 были размещены крест на крест и их пересечение засыпано биметаллическим компаундом из порошка стали 40Х и припоем ВПр-42. После нагревания до температуры плавления и последующего охлаждения, было получено соединение стержней, которое выдержало деформацию стержней на изгиб. Разрушение соединения на отрыв происходило по материалу стержней. Конечно, метод требует тщательного изучения, и полученный пористый материал. Требуется тщательная разработка математической модели деформирования такого материала и элементов конструкций из него. Внедрение работы: предполагается убедить металлургические предприятия часть своей продукции (10%) изготавливать не в виде проката, а в виде сферических ПМ большой номенклатуры (как на Тулачермете). Предполагаемый метод получения объемных деталей и ведение ремонтно-восстановительных работ с помощью ПМ может быть применен в первую очередь в лопаточных производствах, в подшипниковом производстве деталей, производстве запорной арматуры в нефтегазовой промышленности.

Литература

1. Найдич Ю.В., Колесниченко Т.А., Лавриненко И.А., Моцак Я.Ф. Пайка и металлизация сверхтвердых и инструментальных материалов.-К.:Наук.думка,-1977.-186 с.
2. Колодяжный А.В. Объемная пайка.-К.: Вісник інженерної академії України,-2000.-337 с.

УДК 621.762

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЖЕЛЕЗОБОРИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Черниенко В.В., докт. техн. наук, Машков А.К., Граменицкий В.А., канд. техн. наук,
Павлышко Е.Г., канд. техн. наук
(г. Одесса, Украина)

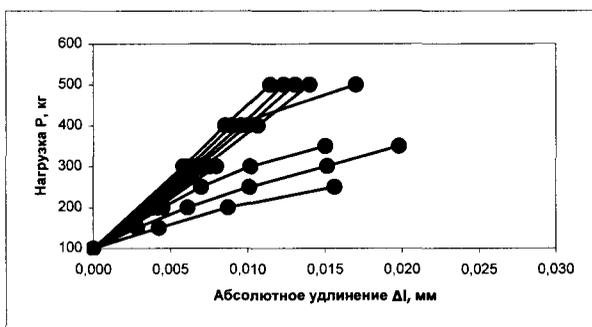
In this work are introduced results of experimental research leak character plastic deformation under load and resilience modul of composit materials at the iron base, received by soak iron matrixes iron-bor alloys.

Работа выполнена с целью определения зависимости механических свойств данного типа материалов от степени пропитки и достигнутого упрочнения путем легирования.

Опытные образцы материалов получали методом прямого прессования ($P=500$ МПа) из железного порошка марки ПЖ2М с последующим спеканием и пропиткой боросодержащими сплавами эвтектического состава на основе систем Fe-B, Ni-B, и Co-B в вакуумной печи при температуре 1523 К.

Определение модуля упругости композиционных материалов осуществлялось двумя способами: с помощью тензометров Гуген-бергера и тензорезисторов, наклеенных на боковую поверхность круглого стандартного образца. Калибровка тензометров производилась при помощи эталонного образца и тарировочной балки с известным модулем упругости $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа (Ст. ЗОХГСА).

Тензометры использовались только на образцах, не имевших в начальный период нагружения остаточных деформаций. Измерение деформаций проводилось путем ступенчатого нагружения образцов с шагом измерения



нагрузки в 200 кг при использовании тензометров Гуген-Бергера и 50 кг при использовании тензорезисторов. Нагружение образцов производилось в интервале нагрузок

200-1200 кг, причем каждый образец нагружали не менее 10 раз. Для регистрации показаний тензорезисторов использовался прибор ТДЗ-1-1 с подключенным миллиамперметром. Относительная погрешность тензометрических измерений не превышала 4,3 %. Расчет модуля упругости производился с помощью ЭВМ.

На рисунке приведены диаграммы тензометрических кривых, по углам наклона которых можно

судить о степени упрочнения композиционных материалов.

В качестве базовой принята система Fe-(Fe-B) (табл.1, п.1). В случае введения в ее состав легирующих добавок ванадия и вольфрама (табл.1, п.2-3) достигаются весьма небольшие значения упругости (см. рис., п.2-3), что обуславливается низкой степенью легирования железного каркаса. Как видно из табл.2, п.3, композиционный материал системы Fe-(Fe, V-B), по сравнению с системой Fe-(Fe-B), имеет практически такие же характеристики прочности и пластичности, а в композиции Fe-(Fe, W-B) значительно повышается лишь микротвердость эвтектической фазы (табл.2, п.2)

Таблица 1

Зависимость модуля упругости от степени пропитки и твердости композиционных материалов

№ п. п.	Составы материалов матрицы и пропитывающего сплава	Степень пропитки матрицы, %	Общая твердость HRC (HRB)	Модуль упругости E, МПа
1	Fe- (Fe-4% В)	25	(1-9)	1,65-Ю ⁵
2	Fe- (Fe-8% W-4% В)	26	<1	1,70-Ю ⁵
3	Fe- (Fe-4% ВД2-4% В)	24	1-2	1,82-Ю ⁵
4	Fe- (Fe-3,5% Мо-4% В)	24	2-4	1,96-Ю ⁵
5	Fe-(Fe-2% ВД2-2% Н61-3% ХрБ2-3% Мо2-4% В)	25	12-15	2,02-Ю ⁵
6	Fe-(Fe-1,5% Nb-4,5% Мо-4% В)	26	12-16	2,02-Ю ⁵
7	Fe- (Ni-12% TiCrBz)	24	19-23	2,12-Ю ⁵
8	Fe- (Co-30% Ni-4% В)	25	20-25	2,16-Ю ⁵

Таблица 2

Механические свойства композиционных материалов системы Fe-[Fe{Ni?Co)-В] (P=500 МПа, T=1523 К, τ=15 мин).

№ п. п.	Составы материалов матрицы и пропитывающего сплава	GB, МПа	δ, %	Микротвердость фаз, ГПа	
				ферритной	эвт.
1	Fe- (Fe-4% В)	250-300	5-10	1,3	3,5
2	Fe- (Fe-8% W-4% В)	380-420	1-2	1,3	5,0
3	Fe- (Fe-4% ВД2-4% В)	300-370	5-8	1,4	3,2
4	Fe- (Fe-3,5% Мо-4% В)	370-420	2-3	2	3,5
5	Fe- (Fe-2% ВД2-2% Н61-3% ХрБ2-3% Мо2-4% В)	440-520	1	-	-
6	Fe- (Fe-1,5% Nb-4,5% Мо-4% В)	570-600	1	2,3	4,5
7	Fe- (Ni-12% TiCrBa)	480-520	1	-	-
8	Fe- (Co-30% Ni-4% В)	430-500	1	-	-

Выяснение причины низкой упругости данных материалов проводилось с помощью микрорентгеноспектрального анализа, в результате чего установлено, что насыщение частиц железного каркаса ванадием не превышает 0,2%, а вольфрамом - вообще не наблюдается [2]. В то же время при испытании композиционных материалов, содержащих молибден, никель и кобальт (табл.1, п.4-8), с повышением растягивающей нагрузки на образцы, углы наклонов тензометрических кривых уменьшаются (см. рис., п.4-8), а следовательно, у этих материалов обеспечивается более высокий эффект упрочнения. Это подтверждается характеристиками их твер-

дости (табл.1., п.4-8), прочности (табл.2., п.4-8) и наличием в зернах железного каркаса хрома(0,8 %), молибдена (0,9 %), кобальта (13,3 %) и никеля (19,2 %) [2].

Проведенное исследование показало, что имеется возможность использовать тензометрические диаграммы не только для определения модуля упругости материалов, но и для установления степени их легирования с учетом эффективности использования легирующих компонентов и их предпочтительного распределения в фазах этих материалов.

Так, например, благодаря осуществлению избирательного легирования эвтектической фазы ванадием и сохранению при этом высокой пластичности железного каркаса, композиционный материал системы Fe-(Fe,V-V) имеет длительную прочность в 7,5 раза выше, чем у системы Fe-(Fe, Nb, Mo-V) [3], а следовательно, с большим успехом может применяться для изготовления деталей, соприкасающихся с жидкими металлами и нагретыми газами (литейных форм, форкамер двигателей внутреннего сгорания и т.п.).

Литература

1. Машков А.К., Черниенко В.В., Гудковская З.П. Разработка технологического процесса получения плотных металлокерамических материалов способом пропитки пористых заготовок легкоплавкими железоборидными сплавами // Порошковая металлургия. — 1973. — №1. — С.38-43.
2. Черниенко В.В., Машков А.К., Негода Г.П. Экспериментальное исследование пропитки и последующей термической обработки пропитанных материалов на основе железа // Порошковая металлургия. — 1975. — №12. — С.49-56.
3. Черниенко В.В. Технологические основы получения композиционных материалов для кокилей / Учебное пособие. — Киев, УМК ВО, 1988. — 96 с.

УДК 539: 621.791

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Пашкова Г.И., Любченко А.П., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The influence of various types of stabilizing process on properties of wel-ding samples from low-carbon steels was studied. The effect of influence of vibration method with impulsive unloading using on remained stresses distribution (reduction them 1,4...2,3 as less) and geometrical stability of samples was showed.

Стабилизация размеров деталей после сварки является важнейшей задачей машиностроения и в большинстве случаев решается путем их отпуска при температуре 600...650°C. Это весьма трудоемкий и энергоемкий процесс, так как требует значительных затрат дорогостоящего газа и длительной выдержки при высокой температуре. Поэтому в последнее время получили развитие методы стабилизации размеров с помощью вибрационной обработки [1...3]. В настоящей работе в качестве объектов исследования были использованы образцы различных типов из сталей 3 и 20 со сварными швами стыковыми и внахлестку.

Применялись следующие варианты стабилизирующей обработки:

- 1) отпуск при $t = 650^\circ\text{C}$;
- 2) вибрационная обработка путем возбуждения вынужденных резонансных колебаний (ВК - метод);
- 3) метод вибрации с применением импульсной разгрузки (ВИР - метод). Сущность данного способа заключается в возбуждении в детали свободных затухающих колебаний в результате практически мгновенного (импульсного) снятия приложенной заранее статической нагрузки. [4]

Проведенное сравнительное комплексное исследование эффективности перечисленных релаксационных стабилизирующих обработок показало, что все исследованные методы позволяют снизить остаточные макронапряжения в 1,4...2,3 раза, а также обеспечивают уменьшение среднеквадратичного отклонения величины напряжений, характеризующего неоднородность их распределения вблизи сварного шва, в 1,5...2,5 раза.

Показана примерно одинаковая эффективность исследованных методов стабилизации размеров образцов при воздействии на них длительного статического нагружения в упругой области.

Установлено, что остаточные макронапряжения не являются единственным определяющим критерием вибрационной обработки, так как величина снижения и их абсолютные значения не связаны однозначно со стабильностью размеров образца (детали). Варьированием основных параметров ВИР – обработки выявлено, что наиболее эффективным является режим, при котором сумма начальных динамических и остаточных напряжений примерно на 10% превышает предел пропорциональности $\sigma_{\text{пл}}$ при выбранной схеме нагружения. Причем для создания более однородного напряженного состояния число циклов обработки должно равняться 5...10.

Таким образом, из двух исследованных способов вибрационной обработки более предпочтительным является ВИР – метод как более управляемый, менее энергоемкий и не требующий защиты от шума.

Литература

1. Сагалевич В.М., Завалишин М.Н., Нашивочников В.В. Устранение деформаций сварочных балочных конструкций вибрацией // Сварочное производство. – 1979. - № 9. – с. 28-32.

2. Шпеер Ф.З., Панов В.И. Вибрационная обработка крупногабаритных конструкций с целью уменьшения деформации и склонности к образованию трещин // Сварочное производство. – 1983. - № 5. – с. 13-15.
3. Дрыга А.И. Гибкий автоматизированный участок с виброкомплексом для обработки корпусных деталей // Станки и инструмент. – 1992. - № 3 – с. 2-3.
4. А.С. № 637232 СССР. Способ снижения остаточных напряжений в деталях / В.Г. Алешинский, В.Н. Киселев, В.Д. Пененко, В.А. Скаженик, М.Л. Туревский, Д.Я. Фурман // Опул. в В.И. – 1978 - № 46.

УДК 621.774.72

ШТАМПОВКА ЗАГОТОВКИ КОРПУСА ПРИЦЕЛА ИЗ ТРУБЫ**Лобанов В.К., докт. техн. наук, Гулюк А.А., Чуйкова Е.В.***(г. Харьков, Украина)**The new process of sight stamping forming from aluminium alloy D1 is offered.*

Одним из направлений развития кузнечного производства является разработка оптимальных технологических процессов штамповки на универсальном оборудовании, обеспечивающих изготовление поковок с минимальным расходом металла и высокой производительностью.

Существующий технологический процесс производства корпуса прицела предусматривает использование толстостенной трубной заготовки диаметром 50×15 мм алюминиевого сплава Д1. Эта технология отличается большим расходом металла (КИМ 0,075) и высокой трудоемкостью. В этой связи актуальной проблемой является изготовление заготовки прицела с минимальным расходом материала.

Для решения поставленной задачи выполнено экспериментальное исследование процесса деформации по переходам и моделирование процесса в лабораторных условиях.

Схема технологических переходов процесса штамповки предусматривает высадку утолщения в средней части заготовки и последующую раздачу раструба за два перехода. В качестве исходной заготовки использовалась труба диаметром 32×6 мм сплава Д1. Исследование процесса выполнялось на гидравлическом прессе усилием 1600 кН при скорости деформирования 1,5...2 ммс⁻¹. Высадку утолщения на заготовке производили в холодном состоянии в закрытом штампе с разъемной матрицей. Усилие деформации составляет 750 кН. В качестве технологической смазки использовалась суспензия дисульфида молибдена (MoS₂) в машинном масле. Осуществление операции раздачи раструба детали в холодном состоянии оказалось невозможным в следствие исчерпания ресурса пластичности сплава, что определяло появление осевых трещин. Поэтому в дальнейшем раздачу заготовки производили нагретую за два перехода. Штамповую оснастку перед началом деформации подогрели до температуры 200-250°С. Использовали штампы с разъемной матрицей.

Результаты экспериментальных работ показывают, что в процессе раздачи происходит осадка исходной заготовки на 11 мм, что учитывалось при разработке технологии.

Комплексное материаловедческое исследование штампуемых поковок прицела показало высокое их качество и отсутствие металлургических дефектов.

Технико-экономический анализ разработанной технологии свидетельствует о существенном (более 63%) сокращении расхода сплава Д1.

Технология рекомендуется для широкого использования при штамповке деталей подобной конфигурации.

Литература

1. Горбунов М.Н. Штамповка деталей из трубчатых заготовок. – М.: Машгиз. – 1960. – 189 с.
2. Слыш Ю.П., Лобанов В.К., Пономаренко С.П. Разработка и экспериментальные исследования процесса штамповки конических патрубков. – В сб. Высокоскоростная обработка материалов давлением. – 1982. - № 6. – с. 142-145.

УДК 621.98.04: 621.822.5:62-419.4.002

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**Лобанов В.К., докт. техн. наук, Гулюк А.А.***(г. Харьков, Украина)**The new method of three-stage stamping of steel-aluminium plates for manufacturing of bearings for locomotive Diesel engines is offered.*

Подшипники скольжения коленчатого вала являются наиболее массовыми и трудоемкими в изготовлении деталями дизелей.

Типовая технология изготовления заготовок подшипников скольжения, включающая центробежное литье заготовок бронзобаббита или свинцебронзы, практически исчерпала возможности дальнейшего повышения работоспособности и долговечности подшипниковых вкладышей. К недостаткам ее следует также отнести большой расход цветных металлов, высокую энерго- и трудоемкость, экологическую небезопасность.

Ресурс работы бронзобаббитовых подшипников скольжения тепловозного двигателя типа 10Д100 составляет 32 тыс. моточасов (800 тыс. км пробега) и не удовлетворяет условиям эксплуатации тепловоза.

Известно [1], что для изготовления подшипников скольжения в автотракторостроении широко применяется биметалл, состоящий из стальной основы и алюминиево-оловяного (АО20-1) антифрикционного слоя. Технологическая схема производства таких подшипников включает вырубку заготовки из биметаллической ленты, гибку ее в штампе на кривошипном прессе, и последующую калибровку. Диаметр подшипников, изготавливаемых по такой технологии, не превышает 120 мм.

Применение известной технологии для изготовления подшипников скольжения диаметром 193 и 243,5 мм приводит к утонению на 5-8% стальной основы заготовки вкладыша в пределах центрального угла 60-80°. Упругая деформация после извлечения из матрицы составляет 10-12 мм для шатунных и 6-8 мм для коренных вкладышей дизеля 10Д100. Калибровка практически не уменьшает пружинение.

Спроектированные с учетом компенсации пружинения пуансон и матрица могут обеспечить получение требуемых геометрических размеров заготовок. Однако при последующей механической обработке отмечается дальнейшее изменение размеров вкладышей под влиянием остаточных напряжений. Термическая обработка при температуре 215-225°C, выполняемая в соответствии с ОСТ 24.067.40-84, не обеспечивает стабилизации размеров детали. Исследование на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М $\sin \varphi$ - методом показало наличие в наружных объемах металла остаточных напряжений, наведенных в стальной основе заготовки вкладыша подшипника гибкой и последующей калибровкой, и равных 80-120 МПа до термообработки и 50-60 МПа – после нее.

Таким образом, высокий уровень остаточных напряжений во вкладышах явился причиной нестабильной работы подшипников.

С целью повышения качества вкладышей подшипников путем снижения уровня остаточных напряжений предложен новый технологический процесс штамповки [2], предусматривающий гибку биметаллической заготовки, осадку ее по торцам в плоскости разъема вкладышей и последующую калибровку.

В процессе отработки технологии установлено существенное влияние степени осадки в торец на стабильность размеров заготовки и уровень остаточных напряжений в стальной основе. Экспериментальные работы выполнялись на гидравлическом прессе мод. П7640 усилием 10 МН с определением уровня остаточных напряжений в стальной основе вкладыша при различных степенях деформации на установке ДРОН-3М.

Полученные результаты экспериментов позволили установить зависимость для определения величины осадки изогнутой заготовки по торцам (Δh), обеспечивающей стабильность размеров вкладышей:

$$\Delta h = \mu(RS_0)^{1/2},$$

где μ - коэффициент Пуассона, R - радиус нейтрального слоя стальной основы изогнутой заготовки; S_0 - толщина заготовки.

На основании комплекса проведенных исследований разработана технология изготовления стале-алюминиевой заготовки шатунного вкладыша подшипника скольжения дизеля мод. 10Д100. Исходные биметаллические пластины (сталь 08КП - сплав АО20-1) размером 310×110×11 мм изготавливали сваркой взрывом. Прочность сцепления антифрикционного слоя со стальной основой после сварки определяли путем испытания на отрыв. Установлено, что напряжение отрыва составляет 60-110 МПа.

Для реализации новой технологии в производственных условиях на прессе усилием 6,3 МН было изготовлено несколько типоразмеров штамповой оснастки и исследовано влияние параметров инструмента на качество вкладышей. Применявшийся для осадки пуансон, воздействующий только на торцы заготовки, вызывал выпучивание стальной основы вдоль торцев заготовки, пластическая деформация по периметру вкладыша распространялась неравномерно, что приводило к разнотолщинности стальной основы и браку при механической обработке. В новой конструкции штампа, планки, осаживающие торцы заготовки выполняют рабочий ход совместно с гибочным пуансоном. При такой схеме компенсируется образовавшаяся при гибке разнотолщинность стальной основы, отсутствует выпучивание вдоль торцев и обеспечивается равномерное течение металла по всей поверхности заготовки.

В результате проведенных исследований получена технологическая схема изготовления биметаллических стале-алюминиевых подшипниковых вкладышей тяжелонагруженных транспортных дизельных двигателей, обеспечивших повышение моторесурса работы вкладышей до 60 тыс. моточасов (1,5 млн. км пробега).

Литература

1. Гостев Б.И., Зильберг Ю.Я. Алюминиевый сплав АСМ для тяжелонагруженных подшипников. - М.: Машгиз. -1959. - 184 с.
2. А.С. 1726094 СССР, МКИ В 21Д 22/2. Способ изготовления полуцилиндрических деталей.

УДК 669.017

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА МИКРОСТРОЕНИЕ ИЗЛОМОВ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ

Аксенова С.И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Revealed are the microfractographical peculiarities of dynamic and static bending fractures, which allow to carry out the comparative estimation of hardened steel susceptibility to the delayed fracture.

Одним из наиболее опасных видов хрупкого разрушения сталей в высокопрочных состояниях является замедленное разрушение (ЗР), развивающееся в результате действия статических нагрузок [1-3]. Актуальным аспектом проблемы ЗР в научном, практическом и экономическом плане является разработка методов оценки склонности сталей к этому виду разрушения.

Применяемые методики механических испытаний на склонность к ЗР [4] требуют использования специализированного оборудования, длительных затрат времени и значительного количества материала для изготовления серий образцов.

В данной работе изучена возможность проводить сравнительную оценку склонности сталей к ЗР на основе использования электронномикроскопической фрактографии.

Изучены плавки стали 45ХН2МФА, для которых в результате механических испытаний на склонность к ЗР выявлена различная склонность к этому виду разрушения. Методом просвечивающей электронной микроскопии с помощью двухступенчатых пластино-углеродных реплик исследовано микростроение изломов закаленных образцов этих плавок, разрушенных динамическим и статическим изгибом.

Установлено, что при ударном нагружении изломы обеих плавок аналогичны и имеют преимущественно микровязкое ямочное строение с небольшой долей (~3-4% площади) хрупкой составляющей, которая имеет строение межзеренного скола. В изломах статического изгиба участки хрупкого межзеренного скола присутствуют в существенно большем количестве. Их доля составляет ~25% в изломах плавки с большей склонностью к ЗР и ~15-16% в изломах с меньшей склонностью к ЗР.

Выявленные микрофрактографические особенности изломов образцов при динамическом и статическом изгибе позволяют использовать метод электронно-микроскопической фрактографии для сравнительной оценки склонности сталей к ЗР.

Литература

1. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Т.2 – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.
2. Саррак В.И., Филиппов Г.А. О природе замедленного разрушения стали. – МиТОМ, 1976, № 12, с. 36-41.
3. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей /М.А. Балтер, А.П. Любченко, С.И. Аксенова и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
4. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с. 5. Аксенова С.И., Уманский Г.П., Шарнопольская А.Я. Способ получения двухступенчатых углеродных реплик для электронно-микроскопических исследований. А.С. СССР № 146541, 1987 / БИ, 1989, № 10, с. 181.

УДК 669.15.018.45.24

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ Cr-Ni СТАЛЕЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ГАЗОВЫХ СРЕД

Сатановский Е.А., канд. техн. наук., Гаркушенко В.А., Лучко С.Т., канд. техн. наук,

Глушкина А.В.

(г. Харьков, Украина)

The reasons of the instability of mechanical properties of heat-resistant steel 20X25H19C2Л are investigated. It is shown the necessity of its substitution by more easily productible steel 20X20H14C2Л.

Для деталей, работающих при температуре газовых сред ~ до 700°C традиционно применялись стали 12Х13Н2ТЛ (мартенситного класса) и Х18Н9ТЛ (аустенитного класса - А). При повышении рабочих температур ~ до 800°C конструкторами для таких деталей была выбрана и внесена в ЧТД без достаточного объема технологической проверки значительно более жаростойкая (до 1100°C) высоколегированная сталь 20Х25Н19С2Л аустенитного класса.

В процессе отливки по выплавляемым моделям этих деталей и плавочном контроле после термообработки мы были поставлены перед фактом невозможности использования данной стали с высокой жаростойкостью из-за нестабильности механических свойств. Так количество плавок, не выдерживающих первичные испытания, составляло в среднем 37%, а окончательный брак по механическим свойствам – 25-30%. На первом этапе ос-

воения этой стали наибольшее количество отклонений было по пластичности. Это потребовало срочной корректировки режима термической обработки, но повышение пластических характеристик сопровождалось параллельным снижением прочности, что в свою очередь потребовало корректировки химического состава.

Однако комплекс технологических мероприятий, включая совершенствование процесса выплавки стали, не обеспечили в полной мере стабильный уровень механических свойств.

Исследование макроструктуры образцов с пониженным уровнем механических свойств показало, что они, как правило, имеют грубое дендритное строение, еще более сильно выраженное на отливках, что указывало на крайнюю нетехнологичность данной марки стали.

При исследовании микроструктуры такого материала установлено, что, как правило, во многих местах наблюдаются четко выраженные микронадрывы типа межкристаллитной коррозии (МКК), которые быстро прогрессируют даже при кратковременном температурном воздействии.

В связи с изложенным нами была опробована в производственных условиях менее легированная жаростойкая (до 1050°C) сталь аустенитно-ферритного (А-Ф) класса 20Х20Н14С2Л. При исследовании макроструктуры материала контрольных образцов дендритности практически не наблюдалось, то есть эта сталь оказалась более технологичной и приемлимой для литья.

Ее микроструктура после термообработки отличается плотной матрицей с едва различимыми границами зерен. После кратковременного температурного воздействия границы зерен становятся более четко очерченными, но надрывов и признаков МКК не наблюдается. Кроме того, по всей матрице имеются равномерные выделения δ-феррита.

Механические свойства полностью стабилизировались с запасом относительно требований ГОСТа 977-88, например, по пластичности ~ в 2 раза, что в первую очередь объясняется присутствием ферритной составляющей [2]. Кроме того, по данным работы [1] она повышает стойкость против МКК сталей А-Ф класса по сравнению со сталями А класса.

Высокотемпературные испытания (600, 700, 800°C) показали, что сталь 20Х20Н14С2Л уступает стали 20Х25Н19С2Л только по относительному удлинению при 800°C (~ на 15%), превосходя в то же время ее по длительной прочности при 700°C ~ в 2 раза.

Таким образом, в условиях серийного производства высоколегированная сталь 20Х25Н19С2Л А класса была заменена на менее легированную, но более технологичную сталь А-Ф класса 20Х20Н14С2Л для деталей, работающих при температурах газовых сред ~ до 800°C.

Литература

1. Бернштейн М.А., Рахштадт А.Т. Металловедение и термическая обработка. Справочник. – М.: Металлургия, 1983. – Т.2, с. 322, 324-325.
2. Металловедение и термообработка, 1989, № 12.

УДК 669.268.7

ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ХРОМОВЫХ СПЛАВОВ, ОСАЖДЕННЫХ НА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И ТУГОПЛАВКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Любченко А.П., докт. техн. наук, Цюрюпа В.Н., канд. техн. наук,
Сатановский Е.А., канд. техн. наук, Литвинова В.А.
(г. Харьков, Украина)

The work is dedicated to the improvement of the adhesion quality of electrolytic chrome deposited on the high – alloy steel and refractory materials by means of microalloying of the chrome coatings.

Известно [1,2], что адгезионная прочность электролитических покрытий зависит от природы материала основы и покрытия, состояния покрываемой поверхности, режимов электролиза, толщины осажденного слоя.

Определенную трудность вызывает хромирование высоколегированных сталей, особенно содержащих большое количество никеля, а также тугоплавких материалов (например, сплавов на основе молибдена). Изменение адгезионной прочности хрома и покрытий на его основе к различным маркам сталей связано с наличием карбидных участков на поверхности высоколегированных сталей и пассивных пленок на тугоплавких материалах.

Нами исследовано влияние материала основы и метода её обработки, твердости, толщины хромового покрытия и его сплавов, параметров электролиза на адгезионную прочность. Испытания показали, что микролегирование хромовых покрытий (молибденом, вольфрамом, ванадием, цирконием, титаном) на 25% повышает адгезионную прочность.

При осаждении сплавов на основе хрома толщиной более 100мкм на высоколегированные стали производится гидropескоструйная обработка поверхности, обеспечивающая максимальную площадь активных мест. Нанесение микролегированных хромовых покрытий на тугоплавкие материалы предусматривает специальную активацию поверхности.

Повышенная адгезия микролегированных хромовых покрытий позволила использовать их для упрочнения деталей, изготовленных из высоколегированных сталей, которые не подлежат термообработке из-за сложной геометрии. Хромовые покрытия с указанными сталями имеют неудовлетворительное сцепление. Определены параметры анодного декапирования для различных марок сталей и различных тугоплавких сплавов. В работе показано, что с увеличением плотности тока при нанесении покрытий, адгезионная прочность снижается.

Обеспечение высокой адгезионной прочности электролитических сплавов на основе хрома в толстых слоях (до 500мкм) даёт возможность вести восстановление изношенных дорогостоящих деталей.

Литература

1. Справочник. Гальванические покрытия в машиностроении. Под. ред. М.А. Шлугера, Л.Д. Тока – М.: Машиностроение, 1985г.-Т.1,248с.
2. А.Д. Зимон. Адгезия плёнок и покрытий. М: Издательство Химия, 1977г. – 352с.

УДК 678.664: 620.179.4

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ РАЗБАВЛЕНИЯ КЛЕЯ ЛЕЙКОНАТ НА ПРОЧНОСТЬ КРЕПЛЕНИЯ РЕЗИНЫ С МЕТАЛЛОМ

Сатановский Е.А., канд. техн. наук., Голынская Г.С., Якунина В.И.

(г. Харьков, Украина)

The research explores the production possibility for the glue joining of rubber with metals when applying the LEIKONAT glue, diluted to 10 percent concentration of tritane triisocyanate. It also explores the influence of the concentration extent of the glue on mechanical properties of rubber-metal joinings.

При изготовлении резино-технических деталей с применением клея Лейконат в производственных условиях может иметь место некачественное крепление резины к металлам, вызванное нестабильностью концентрации клея из-за высокой летучести растворителя. Изменение концентрации три-фенилметантриизоцианата сказывается на технологичности клея: изменяется толщина клеевой пленки, появляются потеки клея на арматуре, увеличивается время сушки клеевой пленки. С изменением толщины клеевой пленки меняется интенсивность ее взаимодействия с резиной, вызывая в одних случаях уменьшение, а в других увеличение прочности крепления [1]. Особенно наглядно зависимость прочностных характеристик от концентрации клея проявляется при нанесении последнего на арматуру окунанием. В этом случае целесообразно разбавление Лейконата для получения стабильности крепления [2].

В данной работе наряду с определением влияния разбавления на клеящую способность Лейконата была предпринята попытка установить зависимость концентрации основного вещества от количества вводимого при разбавлении клея растворителями.

Установленная зависимость концентрации трифенилметантриизоцианата от степени разбавления позволяет получать заданную концентрацию клея путем введения определенного количества растворителя, что дает возможность в производственных условиях поддерживать концентрацию клея на том уровне, который обеспечивает удовлетворительное крепление резины к металлу.

Полученный в ходе исследования интервал концентраций основного вещества, обеспечивающий оптимальные прочностные показатели клеевых соединений, показывает, что разбавление Лейконата до 10%-ного содержания трифенилметантриизоцианата обеспечивает надежное крепление резины с металлом, при котором прочностные показатели клеевых соединений находятся на уровне предъявляемых требований.

Литература

1. Жеребков С.К. Крепление резины к металлам. – М.: Химия, 1966, - с. 212-213.
2. Кардамов Д.А. Синтетические клеи. – М.: Химия, 1968. – с. 191.

УДК 621.762

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФОРКАМЕР ДИЗЕЛЕЙ

Черниенко В.В., докт. техн. наук, Граменицкий В.А., канд. техн. наук,

Павлышко Е.Г., канд. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

The technology of obtaining the iron-bor of composite materials for prechambers of diesel engines and their hardening by a method of im-pregnation is offered. Some properties of new stuffs in matching with conventional structures of steel and cast iron are adduced.

В дизельных двигателях применяются несколько типов форкамер, но ни одна из них не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к условиям циклического изменения нагрузки и скорости протекания процессов при смесеобразовании и сгорании топлива [1].

С целью улучшения указанных характеристик дизеля проведены исследования, как по совершенствованию форкамеры, в которой параметры вихревых потоков воздуха и топливо-воздушной струи лучше согласуются с параметрами впрыскивания и образования топливного факела /2/, так и по созданию нового класса композиционных материалов, обладающих определенным комплексом свойств. При этом обе задачи совмещены в едином технологическом процессе получения форкамер, который состоит из трех операций: изготовления составных частей форкамеры в виде пористых прессовок с заданной формой рабочей полости, сборки изделия из составных частей и упрочнения пористых частей путем пропитки термостойким сплавом с последующим жидкофазным спеканием их между собой.

Высокое качество рабочей поверхности форкамеры достигается за счет формирования составных частей прямым прессованием или динамическим горячим прессованием и проведением их спекания в вакуумной среде.

Термомеханическая стойкость изделий типа форкамер обеспечивается за счет упрочнения металлической основы /железа или стали/ боридными соединениями, которые образуются в пропитывающем сплаве системы железо-бор при его кристаллизации в капиллярных объемах основного материала /пористого тела/.

Наличие в пропитывающем составе бора межфазноактивной присадки уменьшает поверхностное натяжение сплава и, тем самым, обеспечивает его надежное проникновение в поры железной или стальной основы и одновременно в каналы стыков между составными частями изделия. Кроме того, сплавы данного типа не вызывают эрозии в контакте с основой, имеют более высокую температуру плавления, чем чугун и медь, обладают уникальной способностью к преобразованию боридов и их гетерогенизации в капиллярных объемах при легировании переходными металлами [3, 4].

В результате применения новой технологии получения форкамер до 30-40 % объема изделия упрочняется боридными соединениями.

В табл.1 приведены некоторые свойства композиционных материалов в сравнении с аналогичными свойствами чугуна, и стали, которые получают традиционными методами литья.

По данным микроструктурного, микрорентгеноспектрального и химического анализов в композиционных материалах типа Fe-/Fe,Me-B/, Fe-/Ni,Me-B/, Fe-/Co,Me-B/ и Fe-/Cu,Me-B/, в которых содержание легирующих компонентов не превышает их растворимости в железе /табл.2/, образуются боридные соединения только на основе железа, за счет чего обеспечивается высокое химическое сродство между материалом основы, пропитывающим сплавом и его боридными соединениями типа /Fe,Me/2B и /Fe,Me/B /4/.

Таблица 1.

Некоторые свойства композиционных материалов /KM/, чугуна и стали

№ п/п	Название процесса формирования или свойства KM	Экспериментальные данные о свойствах KM
1.	Температура пропитки и жидкофазного спекания KM, К	1473-1573
2.	Линейная усадка KM, %	0,5-4.0
3.	Временное сопротивление на разрыв, МПа	280-750
4.	Относительное удлинение KM, %	0-53
5.	Микротвердость фаз KM, ГПа	0.9-2.5
6.	- основной	2,3-5.5
	- соединительной	
	Термомеханическая стойкость при $T_{\min}=473$ К, $T_{\max}=1073$ К	
	/в циклах до разрушения/	
	- композиционные материалы	4770-31000
	- сталь Ст.3 /прокат/	8745
	- серый чугун	150
	Окалиностойкость /увеличение массы/ при выдержке продолжительностью 800 ч, г/м ³	
7.	- композиционные материалы	200-400
	- высокопрочный чугун с шаровидным графитом	380
	- серый чугун	
	Коэффициент теплового расширения, $10^{-4}K^{-1}$	
	- композиционные материалы	2000
	- нихром	
	- сталь Ст.3	
8.		0.050-0.055
		0.012
		1.19

Таблица 2

Зависимость содержания легирующих элементов в сложных боридах от стабильности электронных конфигураций и растворимости в железе при формировании композиционных материалов

Элемент	Наличие стабильных электронных конфигураций	Растворимость в железе 1423К/, мас. д. %/	Содержание легирующих элементов, мас. д. %		
			В композиции	В каркасе	в сложных боридах
H	s ¹	0,0007	При спекании в водороде в системе Fe-/Fe,Nb-B/ образуется боргидридная фаза, повышающая пластичность КМ		
B	sp ³	0,77	0,9-1,0	0,01	3,8-8,8 0,4-14,4
C	sp ⁴	1,8	0,1-0,8	0,1-0,5	Не обнаружено
Al	sp ³	0,9	В КМ системы Fe-/Fe,Al-B/ образуются твердые включения шпинелей, содержащих до 10-14,5% алюминия		
Ti	ds ⁴	2,3	0,3-8,0	0,03	В виде отдельн. включений
V	ds ⁵	1,8	0,3-0,5	0,16	0,4-1,0
Cr	ds ⁶ ;d ⁵	13	0,7-0,8	0,8-3,0	1,4-2,8 1,4-1,8
Mn	d ⁵ ;ds ⁷	75	В КМ системы Fe,Mn-/Cu-B ₄ C/ образуются отдельные включения марганца в соединительном сплаве		
Fe	d ⁶ ;d ⁵		70-99	80-100	79,2-96,2
Co	d ⁷ ;d ⁶	100	20	13,3	52,9-99,6
Ni	d ⁸ ;ds ¹⁰	100	3-26	1-19,2	11,8-14,1
Cu	d ⁹	8	0,5-8	На уровне фона Fe	0,4-5,9 1,0-12,4
W	ds ⁶ ;ds ⁵	4	2,0-2,1	Следы	4,9-6,9
Mo	ds ⁶ ;d ⁵	4	0,8-1,2	0,5-0,9	1,4-2,8 2,0-14,5
Nb	d ⁵	1,2	0,3-0,5	Следы	0-1,0 3,4-15,8
La	ds ³	0,2	В КМ системы Fe-/Cu-LaB ₆ -B/ частично замещает бор в боридных соединениях		

Примечание: В графе «Содержание легирующих элементов в сложных боридах» в верхней строке приведено содержание в боридах типа Fe,Me/2B, а в нижней - типа /Fe,Me/B.

Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей /Под ред. А.С. Орлина, М.П. Круглова. —М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
2. Пат. Европейский. Форкамера Барсукова /С.И. Барсуков, В.В. Черниенко, Езеф Нита // Заявка Р-324701 от 12.12.1990.
3. Затынайко Л.Л., Негода Г.П., Черниенко В.В. Применение термостойких про-питывающих сплавов для упрочнения спеченного железа / перспективы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания и двигателей новых схем и на новых топливах: Тез. докл. всесоюзн. н.-т. конф. —М.: МВТУ, 1987. —С.25.
4. Черниенко В.В., Граменицкий В.А., Павлышко Е.Г. Особенности протекания кристаллизации в малых объемах композиционных материалов / Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века //Сб. трудов VI международн. н.-т. конф., Т.3. —Донецк: ДонГТУ, 1999. —С.158-161.

УДК 658

ПУТИ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА УКРАИНЕ

Дудин А.Т.

(г. Евпатория, Украина)

Paths of development of motor transport on Ukraine.

Украина имеет площадь 603,7 тыс. кв. км, более 48 млн. жителей, имеет сухопутные границы с Россией, Белоруссией, Польшей, Чехией, Словакией, Венгрией, Румынией, Молдовой, имеет по всей стране сеть разветвленных автомобильных дорог и при всем этом – плохо развитую автомобильную промышленность. На Украине никогда не было, и сейчас нет концепции развития автомобильного транспорта. И пока такая концепция развития автомобильного транспорта и автомобильной промышленности не будет разработана на государственном уровне, страна будет обречена плестись в конце автомобильного прогресса, все больше превращаясь в свалку

старых автомобилей. А существующая автомобильная промышленность будет брать с 50-летним опозданием чужие идеи и, уродуя их, перерабатывать.

Для того чтобы разорвать этот порочный круг, надо проанализировать, что же достигнуто в мире в области автомобилестроения, какие существуют тенденции развития, и опережая время, начать выпускать новые автомобили уже сегодня, пусть очень дорогие, пусть в единичных экземплярах, но автомобили завтрашнего дня и непременно свои, так как такая большая страна с огромными ресурсами, научно – техническим потенциалом не может быть без хорошо развитой автомобильной промышленности. От уровня развития автомобильной промышленности, автотранспорта, автосервиса, автоперевозок во всем мире очень сильно зависит вся экономика страны. Для Украины, с такой территорией, развитие автомобильного транспорта, как ни в какой другой стране, еще больше влияет на экономику. Развитие автомобильной промышленности и автотранспорта, это и десятки тысяч рабочих мест, это и укрепление обороноспособности страны, это и внедрение новейших технологий, повышение жизненного уровня населения, престиж страны в мире.

Для выяснения данной проблемы рассмотрим тенденции развития автомобильного транспорта в мире за последние 15 лет. Для рекламы автомобилей будущего ведущие страны используют фильмы, а автомобили возвращаются в жизнь в лучах славы. Сегодня, не жалея денег, строят автомобили, используя космические технологии и выставляют их на показы в автосалонах. На Украине появились газеты и журналы, освещающие развитие автомобилестроения за рубежом, а это значит, сделан первый шаг к пониманию и анализу того пути, на котором мы находимся. К сожалению, большая часть этого материала переписывается из номера в номер, ограничивается расплывчатыми поверхностными характеристиками, содержит мало анализа, недостаточно анализа по недоработкам, узким местам узлов и агрегатов.

В данной работе представляются на основе анализа газет и журналов за 15 лет, некоторые характеристики наиболее престижных легковых автомобилей ведущих стран мира в области автомобилестроения с целью сформировать общее представление о достижениях в развитии автомобилестроения, выбрать наиболее перспективные направления развития и наметить основные вехи концепции развития автомобильного транспорта на Украине на 30-50 лет.

Основные требования к автомобилю сегодня – это привлекательность, скоростные и динамические качества, комфорт и удобство, безопасность, экономичность, надежность через электронизацию всех систем, бесшумность и экологичность. Компьютерная система, управляющая всеми агрегатами, предупреждающая о неисправностях, принимающая меры к устранению их, выбирающая оптимальные условия работы и обеспечивающая комфорт и безопасность.

Уже сегодня выставляемые на автосалонах автомобили имеют аэродинамику, доведенную до технического совершенства, имеющую коэффициент $0,137$ (ниже, чем у американского истребителя), с переменной аэродинамикой, обеспечивающей наилучшую устойчивость и минимальные потери мощности. Автомобили оснащены бортовыми навигационными системами (осуществляющие связь через спутники), радарно – лазерными комплексами, обнаруживающими препятствия на дороге и обеспечивающими безопасность движения. Оснащены телефоном, интернетом, электронной почтой, видеокамерами, исключая мертвую зону при перестроении и парковке с трансляцией на дисплей вида за кормой, имеют камеры наблюдения за дорогой и компьютерной обработкой ситуации, системы автоматического изменения давления в шинах, электронную систему курсовой устойчивости, датчики дождя, датчики загрязнения заборного воздуха с автоматическим переходом с системы вентиляции в режим рециркуляции, систему безопасности, следящую за состоянием водителя, его самочувствием, не позволяющую ему уснуть, а при ухудшении состояния, автоматически останавливающую автомобиль, климатические установки с прогревом сидений, систему безопасности от отравления угарным газом, оборудование автомобиля холодильником, термосом, душем, видеокамерой, лазерными проигрывателями. Автоматическая система по подготовке автомобиля к поездке, в установленное время осуществляет прогрев двигателя и салона, очистку стекол, выдает информацию на дисплей о работе всех систем, температуры за бортом и прогноз погоды. А также автомобили оснащаются системой выполнения команд голосом, системой автоматического открытия и закрытия дверей, активной безопасностью рулевой тяги, контроля динамической устойчивости, контроля движения на спусках, электронное торможение, распределение тормозного усилия с системой стабилизации и системой противоскольжения, автоматические подушки безопасности спереди, сбоку, активные подголовники, предохраняющие от травм шеи, стекла с грязеотталкивающим покрытием и изменением прозрачности, автоматически регулируемые зеркала, автоматически регулируемые кресла и запоминающие хозяина, шины, самоклеящиеся ко льду с датчиками и токопроводящим слоем, по которому пропускается слабый ток, компьютерное изменение цвета машины в зависимости от погоды, времени суток, дворниками для очистки фар, противоугонными системами и многим другим.

Внедряются автомобили с раздвижным кузовом и автоматическим изменением развала колес.

Двигатель автомобиля является его сердцем, поэтому рассмотрим перспективные направления его развития. Это двигатели из металлокерамики без систем охлаждения, работающие на газе и жидких горючих от спирта и до тяжелого дизельного топлива. Двигатели с двумя системами охлаждения с полным электрическим управлением системой питания и зажигания. Двигатели с сухим картером, сборным коленчатым валом, с отбором мощности в середине коленвала. Топливные форсунки с установкой в верхней мертвой точке и стенках цилиндров, где поршни защищают их от высоких температур всплеск. Образные двигатели с автоматическими коробками передач с электронным управлением, которые позволяют изменить алгоритм переключений в зависи-

мости от силы езды, возможностью ручного управления. Двигатели с расходом до 2 литров топлива на 100 км пути.

Спрос на более экономичные и более экологичные дизельные двигатели неуклонно растет. В 2000 году в Европе продано автомобилей 4.76 миллионов единиц, а в 2001 году на 12,1% больше. По прогнозам к 2005 году 50% всех автомобилей будут с дизелями. Уже сейчас продается машин с дизелями больше во Франции, Испании, Австрии, Бельгии.

С 1 литра объема двигателя снимается мощность 91,1 л. с., скорость автомобиля не менее 200 км/час, разгон автомобиля до 100 км/час от 5 до 10 секунд, соотношение веса автомобиля и мощности 3 кг на 1 л.с.

Исходя из анализа существующих автомобилей, концепция развития автомобильного транспорта должна строиться на следующих направлениях.

1. Свой дизайн, привлекательная внешность – половина успеха.
2. Создание серии разных автомобилей на одной платформе. Чем их будет больше, тем дешевле их производство, ремонт, эксплуатация.
3. Среди серии автомобилей должны быть с кузовом, универсал, кабриолет, внедорожник, вседорожник и другие, не обязательно спортивная версия.
4. Возможность изменить автомобиль у себя в гараже. Платформа автомобилей имеет несколько компоновок, может быть раздвижной.
5. В нескольких сериях возможность установки агрегатного кузова, то есть секционного, который покупатель, владелец может изменить по своему усмотрению.
6. Возможность установки одного из 10 двигателей по выбору покупателя.
7. Универсальный монтаж бижутерии автомобиля – осветительных приборов, зеркал, эмблем.
8. Отдела салонов кожей, тканью, пластиком под дерево и оснащение салона по заказу покупателя.
9. Кресла на магнитной подвеске.
10. Возможность переоборудования автомобиля в холодильник, ванну, баню, сауну.
11. Возможность превращаться в автомобиль –качалку- тренажер дорожного движения, где стекло превращается в экран, компьютер дорожного движения. При редких выездах – отличная тренировка – профилактика по вождению. Качалка водителя может обеспечиваться одним креслом водителя.
12. Автоматическое изменение просвета и развала колес.
13. Возможность применения колес разного диаметра и ширины для изменения проходимости и просвета.
14. Увеличение и уменьшение базы между колесами по ширине.
15. Увеличение и уменьшение расстояния между задними и передними колесами.
16. Раздвижение колес по сегментам по диаметру, по ширине, а также одновременно по ширине и диаметру.
17. Смена колес на лыжи и обеспечение передвижения лентой-транспортёром.
18. Установка магнитных амортизаторов на бампера спереди и сзади.
19. Возможность телескопического выведения шипов на колесах.
20. Компьютерное выведение ребер устойчивости, подкрылок, поворотных лонжеронов по боковым плоскостям, на крыше и на канате в зависимости от скорости движения и поворотов.
21. Возможность включения переднего, заднего или обоих приводов.
22. Возможность установки двигателя спереди, сзади и в центре.
23. Торможение реактивными двигателями, установленными на крыше, по бокам и впереди.
24. Возможность открывания дверей в двух направлениях.
25. Возможность автоматического катапультирования при аварии.
26. Возможность работы двигателя работы на газообразном, жидком и твердом топливе.
27. Разработка и внедрение гибридных автомобилей, где двигатель внутреннего сгорания обеспечивает электроэнергию для зарядки аккумуляторов, а в городе автомобиль перемещается на электроприводе.
28. Работа двигателя на новых видах топлива и новых рабочих телах, а также использование накопительной энергии, маховиков, пружинных устройств.

3. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.311:658.011.56

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГЕБРЫ ПРЕДИКАТОВ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Бондаренко М.Ф., докт. техн. наук, Дударь З.В., канд. техн. наук, Збитнева М.В.
(г. Харьков, Украина)

Use of predicates algebra for tasks of analysis of electrical network topology. Bondarenko M., Dudar Z., Zbitneva M. Predicative model of electrical network condition and method of its construction are considered.

Одной из характерных черт современных АСДУ электрическими сетями является расширение масштабов охвата сети оборудованием SCADA-систем [1], позволяющих расширить круг задач, решаемых в режиме реального времени. Решение задачи автоматического получения информации о текущем состоянии сети, ее хранения в базах данных АСДУ и отображения с помощью интерактивных графических программных средств [2], поставило на

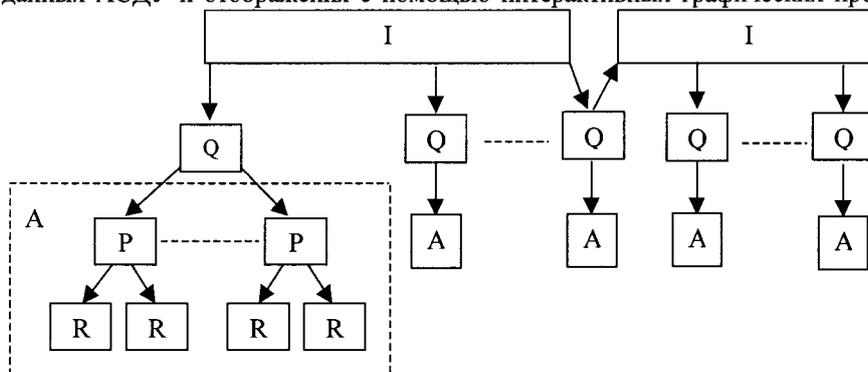


Рис. 1. Предикатная модель подстанции.

повестку дня вопрос об автоматическом построении схем замещения электрических сетей и формировании уравнений для расчета режима сети. При расчетах сложных электрических сетей много времени занимает процедура составления расчетной схемы замещения и формирования системы уравнений [3]. Скорость решения этой задачи зависит от вида модели электрической сети, ее математического описания и принятого алгоритма реализации метода решения.

В данной работе предлагается модель состояния электрической сети, которая базируется на алгебре конечных предикатов и предикатных операций, и метод ее получения [4]. Основными элементами, определяющими конфигурацию электрической сети, являются подстанции и линии электропередач (ЛЭП). При переходе к схеме замещения в виде топологического графа на подстанциях выделяют узлы и ветви, а ЛЭП образуют ветви графа, соединяющие узлы подстанций. Поэтому в качестве базового элемента предикатной модели состояния электрической сети выбрана подстанция. Анализ схем подстанций, встречающихся в практике эксплуатации электрических сетей, показал, что они могут быть описаны четырехуровневой предикатной моделью, подробное описание которой приведено в [5]. Эта модель подстанции (далее - П-модель) включает четыре типа предикатов R, P, Q, I (рис.1) и построена таким образом, чтобы каждый предикат описывал определенный участок сети. Предикат R охватывает один элемент, предикат P – два элемента; предикат Q – элементы ветви; I – элементы узла. П-модель учитывает последовательность соединения элементов, их взаимное расположение и свойства,

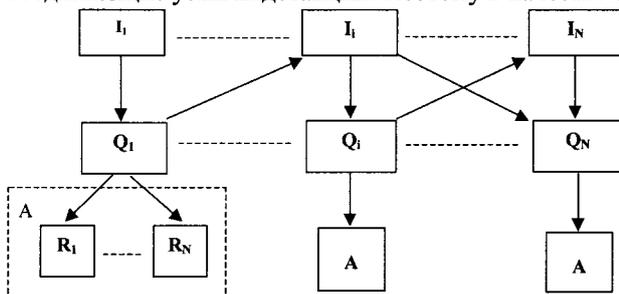


Рис. 2. Модель состояния ЭС.

электрической сети выбрана подстанция. Анализ схем подстанций, встречающихся в практике эксплуатации электрических сетей, показал, что они могут быть описаны четырехуровневой предикатной моделью, подробное описание которой приведено в [5]. Эта модель подстанции (далее - П-модель) включает четыре типа предикатов R, P, Q, I (рис.1) и построена таким образом, чтобы каждый предикат описывал определенный участок сети. Предикат R охватывает один элемент, предикат P – два элемента; предикат Q – элементы ветви; I – элементы узла. П-модель учитывает последовательность соединения элементов, их взаимное расположение и свойства,

позволяет следить за динамикой изменения конфигурации сети. Модель состояния электрической сети (С-модель) представляет собой трехуровневую предикатную модель. Эта модель включает три типа предикатов R, Q и I (рис.2.). С-модель построена таким образом, чтобы ее можно было использовать в расчетах режимов, которые выполняются на всех стадиях проектирования и эксплуатации сетей. Целью проведения таких расчетов является проверка выполнения технических условий, т.е. соответствия токов в отдельных элементах и напряжений в узлах сети допустимым значениям. С-модель представляет собой ориентированный граф с циклами и получается из П-модели путем выполнения цепочки преобразований. Предварительным этапом к построению С-модели является исключение нулевой полустепени исхода Q-вершин графа П-модели. Метод исключения нулевой полустепени исхода вершин. Основанием для разработки метода исключения нулевой полустепени исхода Q-вершин графа П-модели (далее - И-метод) послужила необходимость запрета повторного анализа одной и той же ветви и исключения встречных направлений тока на ней.

Направление дуг графа П-модели уровней Q и I соответствуют дугам ориентированного ациклического антисимметричного графа (далее - ОАА-граф) [5] и образуют ориентацию, которую будем называть ОАА-ориентация. Соответственно, противоположную ориентацию будем называть ПОАА-ориентация.

И-метод требует выполнения следующих операций:

- поиск вершин $d(Q)=0$ графа П-модели, обладающих нулевой степенью исхода [6];
- преобразование одной из входящих дуг $d(Q)=0$ в исходящую в направлении обхода в глубину (ОГ);
- присвоение типа ОГ дугам, совпадающим с направлением обхода в глубину, а не совпадающим - типа ООГ.

Метод построения схемы замещения ЭС. Метод автоматического построения схемы замещения электрической сети (СЗ-метод) заключается в преобразовании моделей подстанций расчетного участка сети в С-модель (рис.2) и требует выполнения следующих операций:

1. Исключение несущественных элементов:
 - 1.1) Исключить уровень Р. При расчетах режимов нет необходимости располагать данными об участке цепи из двух элементов и месте их соединения;
 - 1.2) Исключить элементы, у которых свойство “Сопротивление” =0;
 - 1.3) Исключить элементы, подключенные к нейтралю обмоток высокого напряжения силовых трансформаторов;
 - 1.4) Исключить ветви, на которых находятся разрядники;
 - 1.5) исключить ветви, на которых коммутационные аппараты находятся в состоянии “Выключено”;
 - 1.6) Сформировать свойство “Сопротивление” ветви и исключить те ветви, у которых оно равно нулю;
 - 1.7) Соединить два узла в один при исключении ветви между ними таким образом, чтобы ни одна из их ветвей не осталась не проанализированной.
 2. Обработка элементов-источников и элементов-потребителей. Перенести свойство “Напряжение” (свойство “Ток”) источника (потребителя) в узел I, к которому они подключены. В случае равенства нулю сопротивления текущей ветви в качестве I выступает вновь созданный узел.
 3. Выбор направления ветвей. Направление ветви при наличии источника (И) или потребителя (П) устанавливается от И к П, в противном случае – оно выбирается произвольно, а именно принимается равным ОГ-ориентации.
 4. Присвоение номеров ветвям и узлам:
 - 4.1) Порядок нумерации ветвей произвольный;
 - 4.2) Порядок нумерации узлов: независимые узлы; узлы, в которых задано напряжение; базисный узел.
- В результате получаем модель состояния электрической сети, которая дает возможность автоматического решения задач расчета режимов электрической сети.

Литература

1. Бунин В., Аноприенко В., Ильин А. и др. SCADA–системы: проблемы выбора. – Современные технологии автоматизации, № 4, 1999.- с.6-24.
2. Shin J.-R., Lee W.-H., Im D.-H. A windows-based interactive and graphic package for the education and training of power system analysis and operation// IEEE Transaction Power Systems, 14, № 4, 1999, - p. 1193-1199.
3. Борданов С.А., Борданова Ю.С. Автоматическое построение схемы замещения на ПЭВМ для расчета и анализа режимов электрических систем//Электроснабжение и автоматизация промышленных предприятий.- Чуваш. гос. ун-т, Чебоксары, 1997.- с.99-102.
4. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта: Математические средства. – Харьков: Вища шк., изд-во при Харьк. ун-те, 1984. - 143 с.
5. Бондаренко М.Ф., Дудар З.В., Збітнева М.В. Моделі електричних мереж і методи автоматичного формування їх топологій.- Вістник ЖІТІ, Житомир, В. 20, 2002.- с. 90-97.

УДК 681.322

РОЛЬ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ОБУЧЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Белос Н.В., канд. техн. наук, Шубин И.Ю., канд. техн. наук, Выродов А.П.

(г. Харьков, Украина)

The role of learning theories in computer based learning system creation. Belous N.V., Shubin I.Y., Vyrodov O.P. It is stressed out, the importance of learning theories application to process of computer based learning system creation in the article. The barest necessity of such application is proved. The basic concepts of several modern learning theories are given. The paper outlines some of the environmental pedagogical dimensions. The recommendations of learning theory application to construction of computer based learning system are made.

На современном этапе развития компьютерных технологий при проектировании программ учебного назначения используют специальные инструментальные системы, которые освобождают разработчика от необходимости выполнения рутинных операций. Данные инструментальные средства различаются предоставляемыми сервисными возможностями по созданию и редактированию учебного материала. Однако использование подобных инструментальных сред не гарантирует получения методически замкнутых, дидактически эффективных компьютерных программ учебного назначения. Разработанные в одной инструментальной среде, но на основе применения различных психологических теорий обучения, компьютерные программы учебного назначения будут существенно отличаться по своей дидактической эффективности. Как правило, разработчики учебных программ даже не задумываются о выборе адекватной теории обучения и неявно используют стиль обучения,

заложенный проектировщиком в инструментальную среду. Это привело к возникновению ситуации, когда 91% компьютерных программ учебного назначения основаны на наиболее простой с точки зрения программной реализации бихевиористической теории обучения. Очевидно, что улучшить дидактические характеристики учебных программ можно посредством использования комбинации нескольких теорий обучения вместо одной. Поэтому возникает задача поиска оптимальной комбинации различных теорий обучения для создания на их основе компьютерных программ учебного назначения.

В данной работе изложены результаты анализа наиболее известных в педагогической психологии теорий обучения с целью их применения для разработки сценариев компьютерных программ учебного назначения.

Бихевиористическая теория обучения. В бихевиоризме основное внимание уделено поведению обучаемого, которое трактуется как сумма реакций на учебные ситуации. Модель обучения, предложенную Б. Скиннером и получившую название линейное программирование, можно представить в виде следующей универсальной формулы: $S \rightarrow R \rightarrow P$, где S — ситуация; R — реакция; P — подкрепление.

По методике линейного программирования были подготовлены учебные пособия, которые прошли апробацию в профессионально-технических училищах США. Использование данной теории обучения позволяет существенно сократить время обучения и повысить квалификацию обучаемых. Однако линейное программирование не лишено и недостатков. К последним следует отнести: постепенную утрату обучаемым интереса из-за механистичности программированных пособий; значительное количество небольших информационных фрагментов затрудняет восприятие учебного материала в целом; отсутствие адаптации к познавательным способностям конкретного индивида.

Большинство перечисленных недостатков были устранены Н.А. Краудером в его методике разветвленного программированного обучения. В качестве учебной ситуации Краудер предложил использовать тестовое задание, состоящее из вопроса и трех вариантов ответов: правильный, неточный и неправильный. В случае правильного ответа обучаемому давалось положительное подкрепление и осуществлялся переход к следующему по сценарию информационному фрагменту. В случае неточного ответа обучаемому выдавалась корректирующая информация, а в случае неправильного — помощь. Таким образом, схема Краудера предусматривала три возможных пути продолжения хода учебного процесса: для сильных, средних и слабых обучаемых.

Ассоциативно-рефлекторная теория обучения. В данной теории под ассоциацией понимают связь между психическими явлениями, которая приводит к появлению одного явления при актуализации другого. Обучение интерпретируется как процесс связывания различных элементов знания. При этом выделяют два вида связей: внешние и внутренние. С помощью внешних связей осуществляется только механическое запоминание. Наглядным примером может служить правило для запоминания цветового спектра: "Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан". С помощью внутренних (логических) связей можно выводить новые знания из имеющихся. Ассоциативно-рефлекторная теория обучения требует для своего применения соблюдения следующих условий: обучаемый должен иметь начальные знания и уметь выполнять логические операции для связывания начальных знаний с новыми. Теория ассоциативно-рефлекторного обучения включает следующие этапы: актуализация имеющихся знаний; связывание имеющихся знаний с новыми; регистрация и осмысление новых знаний; закрепление новых знаний; обобщение имеющихся и новых знаний в единую систему; закрепление обобщенного знания.

Теория поэтапного формирования умственных действий. Основателями данной теории обучения являются П.Я. Гальперин и Н.Ф. Талызина. Теория поэтапного формирования умственных действий сводит процесс обучения к последовательности следующих этапов: мотивация обучаемого перед началом работы с учебным материалом; создание ориентировочной основы учебной деятельности; организация материальной (материализованной) формы деятельности; осуществление абстрагированной от материальных объектов внешнеречевой деятельности; проведение абстрагированной деятельности в форме внутренней речи; выполнение учебной деятельности в абстрагированной свернутой, только умственной форме.

Теория алгоритмизации. Данная теория обучения имеет фиксированную область применения — изучение алгоритмов решения задач. Согласно этой теории, учебный процесс целесообразно планировать в виде следующих этапов: выдача обучаемому сведений об области применения описываемых алгоритмов; ознакомление обучаемого с алгоритмом решения всей задачи в целом; организация учебной деятельности по алгоритму с внешней опорой; осуществление учебной деятельности по алгоритму с эпизодической внешней опорой; проведение учебной деятельности по алгоритму без внешней опоры.

Гештальттеория обучения. Основателями гештальттеории обучения являются М. Вертгеймер, Г. Мюллер, В. Келер, К. Коффка. Ядром теории является учение о гештальте. Гештальт представляет собой целостную организацию объекта восприятия. Поэтому гештальттеория основывается на одномоментном запечатлении в ходе учебной деятельности. В гештальттеории манипуляции производят с довольно большими информационными фрагментами, имеющими самостоятельное смысловое значение. Указанные манипуляции сводятся к запечатлению структуры фрагмента, а также его смысла.

Суггестопедическая теория обучения. В основе суггестопедической теории обучения лежит организация учебного процесса на основе эмоционального внушения в бодрствующем состоянии, которое приводит к сверхзапоминанию. Данная теория основывается на комплексном использовании всех вербальных и невербальных, внешних и внутренних средств внушения. Ее реализация предполагает создание особых психолого-педагогических условий обучения. Преподаватель должен: иметь высокий авторитет; создавать обстановку до-

верия, когда обучаемый полностью вверяет себя преподавателю; внушать обучаемому мысли об огромных возможностях интеллекта; демонстрировать продвижения обучаемого в изучении учебного материала.

Теория нейролингвистического программирования. В теории нейролингвистического программирования под процессом обучения понимают движение информации через нервную систему обучаемого. Обработанная информация подразделяется на сенсорную (нейро) и вербальную (лингво). В нервной системе человека осуществляется получение информации (ввод), ее хранение, переработка и воспроизведение в какой-либо форме (вывод). Данная теория позволяет дифференцировать обучаемых по следующим критериям: 1) по уровню развития основных каналов прохождения информации: визуальных (зрение), аудиальных (слух) или кинестетических (ощущения); 2) по уровню развития полушарий головного мозга: левополушарные и правополушарные. Согласно данной теории нервная система человека уникальна и от сочетания ее особенностей непосредственно зависит эффективность системы обучения.

Теория содержательного обобщения. Теория содержательного обобщения подчеркивает влияние на формирование интеллекта системы теоретического знания. Согласно данной теории, учебный процесс представляет собой освоение обучаемым содержательных обобщений — генетически исходных, теоретически существенных свойств и отношений объектов, а также условий их возникновения и преобразования. Под «субъектом познания» понимается способность обучаемого овладеть научными понятиями, организованными по теоретическому принципу, а под «учебным процессом» — деятельность по воспроизводству содержания, пути и метода теоретического познания.

На основе анализа вышеописанных теорий обучения, сформулируем следующие рекомендации по их применению в процессе разработки компьютерных программ учебного назначения. При проектировании глобального сценария учебной программы следует перед предоставлением учебного материала осуществить мотивацию обучаемого, ознакомить его с общей структурой учебного материала (теории алгоритмизации и поэтапного формирования умственных действий). При разработке локальных сценариев следует в начало поместить учебные задания с разнообразными графическими иллюстрациями (материализованная форма учебной деятельности), а затем более абстрактные упражнения (умственная форма). Если обучаемый не справляется с выполнением задания, то следует осуществить напоминание пройденного материала (ассоциативно-рефлекторная теория). В основу сценариев заданий следует положить универсальную бихевиористическую формулу. Кроме того, в глобальном сценарии после изучения определенного количества информационных фрагментов следует предусмотреть выдачу обобщающих пройденный материал сведений (теория содержательного обобщения). В сценарий обучения должны обязательно входить учебные задания, построенные на основе реальной практической ситуации и позволяющие проверить понимание базовой концепции изучаемого предмета в целом. Проработка таких заданий побуждает обучаемого к комплексной оценке учебной ситуации, что способствует его интеллектуальному развитию (теория нейролингвистического программирования). С учетом изложенных рекомендаций осуществляется разработка «мастера сценариев» интегрированной среды разработчика компьютерных программ учебного назначения, который автоматизирует процесс создания как глобальных, так и локальных сценариев учебных программ.

Литература

1. Скиннер Б. Наука об учении и искусство обучения /В сб. "Программированное обучение за рубежом". М.: Высшая школа, 1968. с.32-46.
2. Краудер Н.А. О различиях между линейным и разветвленным программированием /В сб. "Программированное обучение за рубежом". М.: Высшая школа, 1968. с.58-67.
3. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. М.: МГУ, 1975.
4. Ланда Л.Н. О кибернетическом подходе к теории обучения// Вопросы философии, 1962, N 9.
5. Robert Sylwester, "What the Biology of the Brain Tells Us About Learning," Education Leadership, December, 1993.

УДК 681.513.7

ИНТЕГРАЦИЯ ОБУЧАЮЩЕГО РЕСУРСА И ПРИКЛАДНОГО ПАКЕТА LASERCAD III ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Иванов П.С., Келеберда И.Н., Шулика А.В., Сокол В. В.

(г. Харьков, Украина)

An integration of educational material in the form of information resource and simulator LaserCAD intended for semiconductor band engineering problems solving and modern quantum-well semiconductor lasers simulation on the distance education organization is considered.

При организации дистанционного обучения в глобальной сети Интернет необходимо создать веб-ресурс, который содержит все необходимые учебные материалы. Традиционно для решения данной задачи используется язык гипертекстовой разметки, разработанный в Европейском институте физики частиц (CERN) Тимом Бернез-Ли для создания информационных ресурсов в системе WWW сети Интернет.

Данный язык разметки ориентирован на создание структуры документа для визуального представления его в глобальной сети, и последующие развитие языка заключалось в добавлении новых визуально-ориентированных тегов.

Однако привязка к стандартным тегам HTML не позволяет эффективно структурировать документ в таких специализированных областях, как издательство, электронная коммерция, образование и др. Поэтому для решения проблемы расширяемости 14 ноября 1996 года появился первый рабочий вариант новой спецификации языка разметки, а официальная рекомендация W3-консорциума на XML 1.0 появилась 10 февраля 1998 года.

Расширяемый язык разметки (eXtensible Markup Language - XML) - это универсальный механизм создания произвольных языков разметки документов, предназначенный для организации современных информационных ресурсов в глобальной сети Интернет. Разработка спецификации языка разметки основывается на создании DTD (Document Type Definition). DTD представляет собой набор правил, определяющий инструкции, которые могут быть переданы анализатору для обработки документа. DTD также включает набор объявлений элементов и атрибутов, сущности, условные обозначения и комментарии, которые определяют, как документ будет структурирован. Создание спецификации языка разметки учебных материалов включает разработку структуры документа. Проведенный анализ существующих исследований по структурированию учебных материалов [1], рассмотрение статьи [3], в которой авторы рассматривают применение объектов обучения, в соответствии стандарту [4], для организации дистанционного обучения, определил следующие элементы структуры «элементов учебной дисциплины» для DTD:

- «LECTURE» – лекционный материал;
- «PRACTICE» – материал практического занятия;
- «SEMINAR» – материал семинарского занятия;
- «LABORATORY» – материал лабораторной работы;
- «TUTORIAL» - материал консультации.
- «TEST» – тестовый материал

Следующим этапом разработки DTD является более детальная разработка структуры с определением дочерних элементов и атрибутов к каждому элементу, которые позволят специализированному программному обеспечению обрабатывать содержание документа и получать дополнительную информацию о структуре документа. Использование разработанной спецификации языка разметки учебных материалов позволяет эффективно создавать обучающие ресурсы, отделяя структуру и содержание документов учебных материалов от визуального представления их на терминалах пользователей. Для визуального представления используются три инструмента для работы с таблицами стилей:

- каскадные таблицы стилей CSS1 и CSS2;
- язык семантики и описания стиля документа (Document Style Semantics And Specification Language, DSSL);
- расширяемый язык стиля (Extensible Style Language, XSL).

Описанный подход применяется к созданию обучающего ресурса при разработке системы дистанционного обучения, которая предусматривает интеграцию учебного материала и пакета моделирования квантоворазмерных (КР) полупроводниковых лазеров LaserCAD III.

Существующий вариант пакета характеризуется использованием Java в качестве базового языка программирования и включает в себя модули: редактирования параметров материалов лазера, редактирования геометрических параметров лазерной структуры, сохранения и загрузки параметров лазера и результатов, а также, ядро расчетных задач. Модуль редактирования параметров материалов позволяет добавлять, удалять и изменять параметры, соответствующие двойным, тройным и четверным соединениям. Модуль редактирования геометрических параметров лазерного чипа обеспечивает задание длины резонатора, количества и толщины КР – слоев и барьерных областей. Модуль сохранения и загрузки исходных данных и результатов вычислений позволяет накапливать и использовать данные о геометрии структур, а также сохранять результаты в виде файлов, которые можно импортировать в другие программы.

Ядро расчетных задач является основной частью пакета, которое непосредственно осуществляет расчет характеристик лазерного устройства на основе системы скоростных уравнений. При этом, предусмотрено исследование лазеров различной конструкции: торцевые и вертикальные. В настоящий момент, ядро включает средства для проведения анализа динамических, модуляционных и мощностных характеристик, спектра усиления активной области. В составе ядра присутствуют два генератора тока инжекции: импульсный и полигармонический. Это позволяет исследовать динамические и модуляционные характеристики КР – лазера при прямой модуляции различными сигналами. Существенной особенностью пакета является использование двух различных подходов к рассмотрению материального усиления, анализ которого, с одной стороны, представляет интерес в спектральной области как самостоятельная задача и одновременно с этим, значение усиления необходимо знать при моделировании динамических, модуляционных и других характеристик лазера. Для первого типа задач, наиболее подходящим является расчет усиления из основных положений, для второго - исходя из наиболее точного приближения [4].

Использование Java – технологии для интеграции обучающего ресурса и пакета LaserCAD III с целью организации дистанционного обучения в области Фотоники производится на базе использования протокола HTTP, который применяется для web-взаимодействий.

Существует две Java – технологии для разработки веб-приложений[5], которые позволяют интегрировать обучающий ресурс и LaserCAD III, а также организовать дистанционное обучение. Первая технология основана на сервлетах, которые могут обрабатывать HTTP-запросы, генерировать HTTP-ответы и передавать их через

web. Вторая – JavaServer Pages (JSP), которая включает в HTML/XML – документ специальные команды на языке сценариев и представляет расширение сервлетов.

Технология JSP упрощает интеграцию учебных материалов и моделирования в LaserCAD III посредством вставки сценариев в статический HTML/XML документ, а также предоставляет возможность настраивать форму подачи материала под конкретного пользователя. Для отображения информации используется генерация HTML/XML документов средствами JSP.

Процесс генерации происходит следующим образом:

- 1) анализ запроса;
- 2) выбор нужного образца HTML/XML – документа;
- 3) расчет необходимых величин, если нужно;
- 4) заполнение полей рассчитанных величин;
- 5) передача пользователю результатов запроса.

В случае многопользовательского режима использования пакета LaserCAD III пользователь осуществляет запрос к серверу, происходит генерация HTML/XML – документа для ввода типа и параметров расчета. После ввода информация передается в математическое ядро LaserCAD III через его программный интерфейс, что изображено на рис. 1.

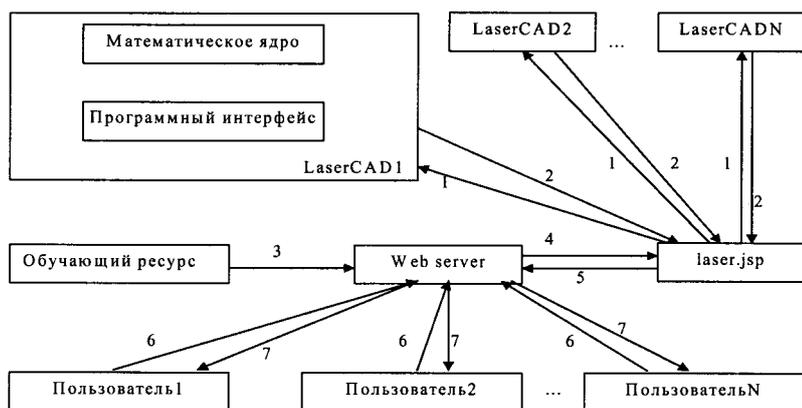


Рис. 1. Схема многопользовательского режима.

На схеме представлены следующие взаимодействия:

- 1) Запрос на вычисление; параметры вычислений.
- 2) Результаты вычислений.
- 3) Статический XML документ.
- 4) Запрос на режим работы; параметры запроса; результаты вычислений.
- 5) Сгенерированный HTML/XML документ.
- 6) Режим работы; параметры работы.
- 7) Результирующий HTML/XML документ.

Взаимодействие пользователь – laser.jsp (и, соответственно, LaserCAD

III) происходит через сервер. При подключении пользователя к серверу формируется запрос, который передается laser.jsp. Здесь происходит обработка и формирование начальной страницы, которая и возвращается пользователю. В зависимости от выбора пользователя (теоретическая часть или расчет) запрос на страницу активизирует laser.jsp, которая генерирует HTML/XML документ.

Для теоретических данных информация берется с сервера и в таком же виде (но с добавлением интерфейсных элементов) возвращают пользователю. После чего возможен возврат на главную страницу либо переход к вычислениям.

В режиме вычислений генерируется HTML/XML документ, который позволяет выбрать количество исследуемых характеристик и задать соответствующие параметры вычислений. Для каждого пользователя запускается свой поток вычислений.

Результаты расчетов в реальном масштабе времени передаются в laser.jsp, где генерируется соответствующие графики и объединяются в конечный HTML/XML документ, передаваемый на терминал пользователя. После окончания расчетов поток останавливается, но продолжает существовать в ожидании следующего запроса. Если пользователь прекращает работу, то поток уничтожается. Процесс происходит независимо для всех пользователей.

Литература

1. Лесная Н.С., Каук В.И. Структура и содержание материалов по учебной дисциплине для задач дистанционного обучения, Вирт – 2000, сборник научных трудов 4-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования. – Харьков-Севастополь: УАДО, 2000.-с. 71-75
2. Гребенюк В.А., Логвиновский А.Г., Семенец В.В. Объекты обучения: классификация и стандарты, Вирт – 2000, сборник научных трудов 4-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования. – Харьков-Севастополь: УАДО, 2000.-с. 45 – 51.
3. IEEE 1484.12.1™ «Standard for Learning Object Metadata»
4. M.V. Samokhvalov, A.N. Manzhura, A.V. Kublik, I.A. Sukhoivanov, "The software tool for laser performance investigation", Radiotekhnika. All-Ukr. Sei. Interdep. Mag., 1999, N110, pp. 100-105.
5. П. Дж. Перроун, В. Чаганти Создание корпоративных систем на основе Java 2 Enterprise Edition. Руководство разработчика. : Пер. с англ. – М. Издательский дом "Вильямс", 2001. – 1184 с.

УДК 681.3(03)

ОТКРЫТИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ И ПАМЯТИ КОМПЬЮТЕРОВ

Настасенко В.А., канд. техн. наук, Настасенко Е.В.

(г. Херсон, Украина)

The dynamics of the development of rapidly and expanding the volume of computers memory is considered in the paper. It is shown that these possibilities can be theoretically limited only by the sizes of the layers forming PC memory in achieving frequencies, wave lengths and other variables of quantum level. The quantitative evaluation of these possibilities is substantiated.

Известно, что одним из наиболее перспективных путей повышения быстродействия и объема памяти персональных компьютеров является уменьшение толщины и увеличение числа пленочных структур микрочипов. В настоящее время ПК пятого поколения с процессорами на пленках толщиной 0,13 мкм достигли возможной частоты 0,7...1,5 ГГц, и объема памяти 40...50 Гбайт. Ежегодный прирост этих показателей составляет 10-20%.

Основным из факторов, ограничивающих быстродействие ПК, является время передачи между ячейками импульсов, что при их скорости, близкой к скорости света, зависит от размеров ячейки, поэтому максимальное быстродействие определяется предельным для пленочных технологий уровнем – параметрами кристаллической решетки. Однако, в рамках указанных темпов роста, достижение предельной толщины – в один слой кристаллической решетки – возможно в ближайшие 15-20 лет, поэтому закономерно возникает вопрос, каковы перспективы дальнейшего развития ПК? Таким образом, целью выполненной работы является выяснение предельных возможностей быстродействия и памяти ПК и поиск перспективных путей их повышения. Анализ предельных возможностей быстродействия и памяти ПК в работе [1] показал, что дальнейшие перспективы их развития возможны только при наличии качественного скачка, ведущего к принципиально новым техникам и технологиям. В настоящее время важно определить пути для такого скачка и очертить его перспективы, что является главной задачей выполненной работы. Для ее решения в первую очередь необходим анализ реально существующих физических объектов, слои которых имеют толщину, меньше кристаллической решетки.

Первыми из них являются атомы, окруженные слоями электронных облаков. Таким образом, следующий уровень развития компьютерной техники и технологии должен быть связан с выходом к атомному уровню, что позволяет определить вытекающие из этого возможные пути достижения поставленной цели – перехода к уровню электронных оболочек и конкретизировать задачи дальнейших исследований в данном направлении. Однако исследования [2] в области элементарных частиц, в частности – нейтронов, также показали наличие у них тонкой слоистой структуры, что позволяет определить следующий шаг в направлении поиска – субатомный. Учитывая, что в предлагаемой работе поставлена цель выявления именно предельных возможностей существования слоистых структур, то в рамках материального мира, нейтроны, как и другие известные элементарные частицы (кроме гипотетического кварка), поставленной цели не отвечают, поскольку занимают промежуточное положение между кристаллическим и Планковским уровнем [2]. Поэтому, в основу дальнейшего анализа положен предельно возможный уровень физических величин в реальной Вселенной – планковский, параметры которого получены из основных физических констант (4-6) и составляют [3]:

$$\text{Планковскую массу} \quad m_p = \sqrt{(\hbar c/G)} = 2,17671 \cdot 10^{-8} \text{ кг}; \quad (1)$$

$$\text{Планковскую длину} \quad l_p = \sqrt{(\hbar G/c^3)} = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ м}; \quad (2)$$

$$\text{Планковское время} \quad t_p = \sqrt{(\hbar G/c^5)} = 5,39056 \cdot 10^{-44} \text{ с}; \quad (3)$$

$$\text{где } c - \text{ скорость света в вакууме, } c = 0,299792458 \cdot 10^9 \text{ м/с}; \quad (4)$$

$$G - \text{ гравитационная постоянная, } G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2); \quad (5)$$

$$\hbar - \text{ круговая постоянная Планка, } \hbar = 1,05457266 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}. \quad (6)$$

Предельная возможность величин длины и времени (2,3) вытекает из того, что они получены не произвольно, а на основе конкретных закономерностей, поэтому меньших значений в реальном мире нет, что вытекает из величин констант c , G , \hbar . Однако для планковской массы (1) возникает парадокс – электрон, имеющий классический радиус $r_e = 2,81794092 \cdot 10^{-15} \text{ м} \gg l_p = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ м}$, имеет массу $m_e = 9,1093897 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \ll m_p = 2,17671 \cdot 10^{-8} \text{ кг}$, что вынуждает считать все планковские величины (1), (2), (3) абстрактными, не связанными с конкретными материальными образованиями. Поэтому в первую очередь возникает необходимость решения данной проблемы. При ее решении считали, что реальный природный прототип у планковских величин есть, но все еще не найден. Поскольку с ними не удалось связать известные элементарные частицы, объекты атомного уровня (для них атомная единица массы $1 \text{ а.е.м.} = 1/12 m(^{12}\text{C}) = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$), и другие традиционно известные фундаментальные объекты микро- и макромира, поэтому рамки поиска были расширены, что в конечном итоге привело к анализу на уровне мегамира, в частности – Вселенной. Учитывая, что для нее одним из основных является Закон Всемирного тяготения, поэтому поиск был связан с ним, а исходными приняты вытекающие из него космические скорости. В частности, в рамках традиционной модели образования Вселенной в результате Большого Взрыва, она расширяется со скоростью света c . Значит покинуть ее можно только превысив эту скорость, которую можно считать 5-й космической, в иерархии: 1-я - выход на орбиту Земли, 2-я – выход за пределы орбиты Земли, 3-я – выход за пределы Солнечной системы, 4-я – выход за пределы галактики. Учитывая, что скорость v выхода за пределы орбиты любого космического объекта определяется по зависимости [3]:

$$v = \sqrt[3]{GM/R} \text{ (м/с)}, \quad (7)$$

где G – гравитационная постоянная, $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$, M – масса покидаемого объекта, кг, R – радиус орбиты, м, поэтому, считая ее для Вселенной равной скорости света $c = 0,29979 \cdot 10^9 \text{ (м/с)}$, по зависимости (9) можно определить массу M Вселенной радиуса R , который при ее возрасте $t = 15 \dots 20$ млрд. св. лет составляет:

$$R = tc = 15 \dots 20 \cdot 10^9 \text{ (лет)} \cdot 365,24 \text{ (суток)} \cdot 86400 \text{ (с)} \cdot 0,29979 \cdot 10^9 \text{ (м/с)} = 1,41907 \dots 1,89209 \cdot 10^{26} \text{ (м)}. \quad (8)$$

Для удобства радиус Вселенной примем равным $1,61605 \cdot 10^{26}$ м, тогда в планковском масштабе $l_p = 1,61605 \cdot 10^{-35}$ м получим $R/l_p = 1,61605 \cdot 10^{26} / 1,61605 \cdot 10^{-35} = 10 \cdot 10^{60}$ планковских слоев, что составит возраст Вселенной 17,08214 млрд. лет, или $0,539056 \cdot 10^{18}$ с. В этом случае масса M Вселенной составит:

$$M = c^2 R / G = (0,29979258 \cdot 10^9 \text{ (м/с)})^2 \cdot 1,61605 \cdot 10^{26} \text{ (м)} / 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2) = 0,217671 \cdot 10^{54} \text{ (кг)}. \quad (9)$$

При числе планковских слоев $n = 10 \cdot 10^{60}$, по зависимости (10) получим массу слоя m_c :

$$m_c = M/n = 0,217671 \cdot 10^{54} \text{ (кг)} / 10 \cdot 10^{60} \text{ (слоев)} = 2,17671 \cdot 10^{-8} \text{ (кг)}, \quad (10)$$

что составляет абсолютно точную величину планковской массы m_p (1) и подтверждает реальность ее существования, вытекающую уже из абсолютно иных физических законов – Всемирного тяготения (7), чем исходный, планковской массы (1). Таким образом, исходя из зависимостей (9), (10) можно сформулировать сущность первого открытия – планковская масса представляет собой массу слоя Вселенной планковской толщины, охватывающей все ее пространство, что составляет истинный физический смысл данной единицы и указывает на реальность всех остальных единиц и существования самого планковского слоя. (второе открытие, представленное в данной работе). Поскольку предельно возможный для Вселенной слой выделен, поэтому дальнейшее развитие быстродействия и памяти ПК следует связать с ним. По уровням используемых для этого рабочих слоев, их можно представить в следующей иерархии:

1. Кристаллический уровень. Предел – использование толщины одного слоя кристаллической решетки.
2. Атомный уровень. Предел – использование толщины слоев электронных облаков в атоме.
3. Нейтронный уровень. Предел – использование толщины слоев в структуре нейтрона.
4. Планковский уровень. Предел – использование толщины слоев квантовых переходов.

Поскольку с выделением предельно возможного слоя в рамках материальной Вселенной первая поставленная задача решена, остается определить параметры этого слоя. При этом учитывали, что у всех предстоящих планковской сфере объектов микромира соблюдается единство свойств волн и частиц, что позволяет предположить в ней существование как поля, так и вещества. Найденные в работе [1] волновые характеристики этого слоя как поля, позволяют связать его с гравитационным полем, имеющим следующие параметры:

$$1. \text{ Период колебаний } T = t_p = \sqrt[3]{\hbar G/c^5} = 5,39056 \cdot 10^{-44} \text{ с}, \quad (12)$$

$$2. \text{ Частоту } \nu = T^{-1} = 1/t_p = 1/5,39056 \cdot 10^{-44} \text{ (с)} = 0,1855095 \cdot 10^{44} \text{ Гц}. \quad (13)$$

$$3. \text{ Амплитуду колебаний } A = l_p = \sqrt[3]{\hbar G/c^3} = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ м}. \quad (14)$$

$$4. \text{ Длину несущей волны } \lambda_r = c/\nu = 0,299792 \cdot 10^9 \text{ (м/с)} / 0,1855095 \cdot 10^{44} \text{ (Гц)} = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ (м)}. \quad (15)$$

Достоверность найденных параметров подтверждается на планковском уровне зависимостью (16), вытекающей из волнового закона де Бройля [3]:

$$\lambda = \hbar/m_p c = 1,05457266 \cdot 10^{-34} \text{ (Дж} \cdot \text{с)} / (2,17671 \cdot 10^{-8} \text{ (кг)} \cdot 0,299792 \cdot 10^9 \text{ (м/с)}) = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ (м)}, \quad (16)$$

Следует учесть, что гравитационное поле обладает уникальными свойствами – одновременно проявляется во всех точках Вселенной, что ведет к возможности достижения в нем чрезвычайно больших скоростей. При этом выявление их в предлагаемой сфере может быть подтверждением сделанного вывода о ее гравитационном характере. Рассмотрим такую возможность. С этой целью представим фронт распространения данного поля подобным фронту света, исходящего из точки, расположенной в центре Вселенной (т.к. на планковском уровне гравитационное и электромагнитное поля едины). Тогда по законам распространения фронта волн света из точки, сформируется телесный угол радиуса R по ходу фронта и $2R$ в сфере, охватывающей его поперек. В этом случае относительно осевой точки сферы образуется полуволна L , длина которой равна радиусу Вселенной $R = 1,61605 \cdot 10^{26}$ м (8), зависящему от порядкового номера n слоя сферы:

$$L = R = l_p n = 1,61605 \cdot 10^{-35} \cdot 10 \cdot 10^{60} = 1,61605 \cdot 10^{26} \text{ м}. \quad (17)$$

При этом скорость распространения такой волны составит величину:

$$v_L = L \nu = 1,61605 \cdot 10^{26} \text{ (м)} \cdot 0,1855095 \cdot 10^{44} \text{ (Гц)} = 0,2997924 \cdot 10^{70} \text{ (м/с)}, \quad (18)$$

что не противоречит принципам физики сверхдлинных волн.

Другое подтверждение возможности получения такой скорости получено на квантовом уровне. Поскольку планковская сфера является веществом (частицами), для них возможна аналогия с маятником Ньютона (у которого колеблющиеся на нитях шары-корпускулы отдельных маятников прилегают друг к другу, что позволяет передать импульс от крайнего шара через все промежуточные шары другому крайнему шару). При этом, в космическом вакууме Вселенной трения нет и ограничение скорости передачи импульса связано лишь с массой шариков-квантов, как меры инертности тела, и при достаточно малой их массе эти ограничения снижаются. Массу m , шарика-кванта материи, имеющего диаметр $l_p = 1,61605 \cdot 10^{-35}$ м, можно определить, т.к. в планковском слое сферы радиуса R , существует однозначная связь между величиной поверхности этой сферы и количеством N планковских точек-шаров, вмещающихся на ней, которое для конической модели фронта движения волн, оценивается зависимостью:

$$N = 1 + 6 + 12 + \dots + 6n = 1 + 3(1 + n)n = 3n^2 + 3n + 1 \approx 3n^2, \quad (19)$$

где n – порядковый номер планковских слоев движения фронта.

Для сферы радиуса R , имеющей $n = 10 \cdot 10^{60}$ слоев, каждый массой (2), получим массу кванта материи m_γ , распределенную в N квантовых точках:

$$m_\gamma = m_p / N \approx m_p / 3n^2 = 2,17671 \cdot 10^{-8} (\text{кг}) / (3 \cdot 100 \cdot 10^{120}) = 72,557 \cdot 10^{-132} (\text{кг}). \quad (20)$$

Определение массы кванта материи позволяет представить его как гравитон (новое открытие, представленное в данной работе). Дальнейшие подтверждения параметров гравитационного поля связаны с законом сохранения энергии и законами образования и распространения волн. Поскольку на планковском уровне поле и частицы едины, то учитывая массу m_γ , можно определить кинетическую энергию E_L , необходимую для сдвига данной квантовой точки материи со скоростью v_L бегущей волны (т.к. в маятнике Ньютона достаточно сдвинуть только один шар): $E_L = m_\gamma v_L^2 / 2 = 72,557 \cdot 10^{-132} (\text{кг}) \cdot (0,299792 \cdot 10^{70} (\text{м/с}))^2 / 2 = 0,32606 \cdot 10^9 (\text{Дж})$, (21) что составляет 1/6 часть энергии E_p , которой обладает каждая планковская сфера Вселенной, для полной энергии, определенной по закону Эйнштейна:

$$E_p = m_p c^2 = 2,17671 \cdot 10^{-8} (\text{кг}) \cdot (0,299792 \cdot 10^9 (\text{м/с}))^2 / 2 = 1,956329 \cdot 10^9 (\text{Дж}). \quad (22)$$

Эти параметры обеспечивают выполнение закона сохранения энергии, так как импульс на планковской сфере формируется центральной квантовой точкой, которая делится на 6 прилегающих к ней квантовых точек (19). В системе распространения фронта хорошо согласуется увеличение скорости v_L с ростом радиуса R , т.к. адекватно ему уменьшается масса m_γ квантовых точек на расширяющейся сфере того же радиуса, что ведет к постоянству величин энергии в каждом планковском слое. Кроме того, все эти параметры согласуются с характеристиками плоских волн де Бройля [4]. В частности – с длиной волны (23), если считать, что в направлении распространения такой волны задействованы импульсы 6-и квантовых точек, сформированных в первом кольце, а ее длина, в пределах сферы, составляет только половину ($L = 1/2 \lambda$), а также с частотой (24), где \hbar – постоянная Планка, p – импульс ($p = m v_L$), E_p – энергия планковского слоя (22):

$$1/2 \lambda = \hbar / (6p) = 2 \cdot 1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) / (6 \cdot 72,557 \cdot 10^{-132} (\text{кг}) \cdot 0,299792 \cdot 10^{70} (\text{м/с})) = 1,61605 \cdot 10^{26} \text{ м}. \quad (23)$$

$$\nu = E / \hbar = 1,956329 \cdot 10^9 (\text{Дж}) / 1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) = 0,1855092 \cdot 10^{44} (\text{с}^{-1}). \quad (24)$$

Таким образом, очень малая масса каждой квантовой точки планковской сферы или гравитона (20), в сочетании с передачей движения импульсом только первых 6-и квантовых точек-корпускул в маятнике Ньютона (21), устраняют все противоречия с Теорией относительности, ограничивающей достижение всех скоростей пределом скорости света, что связано с величиной движущейся массы и затратами энергии на ее перемещение. Между всеми параметрами, подтверждающими характеристики гравитационного поля (12-24) выявлено полное соответствие. При этом исходные (1-6) и найденные параметры (12-24) дают достаточно полную характеристику этого поля и соответствуют другим имеющимся о нем реальным сведениям, что позволяет считать их достоверными открытиями. На основании приведенных данных можно сделать вывод, что предельно возможные для ПК слои имеют в рамках реальной Вселенной планковский уровень $l_p = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ м}$ и поддерживаются гравитационным полем, в виде сфер радиуса $R \approx 1,61605 \cdot 10^{26} \text{ м}$, охватывающих все пространство Вселенной и включающих $\approx 300 \cdot 10^{120}$ квантовых точек на сфере крайнего радиуса. В пределах гравитационного поля возможно достижение частоты $\nu = 0,1855092 \cdot 10^{44} \text{ Гц}$, которая может быть тактовой в ПК, и скорости передачи импульса от точки к точке до $v_L = 0,2997924 \cdot 10^{70} \text{ м/с}$, которая может быть предельно возможной в ПК. При этом даже электрон, имеющий классический радиус $r_e = 2,817941 \cdot 10^{-15} \text{ м}$, будет охватывать $1,743721 \cdot 10^{20}$ планковских слоев, что соизмеримо с памятью сети из всех ныне имеющихся ПК на планете. Однако единство планковской сферы в рамках создающего ее гравитационного поля, подтверждаемое единством массы (1, 10) и волновых параметров (12 - 20), указывает на возможность использования всего количества составляющих сферу квантовых точек, как носителей хотя бы 1 бита информации, что во много раз превышает даже эти возможности. Кроме того, на базе принципа двойственности 0 и ∞ [4] и практической бесконечности поперечных скоростей в планковском слое ($0,299792 \cdot 10^{70} \text{ м/с}$), выход к указанному диапазону частот в любой точке Вселенной ведет к охвату информации всего слоя, что делает ее полностью доступной. Для Вселенной, имеющей в рамках ее наблюдаемых размеров $\approx 10 \cdot 10^{60}$ планковских слоев, общий объем заполняющих все ее пространство квантовых точек-носителей хотя бы 1 бита информации, составит: $N_o \approx 3 \cdot 100 \cdot 10^{120} \cdot 10 \cdot 10^{60} \approx 3 \cdot 10^{183}$ (точек). (25)

Поскольку создание большего компьютера, чем Вселенная невозможно, найденные параметры быстродействия (18) и памяти (25) определяют их предельные возможности. Совокупность полученных данных позволяет заключить, что для ПК будущих поколений необходим выход к рабочему диапазону планковского уровня толщин слоев и таковых частот, которые имеет гравитационное поле. В рамках Вселенной эти слои и поля определяют предельные возможности ПК.

Литература

1. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Быстродействие и память персональных компьютеров, предельные возможности // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов VIII междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. Т2. – Донецк: ДонГТУ, 2001. - с. 47-54.
2. Бор О., Моттelson Б. Структура атомного ядра. Т.1. – М.: Мир. 1971. - 456 с.
3. Политехнический словарь /Ред. кол.: А.Ю.Ишлинский (гл. ред.) и др. –3-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. - с. 92, 551, 638.
4. Настасенко В.А. Двойственность вариантов конструирования как один из критериев оптимизации // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов VI междунар. науч.-техн. конф. в г.Севастополе. – Донецк: ДонГТУ, Т.2. 1999. - с. 193-196.

УДК 621.3.049.77.002.76
**СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ
ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ И ДАТЧИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ПОВЫШЕННОЙ
НАДЕЖНОСТИ**

Замирец Н.В., докт. техн. наук, Котух В.Г., канд. техн. наук, Нестерцова С.А.
(г. Харьков, Украина)

Designed of technology of potting of housings of blocks and specialized equipment have allowed to lower complexity of potting in 1,2 - 1,5 times, to provide high stable quality of welds on articles from a titanium and his alloys, to mechanize process of potting of housings.

В системах управления механизмов существующих и перспективных мобильных машин, работающих в сложных климатических условиях, в частности на нефтегазовых промыслах при разработке шельфа, на вредном химическом производстве и т.д. широкое применение находит бескорпусная элементная база. Для ее защиты от воздействия агрессивных сред и обеспечения надежной работы конструктивных элементов производится операция герметизации корпусов радиоэлектронной и датчиковой аппаратуры (РЭА и ДА) с их заполнением защитными газами или их смесями.

Требования к составу защитной газовой среды имеют жесткие ограничения по составу компонентов и влажности. Существующая технология и оборудование для герметизации корпусов РЭА и ДА не позволяют обеспечить и проконтролировать с требуемой точностью состав газовой среды в корпусах в момент их герметизации. При этом одной из основных причин снижения надежности конструктивных элементов РЭА и ДА является наличие влаги внутри загерметизированного корпуса (гарантированный уровень влажности подкорпусной газовой среды с точкой росы 4°C, что значительно превышает температуру эксплуатации). В процессе эксплуатации аппаратуры внутри корпуса может конденсироваться влага, что приводит к отказу бескорпусных активных элементов [1].

Для решения задач повышения надежности выпускаемой РЭА и ДА для систем управления существующих и перспективных машин, применяемых в нефтегазовой и химической промышленности, необходимо разработать и внедрить в производство технологию и средства технологического оснащения (СТО) для герметизации корпусов РЭА и ДА, обеспечивающих заданный состав защитной газовой среды во внутреннем объеме корпуса, высокогерметичные сварные соединения узлов и деталей, надежный контроль герметичности с требуемой точностью. После изготовления корпусов блоков РЭА и ДА дальнейшее обеспечение их герметичности осуществляется герметизацией узлов: «корпус – крышка»; «корпус – электрический соединитель»; «корпус – заглушка (узел откачки-заполнения)» [2].

В ГП НИТИП в качестве конструктивно-технологического решения (КТР) узел герметизации «корпус – крышка» принят по типу накладной крышки. Герметизация его осуществляется лазерной сваркой в защитной газовой среде [3]. Достоинством принятого КТР является возможность обеспечения необходимого минимального зазора по периметру крышки с корпусом посредством простого прижима. Высота кромок определяется числом предусматриваемых вскрытий крышки фрезерованием. При глубине проплавления 0,3-0,4 мм для ремонтного вскрытия корпуса требуется сфрезеровать крышку по периметру на глубину 0,6 мм.

Тип соединения «корпус-электрический соединитель» и «корпус-заглушка узла откачки-заполнения» – торцевое с отбортовкой кромок. Такое соединение предназначено для герметизации при помощи устройства для сварки кольцевых швов в среде защитного газа. Диаметр стыка соединения «корпус-электрический соединитель» выбирается в зависимости от диаметра посадочных кромок существующих и вновь разрабатываемых электрических соединителей.

Предложенные КТР узлов герметизации корпусов блоков РЭА и ДА применяется при разработке корпусных изделий габаритами до 200×170×50 мм согласно разработанным унифицированным технологиям, в т.ч.: технологии изготовления корпусов блоков из титановых сплавов методом высокотемпературной пайки; технологии лазерной герметизации корпусов; технологии герметичной установки электрических соединителей лазерной сваркой; технологии герметизации узла откачки-заполнения; технологии контроля герметичности корпусов.

Для обеспечения разработанных технологий в ГП НИТИП было разработано специализированное оснащение для герметизации и контроля герметичности корпусов, блоков РЭА и ДА.

Оснащение для лазерной герметизации корпусов блоков предназначено для герметичной сварки линейных швов «корпус-электрический соединитель» и «корпус-откачной узел» в среде защитных газов.

Оборудование смонтировано на базе лазерной сварочной установки «Квант» и обеспечивает герметичную лазерную сварку линейных швов корпусных изделий с габаритными размерами до 200×170×50 мм, герметичную лазерную сварку кольцевых швов диаметром от 4 до 40 мм, приготовление и подачу Ar-Ge смеси заданного состава и давления (85+5%)-Ar, Ge- остальное, герметичность швов (2...5) · 10⁻⁵ л·мкм рт. ст./с, скорость сварки 50...150 мм/мин.

В состав оборудования (рис.1) входят:

- устройство для сварки кольцевых швов;
- предметный трехкоординатный стол для перемещения свариваемых изделий: сварочная камера с приспособлением для сборки и фиксации изделий;
- блоки подготовки защитной газовой среды для заполнения сварочной камеры;
- пульт управления.

Предметный стол с установленной на нем сварочной камерой размещен на столе установки «Квант», устройство для сварки кольцевых швов установлено на оптико-механическом блоке и оптически связано с системой оптической комбинированной этой установки, обеспечивающей формирование лазерного излучения и визуальное наблюдение за процессом сварки.

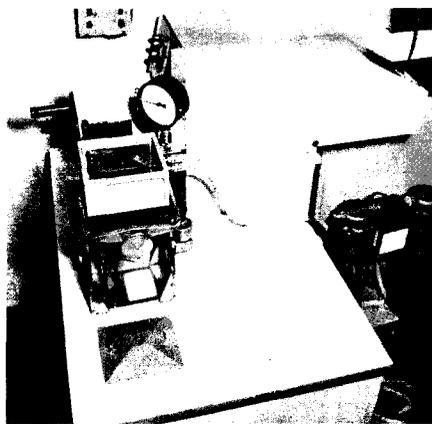


Рис. 1. Оборудование для лазерной герметизации корпусов РЭА и ДА.

Опытный образец оборудования изготовлен на опытном производстве ГП НИТИП.

Оборудование позволяет механизировать процесс герметизации корпусов, снизить трудоемкость герметизации в 1,2–1,5 раза, обеспечить высокое и стабильное качество сварных швов на изделиях из титана и его сплавов с герметичностью $(2...5) \cdot 10^{-5}$ л-мкм рт. ст./с.

Испытания опытного образца оснащения для лазерной герметизации корпусов и кольцевых швов подтвердили правильность выбранных конструкторско-технологических решений.

Оснащение для контроля представляет собой автоматизированный стенд, предназначенный для испытаний на герметичность корпусных деталей, их комплектующих и герметизированных корпусов блоков на всех стадиях их изготовления (рис. 2).

Стенд обеспечивает контроль герметичности по ОСТ 92-9555-82 и методами гелиевой камеры, вакуумирования (вакуумной камеры), вакуумной присоски, обдува струей контрольного газа и методом щупа не замкнутых изделий и объектов, допускающих откачку внутренней полости, а также герметизируемых корпусов, содержащих контрольный газ (Ge) во внутреннем объеме.

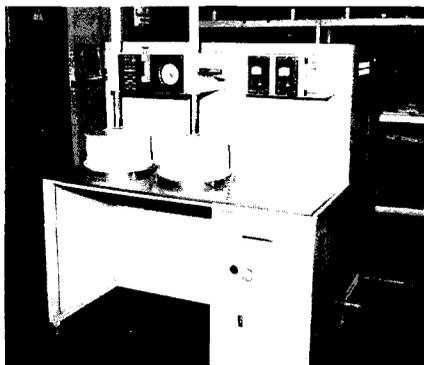


Рис. 2. Автоматизированный стенд контроля герметичности корпусов РЭА и ДА.

Автоматизированный стенд предназначен для совместной работы с течеискателем ПТИ-10. На стенде обеспечен контроль герметичности корпусных изделий с максимальными габаритами 270×190×150 мм.

В состав стенда входит станина в виде стола, на котором смонтированы все узлы и системы стенда, вакуумная система с насосами, ловушкой, блоком клапанов и двумя камерами (вакуумной и гелиевой), система управления, система подачи гелия.

Камеры, вакуумная и гелиевая, образуются подъемными клапанами с уплотнителями. В камерах размещаются проверяемые объекты, а вакуумная система стенда подключена ко входному фланцу течеискателя. Система управления в автоматическом режиме обеспечивает подготовку вакуумной системы стенда к работе в любом из заданных режимов измерения: вакуумная камера, гелиевая камера, обдув. Стенд обеспечивает совмещение всех операций контроля герметичности блоков на всех стадиях их

изготовления на одном рабочем месте, сокращение трудоемкости поэтапного контроля герметичности на 15–20%, надежность и достоверность контроля герметичности. Опытный образец стенда был испытан в условиях лабораторной базы ГП НИТИП. Проведенные испытания опытного образца подтвердили правильность выбранных конструкторско-технологических решений. РЭА и ДА в таком исполнении, способна сохранять работоспособность при значительных перепадах давления (от 10^{-3} до 10^6 Па), устойчива к воздействию радиации и влаги.

Литература

1. Котух В.Г. Автоматизированный комплекс лазерной герметизации микросборок //Технология приборостроения. –1998 - №1 с.11-14.
2. Технологическая концепция лазерной герметизации радиоэлектронных модулей в корпусах из алюминиевых сплавов /Замирец Н.В., Котух В.Г., Шур В.А.Алтухова Т.Л.//Технология приборостроения, 1996, №1, с.54-57
3. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справ./ Н.Н. Ракалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985.496 с.

УДК 681.325

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОБЛОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОДОВ

Какурин Н.Я., Голян В.В.

(г. Харьков, Украина)

The possibilities of the subsystem CAD FE LION for evaluation of hardware of the codes` convertors based on a counters and functioning by the methode of accumulating of an equivalentents are considered. The quantity of digits, blocks and calculation system bases are given before incicalition of a programm.

Основой развития современной науки, техники и в целом общества является бурное развитие электронной вычислительной техники, широко используемой во всех областях научной, производственной и хозяйственной деятельности. Сегодня трудно себе представить деятельность человека без ЭВМ. Появившись около 50 лет назад, ЭВМ открыли новую страницу в истории человеческих знаний и возможностей, высвободила тысячи вычислителей, значительно облегчили труд ученых, дали возможность изучить сложнейшие процессы. Сейчас нет ни одной отрасли народного хозяйства, где нельзя было бы применить ЭВМ; более того, целые разделы науки и техники не смогут существовать без них.

Широкое применение вычислительная техника получила в аппаратуре средств автоматизации и в системах автоматизированного проектирования. Автоматические и автоматизированные системы управления осуществляют сбор, хранение, передачу и переработку информации, отражающей состояние регулируемых объектов. Информация выработанная системой, используется для оперативного воздействия на управляемый объект (процесс) с целью поддержания нужного состояния. Основу подобных систем управления составляют вычислительные машины. При разработке ЦВМ и других дискретных устройств важное значение имеет выбор систем счисления. В зависимости от назначения устройства и предъявляемых требований информация кодируется в них в различных системах счисления. В связи с применением разных систем счисления коды чисел необходимо преобразовывать из одной системы счисления в другие. Существует большое разнообразие способов и методов преобразования чисел. Одним из наиболее важных способов преобразования является аппаратный способ преобразования. Одной из важнейших областей применения преобразователей кодов (ПК) является их использование в устройствах ЭВМ. Известно, что более половины всех ЭВМ работает в двоичной системе счисления, но исходные данные и результаты решения задач должны быть представлены в форме, удобной для их восприятия.

По этой причине ПК двоичного кода в двоично-К-ичный и ПК двоично-К-ичного кода в двоичный код являются наиболее важными пунктами среди других структур ПК. ПК входят в состав мультиплексорных и селекторных каналов ЭВМ и обеспечивают на ряду с другими блоками выполнения необходимых преобразований кодов при их передачи из периферийного устройства в канал и обратно. ПК применяется также в системах числового программного управления станками.

Поэтому важной задачей является разработка средств автоматизированного проектирования таких преобразователей. Одной из трудоемких задач на этапе проектирования ПК по методу накопления эквивалентов является построение таблиц функционирования формирователей эквивалентов (ФЭ) для многоразрядных ПК.

Программа FE_LION, рассмотренная в этой работе, решает задачу разбиения многоразрядного ПК на заданное число параллельно функционирующих блоков (с небольшой разрядностью – 1..15), что дает возможность во много раз уменьшить аппаратные затраты и сократить сроки проектирования. Программа должна иметь не менее 500 операторов используемого языка программирования и работать со следующими входными параметрами:

Основание системы счисления	3..15;	Количество входных разрядов блока	1..15;
Количество входных разрядов преобразователя	1..80;	Количество шагов преобразования	1..20;
Количество блоков преобразователя	1..80;	Количество выходных разрядов	1..250;

(но не более значения основания счисления).

Программа должна выполнять следующие функции: рассчитывать затраты для первой и второй структур ФЭ; рассчитывать аппаратные затраты для одно-, двух-, трех- и четырехшаговых преобразователей кодов целых чисел с учетом младшего разряда и без учета младшего разряда; проверять корректность введенных исходных данных и их соответствие заданным параметрам ФЭ; суммировать количество единиц в столбцах таблицы функционирования ФЭ и составлять по ним функции выхода шифратора в базе Шеффера; определять и, по возможности, оптимизировать аппаратные затраты; результаты расчетов количества корпусов ИМС сводить в общую таблицу аппаратных затрат; записывать в текстовый файл result.txt таблицы преобразования, выражения для функций выходов шифратора и таблицы определения аппаратных затрат. В таблицах 1 и 2 представлены характеристики нескольких преобразователей и время формирования таких таблиц. Все примеры для двенадцатиричной системы исчисления, для целых чисел.

Как видим из результатов исследований, построение таких преобразователей кодов не то что не имеет смысла из-за огромных материальных и экономических затрат, а также из-за низкого быстродействия, но даже при нынешнем развитии микроэлектроники практически не реализуемы. При применении преобразователей кодов параллельного типа с последовательным использованием шагов преобразования с разрядностью в блоке до 6, а лучше до 4, затраты и экономические и материальные в тысячи раз меньше чем в преобразователях кодов последовательного типа с такими же характеристиками.

Таблица 1

Одношаговые преобразователи						
Ос н	Кол-во Входн Разр	Кол-во бло- ков	Время счета, мин.сек.	Всего ИМС	Размер файла re- sult.txt, байт	Размер файла RRR.txt, байт
5	60	60	0.05	60	212742	293
		30	0.05	118	180851	575
		20	0.06	323	169106	1139
		10	0.08	2258	277871	9035
		5	3.53	33898	8772940	577548
10	20	20	0.01	20	40945	147
		10	0.01	36	34121	283
		5	0.01	152	33503	1099
		3	0.01	749	81189	4363
		2	0.18	6148	610267	69644
15	15	15	0.01	15	28900	133
		10	0.01	23	26384	133
		5	0.01	58	26632	499
		3	0.01	228	31781	1963

Таблица 2

Двухшаговые преобразователи									
Основание вх. кода	Кол-во вх. разрядов	Кол-во блоков	Время счета, Мин.сек.		Всего ИМС		Размер файла result.txt		Размер файла RRR.txt, байт
			1 структура ФЭ	2 структура ФЭ	1 структура ФЭ	2 структура ФЭ	1 структура ФЭ	2 структура ФЭ	
5	60	60	0.09	0.09	118	1248	267113	304585	434
		30	0.10	0.09	437	805	242823	234816	998
		20	0.24	0.20	932	842	221220	203784	2126
		10	0.57	0.21	4485	2552	500455	382279	17918
		5	17.04	5.44	39287	34448	18342088	12462577	1154943
10	20	20	0.01	0.01	38	235	50748	57492	215
		10	0.02	0.01	103	168	45632	43765	487
		5	0.01	0.01	329	227	50073	42683	2119
		3	0.03	0.02	1508	817	160100	115237	8647
		2	0.23	0.12	12444	6322	1343539	866672	139208
15	15	15	0.01	0.01	29	164	30073	40703	194
		10	0.01	0.01	56	146	33639	35720	194
		5	0.01	0.01	155	131	31816	28855	926
		3	0.01	0.01	490	276	53313	41769	3854

Данная программа позволяет производить построение таблиц функционирования ФЭ и аппаратурных затрат для преобразователей кодов по методу накопления эквивалентов как многоблочного типа, так и для преобразователей одноблочного типа, поскольку преобразователи первого типа содержат в себе подмножество преобразователей второго типа.

УДК 621.313:62.192

ВНЕЗАПНЫЕ ОТКАЗЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ РАЗРЯДНОЙ ЦЕПИ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСОВ ТОКА

Петков А.А.

(г. Харьков, Украина)

This paper considers the technique which is used for the determination of a type of failure of the functional blocks of a discharge circuit in the current pulse generator. The ratios related to determination of a probability of the failure free operation in case of random failures have been given.

Разрядная цепь генераторов импульсов тока (ГИТ) с большой запасаемой энергией, включает в себя ряд функциональных блоков (ФБ): батарею накопительных конденсаторов, систему коммутации, блоки формирующих компонентов, систему энергопроводов, коллектор и нагрузку [1]. Практически все ФБ (за исключением нагрузки) обычно состоят из некоторого количества однотипных компонентов, которые соединяются между собой по схемам, представленным на рис. 1. При отказах отдельных компонентов, в зависимости от схемы их соединения, отказы ФБ могут иметь характер внезапных отказов, вызывающих прерывание процесса функционирования ГИТ, и постепенных отказов [2, 3, 4], вызывающих только изменение выходных параметров импульса тока. Взаимосвязь вида отказа отдельных компонентов, схемы их соединения и вида отказов ФБ приведены в табл. 1.

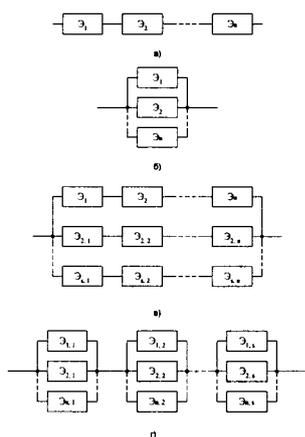


Рис. 1. Схемы соединения компонентов функциональных блоков разрядной цепи ГИТ. $\mathcal{E}_{i,j}$ – единичный компонент функционального блока.

выводами (оседание пыли на изолирующую поверхность, старение изоляции) и изменением внешних условий (например, повышение влажности).

В общем случае внезапные отказы функциональных блоков могут происходить по следующим причинам:

а) короткое замыкание компонентов при их параллельном соединении: данный вид отказа компонентов в основном связан с электрическим пробоем наружной изоляции между их выводами, а в высоковольтных конденсаторах и кабелях также с пробоем внутренней изоляции;

б) обрыв компонентов при их последовательном соединении: этот вид отказа имеет место при разрушении внутренней гальванической связи компонента и связан с термическим и электродинамическим воздействием протекающего импульса тока;

в) короткое замыкание между выводами функционального блока: данный вид отказа всегда связан с нарушением состояния изоляции между

Таблица 1.

Виды отказов функциональных блоков

Вид соединения по рис. 1	Вид отказа компонента	Вид отказа ФБ
а	КЗ	постепенный ¹⁾ / внезапный
	обрыв	внезапный
б	КЗ	внезапный
	обрыв	постепенный
в	КЗ	постепенный ¹⁾ / внезапный
	обрыв	постепенный
г	КЗ	постепенный ¹⁾ / внезапный
	обрыв	постепенный ¹⁾ / внезапный

Примечание. Данные варианты отказов можно считать постепенными при условии, что отказ единичного компонента не приводит к резкому изменению нагрузки на остальные компоненты и их лавинообразному отказу. В таблице и далее КЗ обозначает короткое замыкание.

Тогда вероятность безотказной работы функционального блока определится как

$$P_{бр} = (1 - P_{обр})(1 - P_{кз})(1 - P_{э}), \quad (1)$$

где $P_{бр}$ – вероятность безотказной работы функционального блока;

$P_{обр}$ – вероятность обрыва соединительных компонентов;

$P_{кз}$ – вероятность КЗ между выводами функционального блока;

$P_{э}$ – вероятность отказов компонентов, определяемая согласно табл. 2.

Вероятности безотказной работы компонентов (при внезапных отказах), используемые в соотношениях, приведенных в табл. 2, определяются по материалам нормативной документации на компоненты, справочной литературе [5], а в специфических режимах их использования по результатам исследований. Вероятности $P_{обр}$ и $P_{кз}$ определяются для конкретных исполнений ГИТ и внешних условий их эксплуатации.

Таблица 2.

Вид соединения по рис. 1	Характеристика отказа ФБ	$P_{э}$	Примечание
а	обрыв хотя бы в одном компоненте	$1 - q^{n_0}$	q - вероятность безобрывной работы компонента
б	КЗ хотя бы в одном компоненте	$1 - q^{n_0}$	q - вероятность работы компонента без КЗ
в	КЗ всех компонентов группы	p^k	p - вероятность КЗ в компоненте
г	обрыв всех компонентов группы	p^k	p - вероятность обрыва в компоненте

Таким образом, приведенные материалы позволяют определять вид отказов ФБ разрядной цепи ГИТ и вычислять вероятность безотказной работы ФБ по внезапным отказам.

Литература

1. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Дашук П.Н., Зайенц С.А., Комельков В.С. и др. / Под ред. В.С. Комелькова. - М.: Атомиздат, 1970. - 472 с.
2. Петков А.А. Числовые характеристики распределения выходных параметров конденсаторной батареи генератора импульсов тока // Электротехника. - 1991. - №5. - С. 53-55.
3. Петков А.А. Учет критериев надежности при выборе количества накопительных конденсаторов в высоковольтном импульсном устройстве // Электротехника. - 1992. - №8-9. - С.24-26.
4. Петков А.А. Расчет параметрической надежности генератора импульсов тока // Электротехника. - 1993. - №5. - С.69-71.
5. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. - М.: Сов. радио, 1975. - 472 с.

4. ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.012.32

ФОРМИ ПОГОДЖЕННЯ ІНТЕРЕСІВ АКЦІОНЕРІВ ТА ВИЩОГО КЕРІВНИЦТВА АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА

Гриньова В.М., докт. екон. наук
(м. Харків, Україна)

The forms of the coordination of concerns of the shareholders and maximum management of joint-stock company

Правила і норми взаємовідносин між акціонерами та вищим керівництвом акціонерного товариства є одним з головних факторів, що обумовлюють стабільність корпоративних відносин та ступень захисту інтересів їх учасників. Належне корпоративне управління має забезпечити високий ступінь погодженості прагнень власників та найманих ними вищих керівників, від чого великою мірою залежатиме можливість досягнення корпорацією задовільних фінансових результатів. Проте саме ці результати в однаковій мірі є джерелом задоволення інтересів акціонерів та вищих керівників акціонерного товариства, тобто можуть ставати приводом для виникнення корпоративних конфліктів.

Різномасштабність прагнень зазначених учасників корпоративних відносин та обмежені можливості для повного задоволення їхніх інтересів обумовлюють виникнення між ними численних протиріч економічного характеру. Необхідність урегулювання таких конфліктів, забезпечення сталого співробітництва учасників корпорації призводить до необхідності формування відповідних механізмів погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва акціонерного товариства. Найбільш розповсюдженими формами такого погодження є адміністративні (здійснення вибіркового контролю поточної діяльності вищих керівників або особисте втручання акціонерів до управління корпорацією) та економічні (удосконалення форм і систем оплати праці вищого керівництва, використання складних форм стимулювання, таких як участь персоналу у прибутках АТ, надання керівникам та іншим найманим працівникам акціонерного товариства часток в акціонерному капіталі, використання адміністративних опціонів тощо).

Більшість учених пояснюють економічну природу взаємовідносин акціонерів та найманих вищих керівників через дві основні концепції: сигнальну (інформаційну) та агентську. Обидві концепції виходять з передумови про відокремлення прав власності та функцій управління в корпорації. З цієї точки зору акціонери вважаються портфельними інвесторами, що вкладають кошти до капіталу корпорації в розрахунок на отримання в подальшому частки її прибутку у виді дивідендів. Поведінка акціонерів відрізняється від дій кредиторів відповідно до різниці у ризикованості вкладання фінансових ресурсів: необхідність повернення боргу та виплати за відсотками беззастережно визначається умовами кредитування, в той час як для акціонерів не існує надійних гарантій щодо отримання дивідендів та повернення вкладеного капіталу. Відповідно до існуючих моделей формування портфелю інвестицій акціонер для скорочення систематичного ризику буде зацікавлений у формуванні широко диверсифікованого інвестиційного портфелю цінних паперів багатьох корпорацій, тобто мотивація втручання інвестора до діяльності певного акціонерного товариства буде обмежуватися через рівень прибутковості вкладень у його акції. За умови прийнятності доходу акціонера у порівнянні з можливостями альтернативного використання коштів, акціонер взагалі не буде мати приводу втручатися до діяльності корпорації.

Економічні інтереси вищих керівників акціонерного товариства, навпаки, тісно пов'язано з існуванням певного АТ: доходи керівництва не є диверсифікованими; можливість кар'єрного росту (працевлаштування до іншої корпорації) обумовлено професійними успіхами та репутацією керівника на час роботи у цій корпорації; соціальний статус керівників великою мірою залежить від репутації акціонерного товариства та громадської думки про діяльність АТ і т.ін. Тому вище керівництво має бути значно більше за власників-акціонерів зацікавлено в довгостроковому економічному зростанні корпорації, що буде важливою причиною всебічного обмеження можливого волонтаристського впливу акціонерів на прийняття стратегічних та поточних управлінських рішень.

Розподіл повноважень щодо участі в управлінні корпорацією здійснюється на основі балансу між економічними інтересами акціонерів та спроможністю менеджерів забезпечити ці інтереси: акціонери не втручатимуться до поточного та навіть стратегічного управління за умови досягнення корпорацією прийнятних з їхньої точки зору фінансових результатів.

Проте такий підхід значно спрощує складні реальні взаємовідносини, що існують між акціонерами та вищими керівниками, оскільки при цьому не беруться до уваги наступні обставини:

- 1) учасники корпоративних відносин не завжди будуть діяти виходячи з суто економічних інтересів;
- 2) оцінка акціонерами прибутковості інвестицій у цінні папери певної корпорації не є повністю об'єктивною та не завжди матиме ґрунтовну базу для порівняння з альтернативними варіантами інвестування;
- 3) мотивація й моделі поведінки акціонерів та вищих керівників АТ не є стабільними та можуть швидко змінюватися з часом, при чому передбачення спрямування цих змін для інших учасників корпоративних відносин звичайно є неможливим;
- 4) акціонери та вищі керівники можуть обирати різні способи задоволення власних інтересів, при цьому

головною умовою для здійснення вибору найоптимальнішого варіанту поведінки буде наявність у певного учасника корпоративних відносин повної та достовірної інформації про наслідки того чи іншого варіанту дій;

- 5) корпоративні відносини (як будь-які інші економічні трансакції) супроводжуються трансакційними витратами: інформаційними (витрати на пошук та перевірку інформації про умови корпоративних трансакцій) та контрактними (витрати, які пов'язано із складанням та контролем виконання відповідних угод) та ін.

Інформаційна концепція виходить з передумови існування високого рівня невизначеності при прийнятті інвесторами (насамперед - потенційними акціонерами) інвестиційних рішень та необхідності скорочення цієї невизначеності в процесі корпоративних відносин. Інформація про стан та умови корпоративного співробітництва розподіляється за групами його учасників нерівномірно (асиметрично), при цьому обізнаність акціонерів про поточну діяльність корпорації великою мірою обмежується відомостями, які ним прямо надають вищі керівники. Для забезпечення переконання потенційних акціонерів ("принципалів") у надійності інвестицій у акції вищі керівники ("агенти") вимушені будуть обирати найбільш прийнятну для інвесторів стратегію розвитку корпорації, тобто прагнути до збільшення доходу "принципала". Основними сигналами про вибір такого роду стратегії є стабільне збільшення прибутків корпорації, зростання ринкової вартості акцій, обсягів діяльності та ін.

Достовірність сигналів вищих керівників буде забезпечуватися через укладання досконалих угод інвестування та можливість періодичного перегляду умов цих угод з боку принципала. Добросовісне виконання вищими керівниками - агентами - угод з наявними принципалами сприятимуть укладанню нових угод з потенційними інвесторами, в іншому випадку корпорація зовсім не буде отримувати зовнішнього фінансування, необхідного для досягнення внутрішньоорганізаційних цілей найманого персоналу. Саме на такій основі буде здійснюватися погодження інтересів акціонерів та вищих керівників АТ, а корпоративні конфлікти майже не будуть виникати через відсутність конфлікту інтересів.

Інформаційна концепція ґрунтується на ствердженні про довершеність угод між акціонерами та найманими керівниками, а також про повну добросовісність поведінки цих учасників при виконанні укладених угод. Проте в реальності це ствердження спростовується через неможливість складання повністю доведеного та однозначного контракту між принципалом та агентом. З іншого боку, навіть за подолання зазначених обмежень майже неможливим є складання угоди, за яку агент повною мірою відповідав би за наслідки власних вчинків (так званого "повного контракту"). Причинами неповноти угоди між принципалом та агентом є також цілком можлива неохочність агенту до зайвого ризику та існування значних витрат на укладання контракту або агентських витрат.

Агентські витрати - витрати на забезпечення прав та інтересів акціонерів, кредиторів і вищого керівництва корпорації, які можуть бути ущемлені в разі виникнення будь-якого конфлікту між цими учасниками корпоративних відносин. Агентські витрати розділяються на прямі (витрати на укладання формальних і неформальних угод, на контроль принципала за виконанням цих угод, на демонстрацію агентом готовності та здатності надалі виконувати умови контракту) і непрямі (обсяги доходу, який було втрачено через недосконалість процедур контролю принципала за діями вищого керівництва). Причинами недосконалості акціонерного контролю та виникнення непрямих витрат є потенційна можливість перевищення рівня розходів на впровадження системи ретельного контролю над корисним ефектом від нього.

Існування агентських витрат вирішальною мірою пов'язано з забезпеченням збереження акціонерного капіталу та стабільного зростання вартості корпорації. За умов наявності значного рівня невизначеності при прийнятті стратегічних рішень у цій сфері, рівень агентських витрат на передбачення можливих варіантів розвитку подій, укладання відповідних складних угод та контроль дотримання їхніх умов буде занадто високим. В цьому випадку для принципала набагато вигідніше буде хоч би частково прямо контролювати дії агенту - вищого керівництва, тобто особисто втручатися в управління діяльністю корпорації.

Таким чином, вибір форми погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва акціонерного товариства залежатиме від двох основних груп факторів:

- 1) рівень конкуренції на товарних, фінансовому ринках та на ринку праці;
- 2) співвідношення між потенційними агентськими витратами, потенційними витратами на здійснення безпосереднього втручання інвесторів в управління корпорацією та можливими збитками акціонерів від ущемлення їхніх інтересів вищими керівниками корпорації.

Між цими групами факторів існує складна залежність: некомпетентні дії вищого керівництва на товарному ринку здатні призвести до скорочення котирувань акцій на фінансовому ринку, та, як наслідок, до збитків акціонерів та примусового звільнення керівників. Так само зайві обмеження з боку акціонерів щодо самостійності керівництва АТ при прийнятті управлінських рішень можуть стати причиною зниження конкурентоспроможності корпорації, зменшення акціонерного капіталу та ін.

Складність взаємовідносин між акціонерами та найманими вищими керівниками акціонерного товариства є причиною формування відповідно складних форм погодження інтересів цих груп учасників корпоративних відносин, найбільш доведеною з яких стало використання адміністративних опціонів для оплати праці вищого керівництва корпорації.

Адміністративні опціони є засобом заохочення та додаткового винагородження керівників корпорації, за який найманий працівник має право викупити певну кількість її акцій за фіксованою ціною за певний проміжок

часу. На відміну від інших опціонів (варантів і ринкових опціонів) адміністративний опціон найчастіше не може бути об'єктом купівлі-продажу, тобто власник такого опціону матиме тільки дві можливості: або скористатися правом викупу або нехтувати ім. В подальшому за умови, якщо заздалегідь встановлена ціна викупу буде нижчою за сучасні ринкові котировання акцій, покупець може використати опціон та перепродати отримані акції на відкритому ринку. Використання адміністративного опціону (викуп акцій) веде до емісії нових акцій акціонерного товариства та отримання власником опціону приватного доходу від їхнього продажу. Звичайно використання адміністративних опціонів для додаткового заохочення найманих вищих керівників та персоналу корпорації ніякою мірою не може призводити до обмеження їхньої основної заробітної плати.

За умови використання опціонної форми мотивації вищих керівників метою їхньої діяльності буде ставати підвищення ринкової вартості акцій корпорації, тобто збільшення ринкової капіталізації та збагачення акціонерів. Такий спосіб стимулювання найманих працівників є більш дійовим за просте приділення них акціями корпорації, оскільки дає змогу створити більш тривалу (термін дії опціону) та надійну (до настання певного моменту власник опціону не зможе ним скористуватися) гарантію повного погодження інтересів вищого керівництва та акціонерів.

Використання опціонів дозволяє уникнути багатьох агентських витрат через спрощення умов угоди між принципалом та агентом, що здійснюватиметься у такому випадку на основі компромісу. Принципал (акціонер) поступається часткою потенційних прибутків на користь вищих керівників та інших найманих працівників, від яких вирішальною мірою залежить отримання цих прибутків. В свою чергу, власники опціонів (як потенційні акціонери) без будь-якого примушення приймають на себе частку інвестиційного ризику, пов'язаного з діяльністю корпорації.

Проте навіть для такої досконалої форми погодження інтересів акціонерів та вищих керівників акціонерного товариства як використання адміністративних опціонів властивими є численні вади та недоліки, що суттєво утруднюють погодження інтересів учасників корпоративних відносин. Причиною труднощів, що існують у цій сфері, насамперед є високий рівень складності та невизначеності корпоративних відносин між акціонерами та найманими працівниками, особливо – вищим керівництвом корпорації. Вибір форм погодження інтересів учасників цих відносин (вирішення проблеми регулювання стосунків “принципала-агента”) вимагатиме всебічного ретельного урахування безлічі можливих варіантів та факторів, які надають впливу на задоволення прагнень акціонерів і вищих керівників корпорації.

Особливо гостро проблема існування інформаційних та агентських витрат в корпоративному управлінні постає в умовах трансформаційної економіки. Нестача чітко визначених та недвозначних правил регулювання корпоративних відносин призводить до зростання вартості трансакцій та, як наслідок, до збільшення асиметричності інформації, посилення протиріч між акціонерами та вищими керівниками АТ. Проявами таких протиріч стають різноманітні порушення інтересів учасників корпоративних відносин: нехтування правами міноритарних акціонерів, здійснення спроб недружнього поглинання через процедуру формального банкрутства, розкрадання майна АТ, безконтрольне використання акціонерного капіталу і т.ін.

Відсутність досконалих механізмів розв'язання корпоративних конфліктів неодмінно призводить до необхідності прямого втручання власників до управління товариством, що загалом стає причиною суттєво скорочення ефективності використання акціонерної форми організації колективного підприємництва, зменшення конкурентоспроможності вітчизняних корпорацій.

Означені проблеми не можуть повною мірою бути вирішені на рівні одного акціонерного товариства. Необхідною умовою створення та розвитку ефективних способів погодження інтересів акціонерів і вищих керівників є формування загальних рамкових умов корпоративних відносин, тобто інфраструктури корпоративного управління.

УДК 336.2 (477)

АЛЬТЕРНАТИВНЕ ОПОДАТКУВАННЯ В СИСТЕМІ ЗАСОБІВ ПОДАТКОВОГО СТИМУЛЮВАННЯ

Іванов Ю.Б., докт. екон. наук

(м. Харків, Україна)

The main idea of this article is to definite the place and features of alternative tax systems among the other means of promotional function of taxation realization. The advantages and lacks of alternative systems are under analysis.

Одним із головних завдань реформування податкової політики на цьому етапі повинна стати переорієнтація податкової системи із суто фіскальних цілей на стимулювання економічного зростання.

Принципово система засобів податкового стимулювання включає в себе три групи засобів стимулювання (рис. 1.), остання з яких поєднує в собі альтернативні системи оподаткування:

- спрощену систему оподаткування, обліку і звітності суб'єктів малого підприємництва;
- спеціальний торговий патент;
- фіксований сільськогосподарський податок;
- сплату прибуткового податку в фіксованому розмірі з придбанням патенту (виключно для фізичних осіб – суб'єктів підприємницької діяльності).

Перш за все, слід визначитися з термінологією. На думку автора, застосування термінів “спосіб оподаткування”, “метод оподаткування” або “режим оподаткування” не розкриває повністю специфіку цих явищ. Найбільш прийнятним уявляється застосування терміну “система оподаткування”, тому що їх не можна механічно звести лише до комплексу податкових пільг, а тим, що об’єднує їх, є спеціальний податок, який вводиться замість значного числа традиційних податків і зборів. Виходячи з того, що цей альтернативний податок заміщує в тому числі й такі системоутворюючі податки, як податок на прибуток підприємств, податок на додану вартість та прибутковий податок з громадян, внаслідок застосування будь-якого з перелічених чотирьох засобів змінюються взаємозв’язки між податками і зборами, структура податкових платежів, методи податкового обліку. А це означає зміну системи оподаткування.

Альтернативність наведених систем оподаткування обумовлена такими обставинами:

- по-перше, перехід на одну з цих систем оподаткування (за виключенням фіксованого сільськогосподарського податку, відносно якого це питання однозначно не врегульоване) обумовлюється лише рішенням платника, який обирає одну з існуючих альтернатив;
- по-друге, одна й та ж діяльність, здійснювана суб’єктом підприємництва, може оподатковуватися тільки за однією системою оподаткування: звичайною, або альтернативною;
- по-третє, кожна з цих систем є альтернативою звичайній системі оподаткування, тобто передбачає відповідний перелік податків та зборів, що є обов’язковими до сплати. При цьому вибір однієї з цих систем звільняє платника від сплати деяких податків та зборів, що передбачені загальною податковою системою.

Крім того, альтернативним системам оподаткування притаманна також “внутрішня” альтернативність [1]. Так, платники єдиного податку можуть самостійно прийняти рішення щодо доцільності реєстрації платниками ПДВ, платники фіксованого сільськогосподарського податку – відносно форми погашення податкових зобов’язань (у натурі чи коштами).

Альтернативні системи оподаткування, крім сприяння детінізації економіки, одночасно вирішують дві проблеми, які є надзвичайно актуальними для сучасного етапу розвитку економіки України.

Перша з них пов’язана з необхідністю реалізації стимулюючої функції оподаткування, зокрема стимулювання зростання обсягів діяльності та ефективного використання наявних ресурсів. Друга – це дерегуляція підприємницької діяльності, що суттєво знижує витрати держави на адміністрування податків і зборів і витрати платників на підготовку податкової звітності, а також зменшує ризик виникнення помилок та застосування штрафних санкцій. Цей аспект, поряд з зниженням податкового навантаження, в багатьох випадках є вирішальним для платника при прийнятті рішення про перехід на ту чи іншу альтернативну систему.

Тому застосування альтернативних систем оподаткування як на нинішньому етапі розвитку української економіки, так і в майбутньому є, на погляд автора, одним із найефективніших засобів реалізації стимулюючої функції податків.

Альтернативні системи оподаткування, як і будь-яке економічне явище, не є однозначно позитивним і з точки зору інтересів держави, і з точки зору інтересів юридичних осіб – платників єдиного податку. Вони мають як певні переваги порівняно зі звичайною системою, так і деякі недоліки, що необхідно враховувати при законодавчому їх коригуванні та при прийнятті платником рішення щодо їх застосування.

До основних переваг альтернативних систем оподаткування, (які, власне, й спричинили їх появу), з точки зору загальнодержавних інтересів, відносяться:

- структурні зміни у валовому доході на користь збільшення питомої ваги малого бізнесу за рахунок стимулювання розвитку тих, що вже діють, і створення нових суб’єктів підприємницької діяльності;
 - розвиток конкурентного середовища та демонополізація економіки;
 - стабілізація сільськогосподарського виробництва та покращення фінансового стану сільгосптоваровиробників
 - збільшення податкових платежів за рахунок розширення кола платників і бази оподаткування (ліквідація пільг з податків, що замінюються альтернативним податком);
 - виведення значної частини господарських операцій з тіньового сектора економіки за рахунок зниження податкового навантаження та спрощення адміністрування податків при застосуванні альтернативних систем;
 - зменшення обсягів заборгованості платників перед бюджетами та державними цільовими фондами;
 - спрощення адміністрування податків і зменшення відповідних витрат контролюючих органів внаслідок скорочення переліку податків і зборів (обов’язкових платежів), що сплачуються суб’єктами малого підприємництва, і зменшення кількості перевірок за окремими напрямками оподаткування;
 - зменшення обсягу бартерних операцій (для спрощеної системи оподаткування, обліку і звітності суб’єктів малого підприємництва), що сприяє оздоровленню фінансового клімату в країні;
 - покращання соціальної ситуації за рахунок забезпечення додаткових робочих місць та розвитку самозайнятості;
- сприяння формуванню середнього класу, що знижуватиме гостроту проблеми стратифікації суспільства за

рівнем доходів.

Зворотною стороною є недоліки, які мають альтернативні системи оподаткування з позицій інтересів держави:

певне зниження можливостей та ефективності податкового регулювання економіки за рахунок зменшення кількості податків а, відповідно, і об'єктів оподаткування;

ризик недоотримання податкових надходжень до бюджету при погіршенні загальноекономічної кон'юнктури у зв'язку зі зміною структури податкових платежів. Основний наголос при спрощеній системі оподаткування ставиться на виручку від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) за рахунок відмови від частини непрямих (ПДВ) і майнових (плата за землю) податків. За оцінками ДПАУ [198] за дев'ять місяців 2000 року надходження в державний бюджет від платників єдиного податку зменшилися порівняно зі звичайною системою оподаткування на 81,2 млн. грн., що зв'язано більшою мірою з відсутністю надходжень з ПДВ, який не сплачується платниками 10-процентного єдиного податку;

зменшення надходжень з такого "звичайного" джерела формування доходної

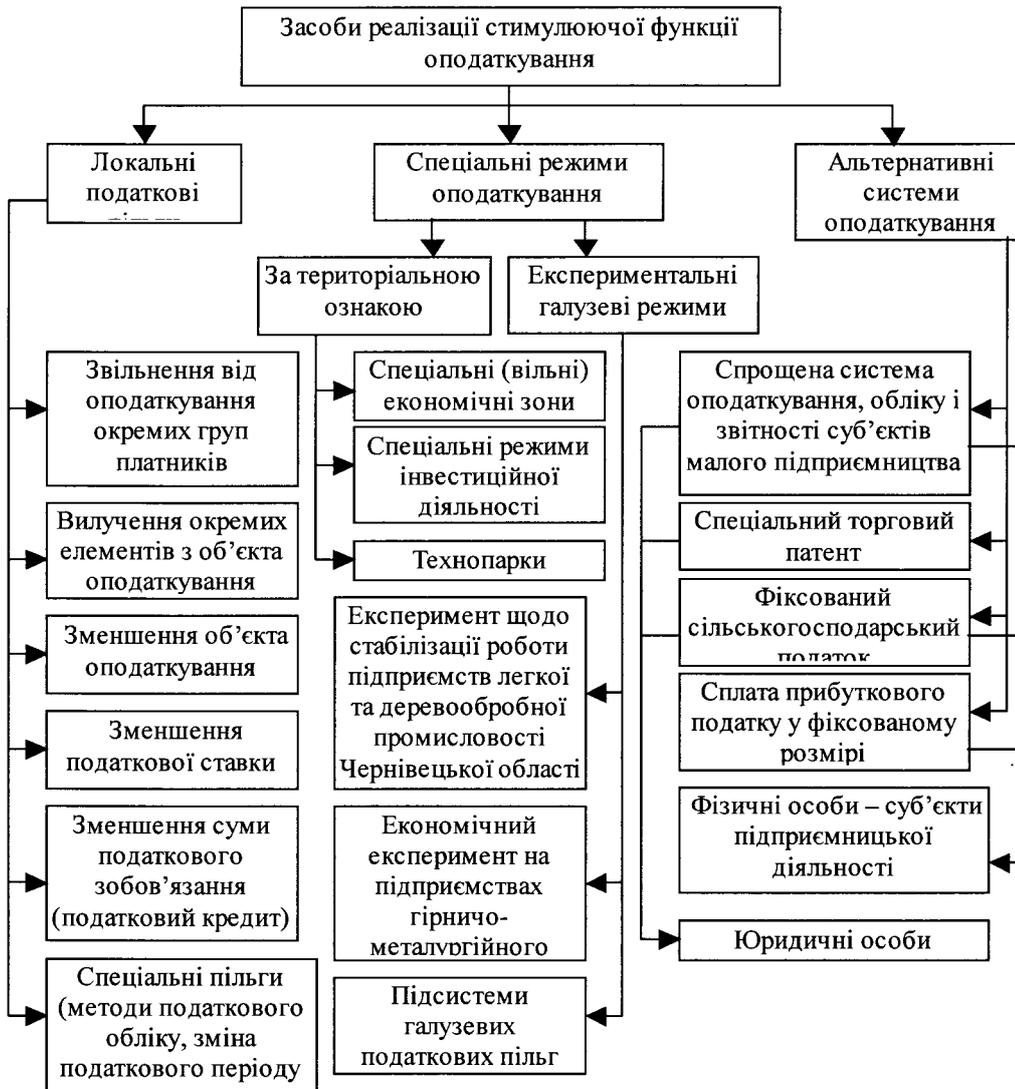


Рис. 1. Система засобів податкового стимулювання підприємницької діяльності.

частини бюджету, як штрафні санкції, внаслідок зменшення кількості перевірок і кількості податків, що сплачуються при звичайній системі оподаткування.

Основними перевагами альтернативних систем для платників податків є:

можливість самостійного й свідомого вибору однієї з альтернативних систем оподаткування, що збільшує ступінь їх свободи в обранні стратегії розвитку та в прийнятті господарських рішень;

зменшення податкових платежів;

скорочення форм податкової звітності та спрощення податкового обліку, що сприяє зниженню непродуктивних витрат часу;

зменшення ймовірності порушень податкового законодавства та застосування фінансових санкцій.

До негативних чинників, які можуть стримувати суб'єктів підприємницької діяльності від застосування альтернативних систем слід віднести такі:

наявність численних внутрішніх суперечностей нормативно-правової бази альтернативних систем та її неузгодженість з іншими законодавчими актами в сфері оподаткування, що призводить до наявності різних трактувань одних й тих же норм;

нечіткість визначення сфери застосування альтернативних систем оподаткування;

можливість (при наявності певних умов) збільшення податкових платежів порівняно зі звичайною системою оподаткування;

тимчасовий характер альтернативних систем, який не дозволяє реалізувати довгострокову стратегію підприємницької діяльності;

підвищена залежність суб'єкта підприємницької діяльності від органів місцевого самоврядування, повноваження яких відносно альтернативних податків значно більші, ніж їх повноваження щодо зміни тих податків і зборів, що перестають сплачуватися при зміні податкової системи;

відсутність законодавчого врегулювання деяких суттєвих аспектів застосування альтернативних систем, зокрема специфіки оподаткування в перехідних періодах.

Доцільність застосування тієї чи іншої альтернативної системи визначається балансом інтересів платників, регіону та держави.

Разом з тим кожна з альтернативних систем оподаткування потребує детального дослідження, оскільки має свої власні специфічні риси, які зумовлюють сферу її застосування, її переваги й недоліки як відносно звичайної системи оподаткування, так і порівняно з іншими альтернативними системами.

Література

1. Иванов Ю.Б. Проблемы современного этапа реформы налогообложения в Украине // Экономика промышленности. – 2001. – № 4. – С. 43-52.

УДК 332.38:658

ПРОБЛЕМИ ЗАЙНЯТОСТІ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ В ПЕРІОД РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Кривошапка Ю.М., канд. екон. наук

(м. Харків, Україна)

Problems of seizure of the population of Ukraine in the season of re-structuring of industrial firms.

В усіх країнах світу зайнятість у системі соціальних та економічних проблем посідає провідне місце і разом з показниками рівня життя виступає своєрідним індикатором соціальних процесів. І це не дивно, тому що, по-перше, зайнятість – це основне джерело доходу більшості людей; по-друге, вона дає можливість людині посісти певне місце у суспільстві; по-третє, стан зайнятості багато в чому визначає ефективність використання усіх інших ресурсів суспільства.

Для нинішнього етапу економічних перетворень в Україні проблема зайнятості набуває особливого значення. Це пов'язано з високим рівнем безробіття, зростанням його прихованої частини, зниженням життєвого рівня населення, погіршенням демографічної ситуації. Перехід до ринкових методів господарювання істотно змінив роль держави у регулюванні ринку праці та зайнятості населення. Сучасні процеси в економіці пов'язані з появою різних форм власності, що визвало реструктуризацією зайнятості, утворення нових сфер застосування праці і призводило до необхідності змін у структурі і функціях органів, які займаються регулюванням зайнятості.

Формування сучасного ринку праці в Україні неможливе без вивчення зарубіжного досвіду. Зараз нагальною життєвою проблемою є розробка ефективної моделі регулювання ринку праці, яка б враховувала умови і можливості вітчизняних підприємств і була соціально зорієнтованою. Населення України повинно мати гарантії зайнятості під час реструктуризації підприємств. Безперечною є необхідність проведення комплексу стратегічних і оперативних заходів щодо державного регулювання зайнятості населення, що враховуватимуть надання певних пільг промисловим підприємствам, які шляхом проведення активної економічної політики, сприяють задоволенню потреб працездатного населення при виборі виду діяльності.

Сьогодні в Україні умови, в яких організується зайнятість населення, законодавчо визначені, держава гарантує:

добровільність і не примусовість праці, що передбачає право самої людини вирішувати брати чи ні участь в суспільній праці. При цьому встановлено, що суспільно-корисною сферою діяльності, крім зайнятості в суспільному виробництві, є також виховання дітей, навчання, ведення домашнього господарства та інше. Позанормативною є лише зайнятість, яка пов'язана з незаконним джерелом отримання доходів;

свободу вибору місця і тривалості робочого часу самою людиною, тобто, можна брати участь у таких формах зайнятості, як постійна, часткова, тимчасова робота, сумісництво, гнучкі графіки організації роботи тощо;

необмеженість у праві вибору місця проживання та праці, що створює умови для реалізації людиною її економічної активності та трудової мобільності.

В Україні, як і в більшості інших країн, зайнятість регулюється в основному державою відповідно до прийнятої політики зайнятості, що базується на таких принципах:

забезпечення рівних можливостей усім громадянам, незалежно від походження, соціального і майнового стану, расової та національної належності, статі, віку, політичних та релігійних переконань, в реалізації права на вільний вибір виду діяльності відповідно до здібностей та професійної підготовки з урахуванням особистих інтересів і суспільних потреб;

сприяння забезпеченню ефективної зайнятості, запобіганню безробіттю, створенню нових робочих місць та умов для розвитку підприємництва;

координації діяльності у сфері зайнятості з іншими напрямками економічної і соціальної політики на основі державної та регіональної програм зайнятості;

співробітництва професійних спілок, асоціацій підприємств, власників підприємств та організацій або уповноважених ними органів у взаємодії з органами державного управління в розробці, реалізації та контролі за виконанням заходів щодо забезпечення зайнятості населення;

міжнародного співробітництва у вирішенні проблем зайнятості населення, включаючи працю громадян України за кордоном та іноземних громадян в Україні.

Механізм цілеспрямованого регулювання зайнятості, професійної підготовки і перекваліфікації працівників в країнах з розвинутою ринковою економікою сформувався більше трьох десятиліть тому. Багато країн проводять сьогодні гнучку політику в регулюванні зайнятості і прагнуть активно впливати на формування ринку праці. Перш за все держави здійснюють заходи щодо ліквідації диспропорцій між попитом і пропозицією на робочу силу через розвиток системи професійно-технічної освіти, регулювання галузевої і регіональної мобільності трудових ресурсів, а також через законодавчу і фінансову діяльність, спрямовану на обмеження безробіття і створення додаткових робочих місць.

Чимало вчених вважають, що "природною нормою" для країн із ринковою економікою є 5-7% рівень безробіття. В Україні рівень реального безробіття є близьким до 12,5%. Ускладнює ситуацію на ринку праці приховане безробіття, масштаби якого в Україні досить великі.

У системі соціально-економічних відносин ринок праці та зайнятість населення займають вторинне місце у відношенні до загальних економічних процесів, є похідними від тенденцій їх розвитку чи гальмування. З урахуванням цього повинна діяти відповідна законодавча база.

Перехід України до нових суспільно-економічних відносин зумовив необхідність реформування ринку праці. Процес сучасного формування та розвитку ринку праці відбувається в умовах адаптації його до економічної ситуації в Україні. Основною при цьому залишається проблема зростання пропонування за умови скорочення попиту. Відбуваються докорінні зрушення у використанні трудових ресурсів та розподілі їх за сферами застосування праці та формами власності виробничих організацій. Внаслідок неповної зайнятості та збільшення тривалості безробіття, посилюються процеси дискваліфікації промислових фахівців. У зв'язку з цим відбувається інтенсивний перерозподіл трудових ресурсів з легального сектора економіки в "тіньовий". Розширення зайнятості в "тіньовому" секторі економіки супроводжується інтенсифікацією праці, при низькій заробітній платі та порушеннях норм законодавства про працю.

Основними напрямками розв'язання проблеми зайнятості мають бути:

оцінка загальної потреби промислових підприємств та організацій в робочих місцях та формування ринку професій;

підвищення ефективності використання трудового потенціалу підприємств шляхом оптимізації чисельності працюючих та легалізації "прихованого безробіття";

передбачення у програмах реструктуризації галузей та окремих підприємств першочергових заходів щодо сприяння зайнятості населення;

запровадження механізму стимулювання створення робочих місць для окремих виробництв;

підвищення територіальної мобільності населення з метою перерозподілу робочої сили між працездатними та праценадлишковими регіонами;

розвиток системи безперервного професійного навчання з урахуванням потреб ринку праці.

Заходи у сфері зайнятості населення в Україні мають здійснюватися шляхом реалізації Програми структурної перебудови економіки, регіональних програм зайнятості населення та регулювання ринку праці, а також з урахуванням інвестиційних і приватизаційних програм, що дозволяють здійснення виваженої поетапної реструктуризації промислових підприємств.

УДК 658.012.32

ВИЗНАЧЕННЯ ПРАВ АКЦІОНЕРІВ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА

Попов О.Є., канд. екон. наук

(м. Харків, Україна)

Definitions of the rights of the shareholders of joint-stock company.

Питання визначення прав та обов'язків учасників корпоративних утворень (акціонерів, пайовиків) є одним з найбільш дискусійних та трудних в регулюванні корпоративних відносин. В цілому правові та економічні відносини між акціонерами, між акціонерами та акціонерним товариством мають суперечливий та неоднозначний характер.

Стосунки між акціонерами та акціонерним товариством носять цивільно-правовий характер, оскільки учасники цих стосунків є автономними та рівноправними суб'єктами цивільних правовідносин. При цьому загальною основою формування корпоративних відносин в акціонерному товаристві є установчий договір, який укладають засновники товариства. Тому між акціонерами у відкритому акціонерному товаристві існують певні відмінності – установчий договір укладатимуть засновники, а інші акціонери не будуть перебувати між собою в договірних відносинах.

Ще складнішою є правова основа відносин між АТ та акціонерами. З одного боку, товариство та його учасники є самостійними та рівноправними суб'єктами. З іншого – виникнення товариства обумовлено волею учасників, які прийматимуть найважливіші рішення щодо важливих питань діяльності товариства (через наявність відносин залежності). Крім того, товариство залежить не від волі певного акціонера, оскільки будь-які рішення формуються через колективне волевиявлення, тобто обумовлюватимуться “сукупною” волею усіх акціонерів. Водночас у відносинах акціонерів присутнім є принцип “підкорення меншини більшості”, а реалізація прав будь-якого з акціонерів певною мірою залежить від ефективної діяльності товариства загалом та належної поведінки його органів управління.

Права акціонерів в корпоративних відносинах більшою мірою витікають з прав власності, які виникають відповідно до внеску акціонерів до акціонерного капіталу товариства.

Загальне визначення права власності містить до себе наступні складові:

- право володіння, тобто виняткового контролю над об'єктом власності;
- право користування, тобто особистого використання об'єкту власності;
- право управління, тобто рішення щодо використання об'єкту власності;
- право на прибуток, тобто на блага, що виникають від користування об'єктом власності або від дозволу іншим особам користуватися ним (право привласнення);
- право на "капітальну вартість" об'єкту власності, до якого належать право на відчуження, споживання, зміну або знищення об'єкту власності;
- право на безпеку, тобто імунітет від експропріації;
- право на перехід об'єкту власності за спадщиною або за заповітом;
- безстроковий характер володіння об'єкту власності;
- заборона шкідливого використання, тобто обов'язок стримуватися від використання об'єкту власності шкідливим для інших способом;
- відповідальність у вигляді стягнення, тобто можливість відібрання об'єкту власності в сплату довга;
- залишковий характер, тобто очікування "природного" повернення переданих будь-кому прав на об'єкт власності (зі складу зазначених вище) після закінчення терміну передачі або у разі втрати нею сили з інших причин.

Решта прав акціонерів виникатиме у зв'язку з відносинами залежності та контролю, що відбуваються корпоративний характер участі акціонерів в акціонерному капіталі товариства та зумовлюють необхідність втручання акціонерів до справ товариства.

Основні права учасників господарського товариства визначено у Статті 10 Закону України “Про господарські товариства”. Учасники товариства користуються наступними правами:

- брати участь в управлінні справами товариства в порядку, визначеному в установчих документах, за винятком випадків, передбачених законодавством;
- брати участь у розподілі прибутку товариства та одержувати частку з нього (дивіденди); право на отримання частки прибутку (дивідендів) пропорційно частці кожного з учасників мають особи, які є учасниками товариства на початок строку виплати дивідендів;
- вийти в установленому порядку з товариства;
- одержувати інформацію про діяльність товариства - на вимогу учасника товариство зобов'язане надавати йому для ознайомлення річні баланси, звіти товариства про його діяльність, протоколи зборів.

В Законі також зазначається, що учасники господарського товариства можуть мати також інші права, передбачені законодавством та установчими документами. Таким чином, приведений перелік прав є неповним і неостаточним, права акціонерів можуть бути детально розкриті та розширені (у межах чинного законодавства) через внесення відповідних пропозицій до установчих документів товариства та локальних норм регулювання його діяльності.

Відповідно до Закону України “Про цінні папери та фондову біржу”, власник акції (акціонер) має також наступні права:

- право на частину прибутку акціонерного товариства тобто на дивіденди;
- право на участь в управлінні товариством (крім власників привілейованих акцій);
- інші права, передбачені законодавчими актами України, а також статутом акціонерного товариства.

Закон України “Про цінні папери та фондову біржу” також встановлює, що акція є неподільною. В разі, коли одна й та ж акція належить кільком особам, усі вони визнаються одним власником акції та можуть здійснювати власні права через одного з них або через спільного представника.

Додаткове забезпечення прав акціонерів на отримання інформації про діяльність акціонерного товариства встановлено також нормами Закону України “Про цінні папери та фондову біржу” та Закону України “Про аудиторську діяльність”.

Права акціонерів, які встановлено законодавством України, значною мірою вже відповідають світовим вимогам правового регулювання корпоративних відносин. Згідно Принципам корпоративного управління ОЕСР, до основних прав акціонерів належать такі:

- забезпечення надійних методів реєстрації власності;
- можливість передачі акцій;
- отримання частки у прибутках товариства;

регулярне та своєчасне отримання необхідної інформації про товариство;
участь та голосування на загальних зборах акціонерів;
участь у виборах спостережної ради.

Проте, за оцінкою фахівців Міжнародної фінансової корпорації, певна частка корпоративних прав, які витікають з зазначених вище, в недостатній мірі забезпечується у вітчизняному законодавстві. Особливо це зауваження стосується необхідності однакового та справедливого ставлення до прав та інтересів усіх акціонерів, прозорості процедур корпоративного контролю, наявності можливостей передачі корпоративного контролю. Такі норми не можна віднести до прямих корпоративних прав, але нехтування цими нормами може поставити під загрозу реалізацію прямих прав акціонерів.

Захист прав акціонерів може здійснюватися у судовому чи позасудовому порядку. Акціонери мають право звертатися до суду (арбітражного суду) з позовами за такими приводами:

про усунення перешкод в здійсненні прав (часто такі позови стосуються примушення органів господарсько-го товариства, інших осіб до здійснення дій, що необхідні для реалізації учасником належних йому прав);

про відновлення положення, що існувало до порушення права (включаючи скасування незаконно прийнятих рішень або визнання недійсними засновницьких документів або операцій, довершених суспільством);

про відшкодування збитку, заподіяного порушенням корпоративних прав.

Позови можуть подаватися до самого акціонерного товариства, інших учасників корпоративних відносин, третіх осіб, чії дії перешкоджають реалізації прав учасника або заподіяли збитків, що пов'язані із здійсненням учасниками належних ним корпоративних прав (частіше за все, це позови акціонерів до номінальних утримувачів акцій, реєстраторів, торгівців, представників та інших осіб).

Акціонери несуть також певні зобов'язання, склад яких поданий у Статті 11 Закону України "Про господарські товариства", а саме:

додержуватися установчих документів товариства і виконувати рішення загальних зборів та інших органів управління товариства;

виконувати свої зобов'язання перед товариством, в тому числі і пов'язані з майновою участю, а також вносити вклади (оплачувати акції) у розмірі, порядку та засобами, передбаченими установчими документами;

не розголошувати комерційну таємницю та конфіденційну інформацію про діяльність товариства;

нести інші обов'язки, якщо це передбачено законодавством України та установчими документами.

Крім цих зобов'язань, акціонери можуть приймати на себе додаткові обов'язки, наприклад у тому випадку, коли входитимуть до складу органів управління АТ, щодо збереження комерційної таємниці і т.ін.

Належний захист прав та забезпечення інтересів акціонерів є однією з найбільш складних проблем у корпоративних відносинах. Інтереси певних груп акціонерів (наприклад, власників) неминуче входитимуть до протиріччя з правами інших (міноритарних акціонерів), права акціонерів з інтересами товариства та ін. Тому захист прав акціонерів належить до центральних питань правового регулювання діяльності акціонерного товариства. Забезпечення прав акціонерів тільки через створення належних правових норм вимагатиме також формування відповідних дійових механізмів і структур судового захисту корпоративних прав. Іншим досить ефективним механізмом забезпечення інтересів акціонерів є представництво у органах управління товариства та здійснення контролю за діями керівництва.

Проте в правовому регулюванні слід також враховувати економічну та соціальну природу тих корпоративних відносин, які виникли та набули розвитку у вітчизняних акціонерних товариствах. Корпоративні відносини в Україні на цей час мають ряд особливостей, що можуть суттєво утруднювати практичне використання навіть цілком довершених правових норм врегулювання цих відносин.

По-перше, в більшості АТ виникнення корпоративних відносин було зумовлено не майновим чи грошовим внеском акціонерів до діяльності товариства, а виконанням державою певних обов'язків перед громадянами України щодо справедливого розподілу майна приватизованих підприємств. Тому частка, яку отримали громадяни - міноритарні власники - в акціонерних товариствах, аж ніяк не була пов'язана із значенням цих акціонерів, тобто їхнього внеску як власників, для корпоративних відносин. Проте впливовість акціонерів-аутсайдерів, які не приймали та не прийматимуть активної участі у діяльності товариства, з точки зору інсайдерів може здаватися сумнівною та в більшості випадків не стане переконливою підставою для перейняття корпоративного контролю (мова йде суто про психологічне сприйняття суспільством тих корпоративних відносин, що склалися на цей час). Для виправлення становища недостатньо тільки створення належних правових норм або навіть дійових механізмів їхнього дотримання, для цього усі (або більшість) учасники корпоративних відносин мають вважати права акціонерів справедливими та гідними захисту. Виникнення позитивного ставлення до прав акціонерів можливо лише за умови вторинного (третинного і т.ін.) переділу власності або формування відповідної культури корпоративних відносин. Останнє ствердження набуває особливого значення з точки зору подолання наслідків повного заперечення приватної власності за радянські часи. Тому вирішення проблеми забезпечення прав акціонерів не останньою мірою залежить від послідовності виконання та обґрунтованості усього корпоративного законодавства.

По-друге, нехтування правами відбувається не лише стосовно інтересів акціонерів, оскільки права інших учасників корпоративних відносин (насамперед - персоналу у сфері оплати та умов праці) також дуже слабо захищені. В умовах масового порушення інсайдерами прав учасників корпоративних відносин малоімовірно здається можливість окремого ефективного захисту інтересів акціонерів. Тому створення дійового правового

забезпечення корпоративних прав майже неможливе без формування відповідних механізмів захисту прав інших учасників корпоративних відносин від дискримінаційних дій інсайдерів або будь-яких інших осіб (в тому числі державних органів). Крім того, досягнення прийнятних результатів діяльності неможливе без поєднання зусиль усіх учасників корпоративних відносин. В разі переважання гарантій прав та інтересів акціонерів над правами інших учасників, корпоративні права навряд чи будуть належно забезпечені діяльністю товариства.

По-третє, можливості реальної участі міноритарних акціонерів в управлінні АТ більшою мірою залишаються обмеженими (через малі частки акціонерного капіталу, територіальне відокремлення товариства від його власників, через неможливість здійснення додаткових інвестицій та належного управління і т.ін.). Зовсім інакшим є становище акціонерів – власників досить великих пакетів акцій, які (через розмір належної ним частки власності АТ та наявність певних фінансових ресурсів), здатні претендувати на корпоративний контроль. З економічної точки зору, саме між цими групами – інсайдерів та претендентів на інсайдерський контроль – на цей час відбуваються “справжні” корпоративні відносини. Виправлення ситуації нехтування правами міноритарних акціонерів можливе лише за умови стрімкого збільшення заощаджень населення та приватних інвестицій, для чого у найближчі часи майже не має підстав.

Змагання щодо перейняття корпоративного контролю за такі умови відбуватиметься між власниками великих пакетів акцій та вищим керівництвом товариств, оскільки тільки ці групи здатні змінити економічне становище АТ. Тому регулювання корпоративних відносин у сфері захисту прав акціонерів має бути спрямовано на забезпечення впливу міноритарних акціонерів на змагання щодо перейняття корпоративного контролю між інсайдерами та претендентами на інсайдерський контроль. Саме від результатів цього змагання (в якому має перемогти той учасник, який здатний ефективно управляти товариством) в подальшому залежатиме реалізація інтересів усіх без винятку власників. Тому найбільш дієвим способом захисту прав акціонерів здається вдосконалення правового забезпечення впливу акціонерів на результати змагання щодо перейняття корпоративного контролю.

УДК 658.1

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ КРИЗИСНОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Проскура Е.Ю.

(г. Харьков, Украина)

Features of diagnostic of a crisis condition of firm.

Теория и практика антикризисного управления получили мощный импульс развития в большинстве промышленно развитых капиталистических стран в середине 80-х годов в связи с обострением кризиса, который по своим тенденциям напоминал ситуацию, сложившуюся в Украине. В этот период резко возросло число безработных, снизились доля капиталовложений в валовом национальном производстве и темпы экономического роста, усилилась инфляция, что, безусловно, отразилось на деятельности большинства предприятий. Для предотвращения повального банкротства предприятий этих стран потребовалось незамедлительное проведение комплекса мероприятий, способствующего улучшению их состояния.

В основе банкротства предприятия преимущественно лежат финансовые причины. С позиций финансового менеджмента возможное наступление банкротства предприятия представляет собой кризисное состояние предприятия, при котором оно неспособно осуществлять финансовое обеспечение своей хозяйственной деятельности. Для предварительной диагностики кризисного состояния и возможной защиты предприятия от банкротства рыночная экономика выработала обширную систему финансовых методов. Суть этих методов состоит в том, что угроза банкротства диагностируется еще на ранних стадиях ее возникновения, что позволяет своевременно привести в действие специальные финансовые механизмы защиты или обосновать необходимость определенных реорганизационных процедур. Методы предварительной диагностики кризисного состояния предприятия можно разбить на две большие группы: а) использование системы неформализованных критериев (качественные методы); б) расчет интегрального критерия, позволяющего оценить уровень угрозы банкротства предприятия (количественные методы).

К первой группе методов предварительной диагностики кризисного состояния предприятия относятся методы, основанные на использовании систем критериев, позволяющих проводить количественный и качественный анализ на уровне тестовых оценок (например, А-счет, разработанный Джоном Аргенти и тест Скоуна). При использовании такого рода систем критериев возникают такие сложности как трудность ее формализации и принятия решения в условиях многокритериальной задачи; субъективность оценки критериев. Также они не позволяют учитывать структуру средств предприятия и причины изменений в ней; слабо учитывают такие особенности компании как отраслевая принадлежность, размеры, специфика продукции, рынки сбыта и др. Несмотря на приведенные недостатки, данные тесты можно использовать для быстрой и приблизительной оценки вероятности банкротства предприятия. Для вынесения же окончательного решения о банкротстве необходимы более глубокие исследования ситуации на предприятии.

Ко второй группе методов относятся такие критерии как двух- и пятифакторная модели Альтмана, четырехфакторные модели Р.Лиса и Таффлера. Несмотря на относительную простоту использования данных моделей для оценки угрозы банкротства, хотелось бы обратить внимание на то, что их применение не позволяет полу-

чить объективный результат при анализе деятельности именно украинских предприятий. Так, исследования, проведенные по данным финансовой отчетности более чем 80 отечественных предприятий, показали, что метод Альтмана в 95% случаев характеризует предприятие как финансово устойчивое и далекое от банкротства. Несколько более достоверную картину дает использование методов Лиса и Таффлера, которые из той же совокупности выделяют уже около 50% предприятий с высокой вероятностью банкротства. Однако с помощью данных методов затруднительно получить достоверные результаты, анализируя деятельность обществ с ограниченной, полной ответственностью и частных фирм. Поэтому в условиях Украины целесообразно пересмотреть величины каждого из коэффициентов значимости отдельных факторов в соответствии со спецификой сложившейся экономической ситуации и дифференцировать их с учетом особенностей деятельности предприятий.

По результатам проведенной диагностики проводится разработка и осуществление специальных антикризисных программ управления предприятием, направленных на преодоление кризисного состояния. В экономически развитых странах существуют различные способы, позволяющие смягчить создавшуюся кризисную ситуацию на производстве или радикально решить вопрос неплатежеспособности предприятий. К основным из них относятся:

- разработка антикризисной маркетинговой стратегии на основе построения двухмерных матриц (например, матрицы Ансоффа, стратегической модели Портера);
- изменение организационной структуры предприятия (приватизация, сокращение аппарата управления, продажа отдельных филиалов или подразделений, формирование холдингов, трастов и финансово-промышленных групп);
- проведение научно-технической и технологической политики на предприятии (повышение уровня использования нематериальных активов в производстве и сбыте продукции, внедрение новых технологий как основы повышения конкурентоспособности продукции, использование потенциала прикладной науки и поддержка инноваций, внедрение ресурсосберегающих технологий);
- проведение оптимальной ассортиментной политики (постоянное обновление и расширение ассортимента продукции, использование консалтинга для активного продвижения продукции на рынке);
- осуществление финансовой стабилизации предприятия (устранение неплатежеспособности, восстановление финансовой устойчивости, обеспечение финансового равновесия в длительном периоде).

Проведенное исследование существующих методов диагностики кризисного состояния предприятия обусловило необходимость их адаптации к отечественным условиям и формирования на их основе системы действенных антикризисных мероприятий. Кризисное состояние в первую очередь характеризуется уменьшением прибыли, ростом задолженности, ухудшением показателей ликвидности, а также ухудшением показателей финансовой устойчивости. Поэтому целесообразно сформировать интегральный показатель, позволяющий оценить данные стороны деятельности предприятия.

Формирование интегрального критерия оценки уровня угрозы банкротства осуществляется с помощью приемов корреляционно-регрессионного и дискриминантного анализов, а его критические значения – с помощью кластерного анализа.

В ходе использования предложенной методики для определения масштабов кризисного финансового состояния на 80 украинских предприятиях различных организационно-правовых форм получены данные свидетельствующие, что почти две трети из них испытывают финансовый кризис различной степени тяжести. Значительная доля предприятий, которые вполне можно признать банкротами, находится среди обществ с ограниченной и полной ответственностью, частных фирм.

Накопленный западными странами опыт антикризисного управления, несомненно, имеет непреходящее значение для решения задач, стоящих перед экономикой Украины, но необходимо учитывать, что он будет использован в принципиально иных условиях. Для выхода Украины из сложившейся ситуации необходимо адаптировать опыт антикризисного управления предприятием, накопленный развитыми странами к отечественным условиям. Разрабатываемые антикризисные мероприятия должны способствовать улучшению не только финансового положения предприятия, но и экономики Украины в целом.

УДК 332.146:330.332

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Новикова М.Н., канд. экон. наук

(г. Харьков, Украина)

Organization of investment process on firms of an industry.

Развитие рыночной экономики предполагает осуществление активной инвестиционной деятельности, позволяющей вовлекать необходимые средства в операционный процесс субъектов хозяйствования. Основной предпосылкой развития производства в рыночных условиях хозяйствования служит организация эффективного инвестиционного процесса на предприятиях промышленности. Известно, что Харьковская область обладает мощным промышленным потенциалом, эффективное использование которого позволит создать реальную осно-

ву для социально-экономического развития не только региона, но и всей страны. С 2000 года на территории г. Харькова действует специальный режим инвестиционной деятельности, позволяющий привлекать инвестиции в приоритетные направления экономической деятельности. При этом основными критериями определения приоритетности служат:

- реконструкция и модернизация отраслей, которые имеют определяющее значение для экономического развития региона;
- ориентация на наукоемкие и импортозамещающие технологии;
- внедрение ресурсосберегающих технологий;
- создание новых и сохранение действующих рабочих мест;
- реструктуризация убыточных предприятий;
- производство конкурентоспособной продукции.

Сегодня около 20 предприятий региона различных форм собственности работают в рамках специального режима инвестиционной деятельности и более 60 – выступили с инвестиционными предложениями. Однако, основной причиной, негативно влияющей на реализацию инвестиционных проектов, служит отсутствие должного уровня организации инвестиционного процесса на предприятиях. Как показывает практика, организационные структуры управления большинства субъектов хозяйствования не адаптированы к рыночным условиям, что отрицательно сказывается не только на их инвестиционных возможностях, но и на операционной деятельности. Поэтому организация инвестиционного процесса является особенно важным моментом в деятельности каждого предприятия, которое намерено обеспечить себе устойчивое положение на рынке.

Это предполагает разработку и внедрение в промышленности таких организационных структур управления, которые отвечают реальным экономическим условиям и способствуют достижению основных целей инвестиционной деятельности. Поэтому в процессе формирования организационных структур управления должны учитываться:

- объем, масштабы и направленность инвестиционной деятельности;
- основные формы инвестиционной деятельности предприятия;
- функции инвестиционного процесса;
- региональная и отраслевая диверсификация инвестирования.

Организация инвестиционного процесса на предприятии предполагает организацию управления реальными и финансовыми инвестициями, а также организацию управления формированием инвестиционных ресурсов. При этом должна быть решена совокупность некоторых задач, к основным из которых можно отнести:

- организация управления разработкой и реализацией инвестиционной стратегии предприятия;
- организация управления разработкой и реализацией инвестиционных проектов в рамках инвестиционной стратегии;
- организация управления формированием собственных, заемных и привлеченных инвестиционных ресурсов.

Каналы связи при формировании организационной структуры управления инвестиционным процессом должны быть эффективными настолько, чтобы они обеспечивали рациональное взаимодействие между структурными подразделениями и службами инвестиционного управления и органически вписывались в организационную структуру управления предприятием. На крупных предприятиях промышленности целесообразно создавать центры управления инвестиционным процессом, которые должны осуществлять взаимодействие между всеми направлениями инвестиционной деятельности и координировать его с операционной и финансовой деятельностью.

Организация эффективного инвестиционного процесса на предприятии предполагает последовательное осуществление следующих мероприятий (с назначением ответственных исполнителей и определением материальных стимулов, которые могут иметь различный характер и объем в зависимости от конкретных условий и поставленных задач):

- анализ деятельности подразделений, которые задействованы в инвестиционном процессе и оказывают влияние на его осуществление;
- определение места в организационной структуре управления предприятием и функций центров управления инвестиционной деятельностью;
- формирование системы полномочий, обязанностей, меры ответственности и материальных стимулов в рамках центров инвестиционного управления;
- разработка конкретных заданий инвестиционного развития предприятия и доведение их до центров инвестиционного управления;
- разработка адекватной системы контроля за выполнением установленных заданий.

Организация управления инвестиционным процессом в рамках осуществления субъектами хозяйствования инвестиционной деятельности должна базироваться на качественной информации, систематизированной в со-

ответствии с целевыми установками предприятия. При этом информацию целесообразно формировать по основным показателям, позволяющим принимать своевременные эффективные управленческие решения и осуществлять анализ, прогнозирование и планирование инвестиционной деятельности в приоритетных отраслях промышленности, делая их привлекательными для инвесторов.

УДК 332.1

АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ТА ВЗАЄМОДІЇ РІЗНИХ НОВОВВЕДЕНЬ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Гриньов А.В.

(м. Харків, Україна)

The analysis of process of the investments and interplay of miscellaneous innovations on firm

Розвиток інновацій передбачає необхідність розробки такого механізму управління інноваційною діяльністю, що включає етапи: розробку і їх освоєння, вихід на ринок; освоєння і зростання обсягу виробництва за рахунок збільшення його масштабів і зниження витрат; досягнення зрілості, яка характеризується вдосконаленням продукції, покращенням її якісних характеристик і модифікації в умовах конкуренції, що пов'язана з тиражуванням нововведень; моральне старіння продукції, її неконкурентоспроможність за рахунок появи на ринку інших інновацій.

Нововведення є основою соціально-економічного розвитку підприємства, визначаючи темпи і масштаби росту та його структурні зміни. Динаміка інноваційного розвитку підприємства обумовлена впровадженням нової техніки, технології, форм і методів організації виробництва, що сприяють безупинній зміні різних елементів виробничого процесу на нові, більш ефективні. Дослідження особливостей процесів нововведень, що протікають на різних стадіях виробничого процесу, сприяє підвищенню результативності цілеспрямованого управління підприємством.

Дослідження інноваційного процесу на підприємстві передбачає насамперед аналіз предметно-технологічної структури конкретного нововведення, а також їх взаємодії.

Предметна структура процесу нововведення включає розгляд його елементів і їхнього взаємозв'язку в інноваційному процесі та взаємодії окремих нововведень з урахуванням можливості їхнього сполучення, послідовної зміни й умов конкуренції. Вона визначається на основі самої сутності нововведення, що представляє собою динамічну систему, життєвий цикл якої включає кілька часових етапів. Причому в основі такого визначення знаходиться концепція життєвого циклу нововведення, що базується на часових межах, і включає ряд послідовних за часом етапів, які розрізняються по видах діяльності щодо створення і використання нововведень.

Реалізація нововведення вимагає: придбання нового знання в результаті наукових досліджень (відкриттів або винаходів); використання його для створення нової техніки, технології; пошук доцільних способів його практичного застосування на підприємстві.

Придбання знань, створення науково-технічних досягнень, їхнє використання вимагають для своєї реалізації значного часу і можуть здійснюватися тільки у суворій послідовності, яка є дуже спрощеною схемою реального здійснення інноваційного процесу. Для забезпечення більш складної схеми необхідна визначена типологія (класифікація) нововведень.

Нововведення класифікуються за предметом або змістом на: науково-технічні - створені людиною засоби діяльності; культурні, соціальні - нові цінності, цілі, чи потреби споживачів.

Науково-технічні нововведення найчастіше виявляються в новій техніці, що дозволяє робити нову продукцію як виробничого, так і споживчого призначення, новітні технологічні процеси, нові форми й методи організації виробництва тощо.

Основною розбіжністю між культурними і науково-технічними нововведеннями є конструювання останніх, штучний характер, який представляє собою результати усвідомленої цілеспрямованої діяльності людини. Нові цінності, цілі та потреби виникають у результаті поширення науково-технічних нововведень, але як тільки виникає можливість цілеспрямованого управління ними, вони автоматично переходять до науково-технічних. Основним призначенням такої класифікації є виявлення динамічної структури окремого інноваційного процесу, а також його опис на рівні підприємства.

Специфічною є класифікація нововведень за ступенем їхньої новизни, що представляє собою міру відмінності закладеної в нововведенні ідеї чи винаходу, його конструкції від існуючих видів техніки і технології, методів управління, організаційних структур тощо. Її складність полягає в тому, що відмінність старого від нового є скоріше безупинним, чим дискретним, що не дозволяє виділити чітких ознак новизни, а також багатомірним, тому що нове може відрізнитися від старого по самих різних аспектах і по кожному з них у різному ступені.

Так, зовсім нова конструкція, придатна для задоволення вже існуючих потреб, може стати джерелом виникнення нових потреб, пов'язаних з даним нововведенням.

Класифікація нововведень за ступенем новизни відноситься до фази створення нововведення, що є визначальною для формування предметної відмінності нововведення від уже існуючих продуктів. У фазі використання нововведення доцільною є класифікація по масштабах поширення, тобто за ступенем їхньої ефективності.

У зв'язку з тим, що предметна класифікація нововведень має ієрархічну структуру, їх розподіл за масштаба-

ми та значенням також буде ієрархічною. При цьому виділяють: базисні (формуючі) галузі, що проникають у багато сфер з метою удосконалення або зміни базисних нововведень; додаткові нововведення, необхідні для ефективного використання базисних і, так називані псевдонововведення. Останні представляють собою незначні конструктивні зміни основного продукту з метою підвищення попиту на ринку.

Як свідчать дослідження, конкретний інноваційний процес не обов'язково включає всі етапи в їхній суворій послідовності. Обов'язковим є етап створення нововведення і його використання. Розглянуті етапи можуть мати різну тривалість і розглядатися в розриві в часі.

Процесу поширення нововведення притаманні певні труднощі:

періоди швидкого впровадження в одній галузі можуть супроводжуватися затримками при впровадженні в інші галузі зі специфічними вимогами, можливі навіть тимчасові скорочення в обсязі використання нововведення;

період панування нововведення може тривати необмежений час. Так, багато найдавніших нововведень використовуються людиною і в даний час, немає необхідності їхньої заміни в майбутньому;

безупинне вдосконалення нововведення пов'язане з такими обставинами як: поліпшення конструкції виробу в процесі нагромадження досвіду його виробництва і використання в масовій кількості; внесення змін у конструкцію з метою пристосування нововведення для більш ефективного використання в інших сферах; створення й удосконалення технологічних процесів або організаційних структур, більш ефективних у виробничому процесі і при використанні нововведень; виявлення в нововведенні нових раніше не відомих якостей і ефективна реалізація їх у нових сферах застосування.

Недоцільно розглядати інноваційний процес для окремого нововведення в зв'язку з тим, що воно завжди має складну структуру, включає безліч елементів, багато з яких також є нововведеннями (можливо, й іншого характеру).

Необхідність виробництва продукції обумовлена новою потребою та сприяє створенню базисного нововведення. Інтенсивні дослідження і розробки такого нововведення свідчать про наявність великої кількості більш дрібних радикальних нововведень. В міру нагромадження досвіду використання нововведення число його модифікацій скорочується і залишається тільки базисне нововведення. Збільшення масштабів виробництва на основі базисного нововведення вимагає вдосконалення, з одного боку, технологічних процесів по виготовленню нової продукції, а з іншого, — способів її експлуатації й обслуговування. При цьому число радикальних нововведень скорочується, а кумулятивний ефект дрібних удосконалень є синергетичним.

Аналогічно здійснюється впровадження управлінсько-організаційних нововведень, що використовуються як базисні. У свою чергу, організаційні нововведення можуть бути базисними, а навколо них розвиваються продуктово-процесні тощо.

Аналіз інноваційного процесу, взаємодії різних нововведень можна здійснювати по двох напрямках: уся сукупність нововведень розглядається як єдиний агрегований інноваційний процес, ускладнений за рахунок взаємодії і сполучення різних додаткових і допоміжних нововведень, що його забезпечують;

розгляд взаємодії всієї сукупності нововведень з урахуванням структури окремих нововведень.

Таким чином, при аналізі взаємодії декількох нововведень необхідно розглядати можливі їхні сполучення, тому що в одному нововведенні може бути використано декілька винаходів і відкриттів, що у різних сполученнях стають основою для інших нововведень, а на етапах поширення, масового використання або скорочення їхнього застосування життєвий цикл продовжується за рахунок додаткових нововведень.

Крім того, нововведення взаємодіють у продукції, технологічних процесах і організаційно-управлінських системах, забезпечуючи можливість виживання кожному з них.

При аналізі взаємодії нововведень істотним є урахування конкуренції і заміни одних нововведень іншими. Варто вказати, що всі процеси поширення, нарощування масштабів виробництва і використання нововведення можна трактувати як процеси заміни старого новим.

Конкуренція і заміна нововведень здійснюється в умовах невизначеності інноваційного середовища, яке постійно змінюється, що не дозволяє заздалегідь передбачати, яким чином нововведення, що вводиться в будь-якій сфері діяльності, вплине на порівняльну ефективність двох альтернативних конкуруючих нововведень.

Істотне значення в процесі зміни поколінь науково-технічних нововведень має нагромадження інформації про продукцію, що вже випускається на основі існуючих високоефективних технологічних процесів і організаційних форм управління. При цьому слід враховувати, що вони були високоефективними і тому в нововведення варто закладати ефективність, що стимулює розвиток інноваційного процесу.

УДК 658.14

УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА

Щабельська І.В.
(м. Харків, Україна)

Control of investment activity of firm.

Управління інвестиційною діяльністю слід розглядати як складову загальної системи управління підприємством та здійснювати на основі використання таких принципів:

1. Інтегрованість з загальною системою управління підприємством, яка сприяє забезпеченню ефективності всіх напрямків і форм інвестування, оптимального фінансування інвестиційних проєктів, впровадження досягнень науково – технічного прогресу тощо.
2. Комплексність в процесі формування управлінських рішень щодо реалізації інвестицій у взаємозв'язку з кінцевими результатами фінансової діяльності підприємства, що забезпечує оцінку внеску результатів інвестування в його загальну результативність.
3. Високий рівень динамізму управління в галузі формування і реалізації інвестицій, пов'язаний з динамічним розвитком внутрішніх умов функціонування підприємства в процесі переходу від однієї стадії життєвого циклу до іншої, а також зовнішніх чинників в умовах трансформації економіки країни.
4. Багатоваріантність підходів щодо прийняття окремих управлінських рішень в сфері формування інвестиційних ресурсів підприємства, яка вимагає використання системи критеріїв, що впливають на інвестиційну стратегію підприємства.
5. Орієнтація на стратегічний розвиток підприємства, що передбачає обґрунтування стратегічної направленості його інвестиційної діяльності.

Головною метою управління інвестиційною діяльністю підприємства є отримання можливого максимального прибутку не тільки в поточному, а й у перспективному періодах. Це вимагає розробку таких задач управління цією діяльністю, що забезпечують реалізацію головної мети, серед яких слід відзначити такі:

- забезпечення достатньої інвестиційної підтримки необхідних темпів розвитку поточної діяльності підприємства. Вона може бути реалізована на основі встановлення потреби підприємства в обсягах інвестування з метою досягнення стратегічних цілей свого розвитку, а також формування збалансованої інвестиційної програми;
- баланс максимальної прибутковості інвестиційної діяльності підприємства з урахуванням прийнятного ступеня ризику. Рішення цієї задачі забезпечується шляхом обґрунтування найбільш ефективних інвестиційних проєктів і фінансових інструментів інвестування. Враховуючи тісний зв'язок між максимізацією рівня прибутковості та зростанням при цьому інвестиційного ризику, слід забезпечувати такий рівень прибутковості в межах припустимого для підприємства рівня ризику. При цьому мінімізація рівня інвестиційного ризику може бути досягнута шляхом диверсифікації інвестиційних проєктів;
- забезпечення ліквідності інвестицій, можливостей швидкого реінвестування капіталу при змінах факторів зовнішнього середовища, а також внутрішніх умов здійснення інвестиційної діяльності. В умовах невизначеності зовнішнього середовища, зміни стратегічних цілей розвитку підприємства або його фінансового потенціалу можливе зниження очікуваного рівня прибутковості, що робить необхідним своєчасне реінвестування капіталу у найбільш прибуткові об'єкти інвестування;
- підтримання балансу між достатнім обсягом інвестиційних ресурсів, їх оптимальної структури з обсягом інвестиційної діяльності, що прогнозується. Реалізація цієї задачі передбачає необхідність обґрунтування схем фінансування окремих інвестиційних проєктів та оптимізацію структури джерел залучення капіталу для здійснення інвестиційної діяльності;
- забезпечення фінансової рівноваги при здійсненні інвестиційної діяльності на підприємстві. Ця задача вимагає від підприємства прогнозування впливу інвестиційної діяльності на рівень платоспроможності та фінансової сталості підприємства, оптимізації структури інвестованого капіталу і грошових потоків;
- прискорення реалізації програм інвестиційної діяльності підприємства. Задача прискорення реалізації програм пов'язана з необхідністю його економічного зростання і тому сприяє зниженню рівня інвестиційних ризиків у зв'язку зі змінами кон'юнктури інвестиційного ринку, інфляцією, а також погіршенням інвестиційного клімату в країні.

Реалізація головної мети і задач здійснення інвестиційної діяльності передбачає необхідність виконання визначених функцій які можна розділити на дві групи:

1. Функції інвестиційної діяльності як управляючої системи, що є складовими будь-якого процесу управління і називаються загальними.
2. Функції інвестиційної діяльності як специфічної складової управління підприємством, що визначаються самим процесом управління.

До загальних функцій відносяться: розробка інвестиційної стратегії підприємства, організаційних структур щодо забезпечення інвестиційної діяльності, інформаційних систем, які сприяють забезпеченню обґрунтування альтернативних варіантів інвестиційних рішень, аналіз, планування, контроль за реалізацією управлінських рішень в сфері інвестиційної діяльності. Специфічними функціями є управління інвестиціями та формування інвестиційних ресурсів. Управління інвестиціями (реальними та фінансовими) полягає у визначенні форм і обсягів інвестування, розробці реальних інвестиційних проєктів, формуванні інвестиційної програми підприємства, оцінці окремих фінансових інструментів, формуванні та реструктуризації портфеля фінансових інвестицій. Управління формуванням інвестиційних ресурсів включає визначення обсягу інвестованого капіталу, формування власних і позикових інвестиційних ресурсів.

Регулювання процесу розробки і реалізації інвестиційних рішень підприємства може здійснюватись за допомогою відповідного механізму, що включає такі елементи: ринковий механізм регулювання інвестиційної

діяльності підприємства, державне її нормативно — правове регулювання, систему методів управління інвестиційною діяльністю та внутрішнього регулювання її окремих аспектів.

Ринковий механізм та державне нормативно – правове регулювання інвестиційної діяльності підприємства формується у сфері інвестиційного ринку та заходів держави в умовах трансформаційної економіки, забезпечуючи при цьому можливість підприємствам самостійно обирати напрями та форми інвестування.

Досягнення результатів в процесі інвестиційної діяльності засновується на техніко-економічних розрахунках, використанні економіко-математичних методів та інформаційних технологій, а також регулюється оперативним управлінськими рішеннями щодо ефективності інвестицій та вимогами статуту підприємства.

Ефективність інвестиційної діяльності підприємства певною мірою залежить від організаційного забезпечення, що включає взаємопов'язану сукупність структурних підрозділів підприємства які, з одного боку, забезпечують розробку і прийняття рішень щодо управління інвестиційною діяльністю, а з іншого, - несуть повну відповідальність за реалізацію цих рішень. Організаційне забезпечення здійснюється на основі структури управління інвестиційною діяльністю і залежить від організаційної структури управління, що прийнята на підприємстві. Найбільш ефективними серед таких структур слід вважати проектну та матричну.

Для проектної структури притаманні структурні підрозділи, що реалізують окремі реальні інвестиційні проекти, а також здійснюють управління портфелем фінансових інструментів інвестування. Вони створюються на тимчасовій основі, керівники підрозділів підпорядковані генеральному директору підприємства, або його заступнику з фінансових питань. В структурі таких підприємств існують функціональні служби центрального апарату управління, керівник проекту, якому підпорядковуються загальний центр управління інвестиційною діяльністю й інші функціональні підрозділи управління проектом. Перевагою такої структури управління є наявність проектної команди, що має комплексні повноваження в рішенні всіх задач в галузі інвестиційної діяльності.

В умовах матричної організаційної структури управління проектний принцип доповнюється функціональним, який полягає в тому, що існує подвійне підпорядкування керівників, які здійснюють управління інвестиційною діяльністю, а саме: вони підпорядковані керівникам відповідних функціональних служб центрального апарату управління підприємством, а також керівнику відповідного проекту.

Найбільш ефективною організаційною структурою управління інвестиційною діяльністю підприємства в сучасних умовах є така, що побудована за концепцією Дж. Хиггинса – на основі центрів відповідальності, одним з яких є центр інвестицій. Він складається зі структурного підрозділу підприємства, керівник якого повністю відповідає за ефективне використання інвестиційних ресурсів і отримання необхідного розміру прибутку від інвестиційної діяльності. В якості показника ефективності діяльності такого підрозділу є прибуток на інвестований капітал. Основними задачами такого центру інвестицій є:

- встановлення впливу структурних підрозділів на результати інвестиційної діяльності;
- обґрунтування зобов'язань, прав, ступеня відповідальності керівників;
- обґрунтування і доведення до виконавців планових (нормативних) завдань щодо результатів інвестиційної діяльності;
- здійснення контролю за результатами виконання завдань, своєчасне інформаційне забезпечення керівників, аналіз і виявлення причин відхилень від планових завдань.

Ефективність інвестиційної діяльності підприємства значною мірою залежить від якості інформаційного забезпечення. Інформаційна система управління інвестиційною діяльністю може бути представлена у вигляді таких інформаційних показників, які необхідні для проведення аналізу, планування, прийняття управлінських рішень тощо. Така система повинна задовольняти потреби як зовнішніх, так і внутрішніх користувачів. На рівні підприємства інвестиційну інформацію використовують: директор, власники, менеджери усіх підрозділів, які здійснюють інвестиційну діяльність. Серед зовнішніх користувачів слід відзначити: податкові органи, кредиторів та потенційних інвесторів підприємства, представників фондової біржі (у випадку емісії цінних паперів).

Для внутрішнього використання система показників інформаційного забезпечення включає показники про результати інвестиційної діяльності, фінансову звітність та такі, що є комерційною таємницею підприємства. Для зовнішніх користувачів необхідні показники, що характеризують кон'юнктуру

УДК 332.012.324

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ Й ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ

Кривошопка Ю.М., канд. екон. наук
(м. Харків, Україна)

In activity the features and principles of corporate control at the present stage of development of economics of Ukraine are reviewed, the key concepts are updated, the analysis of possible implementation of control functions in joint-stock company is adduced, the characteristic to valuable papers is given and their role in control procedure activity of joint-stock company is clarified.

Приоритетною задачею розвитку національної економіки є забезпечення її конкурентоспроможності. Реалізація стратегії економічного росту свідчить про наявні позитивні зміни в економіці України. Серед позитив-

них факторів слід зазначити структурне реформування економіки у відносинах власності, приватизації, підприємництва, що створюють умови для стабілізації виробництва і забезпечення економічного росту. Найважливішою складовою тривалих економічних реформ в Україні є роздержавлення великих і середніх промислових підприємств.

Процес приватизації дрібних підприємств, більшість яких відноситься до сфери обслуговування, вважається в основному завершеним. Низька привабливість великих і середніх українських промислових підприємств як об'єктів приватизації пояснюється високим ступенем зносу основних виробничих фондів, низькою конкурентоспроможністю товарів та кризовим становищем у енергетичній та фінансовій сферах. Досвід інших країн показує, що в багатьох випадках доцільно проводити часткову приватизацію державної власності, тобто створення підприємств зі змішаною формою власності.

На мікроекономічному рівні інструментом, за допомогою якого підприємство здатне домогтися підвищення ефективності господарської діяльності, може стати реструктуризація, що припускає розмежування функцій між структурними підрозділами і наділення їх різними рівнями самостійності. Під самостійністю варто розуміти форму взаємин між підприємством і його структурним підрозділом, що дозволяє у найбільшій мірі враховувати інтереси сторін.

Ця умова найбільш виконується при акціонерній організаційно-правовій формі господарювання, оскільки вона дає змогу залучати додатковий капітал через вклади до статутного фонду і створює передумову участі в господарській діяльності усіх інвесторів. Самостійність, яку одержують колишні великі державні підприємства в результаті приватизації й акціонування дає можливість використання власних коштів для розширення сфери діяльності, що в свою чергу вимагає впровадження корпоративного управління у практику господарювання.

Корпоративне управління являє собою складну організаційну структуру, яка включає ряд виборних органів і механізмів прийняття рішень стосовно технічного, технологічного, організаційного, кадрового та фінансового питань, з метою максимального задоволення інтересів акціонерів. Розглядаючи проблему здійснення функцій управління в умовах корпоративної форми організації господарської діяльності в Україні, слід зазначити прагнення законодавчих органів до розширення прав працівників в порівнянні з економічно розвинутими країнами. Це обумовлено прагненням підвищити зацікавленість персоналу у результатах діяльності акціонерного товариства.

Першим кроком у цьому напрямку є зміна кількісного та якісного складу персоналу, закриття збиткових підрозділів, тобто має місце реструктуризація виробництва, спрямована на досягнення генеральної мети акціонерного товариства. Досягнення стану готовності до діяльності в умовах конкурентного середовища шляхом оптимального розподілу всіх видів ресурсів неможливо без зміни стратегії підприємства. Її концепція повинна відповідати системі управління, що має місце в організації, до складу якої входить значна кількість пов'язаних між собою підрозділів, які мають розгалужену мережу контрагентів і вступають у відносини з органами державної влади. Досягнення генеральної мети неможливе без розробки та реалізації ряду взаємозалежних цілей нижчого рівня, що відповідають інтересам кожного підрозділу.

Фактори макроекономічного рівня впливають на формування функцій управління, структура яких залежить від комплексу ознак, визначаючих індивідуальний підхід до методів управління підприємством колективної форми власності.

Серйозний вплив на результати діяльності акціонерних товариств мають фінансові ринки, оскільки власники акцій, не задоволені результатами діяльності, можуть вилучати свою частку з акціонерного капіталу шляхом продажу пакета акцій. Це обумовлює необхідність вчасно виявляти впливаючі фактори середовища, прогнозувати їх та своєчасно готувати відповідну адекватну реакцію. Досягнення генеральної мети акціонерного товариства неможливе без урахування впливу внутрішніх факторів, що потребують постійної та пильної уваги. До них слід віднести наявність персоналу потрібних спеціальностей і відповідного рівня кваліфікації, це набуває особливої важливості при виході продукції підприємства на нові ринки. Недостатня увага до соціально-культурного середовища може привести до краху перспективні інноваційні проекти, оскільки нові товари не відповідатимуть наявним потребам. Неможливо ефективно управляти персоналом без знання традицій і життєвих цінностей колективу. Важливе значення має також мотивованість членів акціонерного товариства. Визначений інтерес для акціонерів представляє розрахунок і оцінка прибутку на акцію, що залежить від структури капіталу, тому важливим фактором впливу є захист прав дрібних акціонерів, які одночасно являють собою персонал організації. Проблема узгодження інтересів власників та виконавців шляхом удосконалення процесу управління діяльністю акціонерних товариств не може бути вирішена без використання системного підходу до комплексної реструктуризації спрямованої на досягнення конкурентоздатності підприємств колективної форми власності.

Література

1. Кривошопка Ю.Н. Содержание организационно-экономического механизма функционирования акционерных обществ. // Зб.наук.праць "Економіка: проблеми теорії та практики" – Дніпропетровськ: ДНУ - випуск 68 – 2001. С. 74-78.
2. Кривошопка Ю.Н. Функции корпоративного управления.// Вісник інженерної академії України. – Харків - № 3. - 2001. - С. 596-599.

УДК 658.589

СИСТЕМА КОДУВАННЯ ІННОВАЦІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ

Власенко В.В.

(м. Харків, Україна)

Encoder on firm as a means of increase of a management efficiency commercial by activity.

З загостренням на світових і національних ринках конкуренції і прискоренням внаслідок цього науково-технічного і організаційного прогресу для переважної більшості підприємств інноваційна діяльність є об'єктом підвищеної і повсякденної уваги. У сучасних умовах господарювання вона реально служить могутнім каталізатором розвитку економіки, надійною гарантією високоефективного бізнесу. Результати проведеного американськими науковцями дослідження промислових компаній США свідчать, що в найближчі п'ять років лише для 8% з них значення нововведень як обов'язкова умова ефективної бізнесової діяльності залишиться практично незмінним, тоді як 51% чекає помітного його посилення, а 41% — істотного зростання. [8]

Інноваційна діяльність являє собою досить складну і різнобічно спрямовану діяльність, що зумовлено комплексним характером інновацій, і яка засновується на здобутках інтелектуальної праці і має конкретний прояв, що приносить певний ефект, який охоплює різні сторони суспільного життя. Організація і управління інноваційною діяльністю вимагає серйозної розробки і обґрунтованої класифікації.

У літературних джерелах є значна кількість різних варіантів класифікації інновацій та інноваційних процесів, розроблених зарубіжними і вітчизняними авторами. При цьому як найважливіші ознаки частіше за все розглядається міра новизни, сфера застосування, характер використання, призначення тощо. [5, 11] Крім того, різні фахівці навіть з однієї ознаки виділяють різні типи інновацій. Так, по сфері застосування, М.Хучек, розрізняє: економічні, організаційні, технологічні, товарні і суспільні інновації [12], а В.Ф. Гриньов – управлінські, організаційні, соціальні, промислові тощо [4]. Аналіз літератури по інноваціях дозволив виявити найбільш важливі класифікаційні ознаки і запропонувати свій варіант класифікації, в основу якої встановлені класифікаційні ознаки, що запропоновані такими вченими-економістами, як В.Ф.Гриньов, П.М.Завлін, С.Д. Ільєнкова, А.І. Прігожин, Р.А.Фатхутдінов. [4, 5, 6, 10, 11]

В таблиці 1 наведений типовий класифікатор інновацій, основними критеріями якого, згідно з твердженням Р.А.Фатхутдінова, стали [11]:

- 1) комплексність набору класифікаційних ознак, що враховуються для аналізу і кодування;
- 2) можливість кількісного (якісного) визначення критерію;
- 3) наукова новизна і практична цінність ознаки класифікації, що пропонується.

Приведена класифікація охоплює, на наш погляд, всі аспекти інноваційної діяльності на підприємстві і дозволяє оцінювати новизну інновацій як по технологічних параметрах, так і з ринкових позицій. Для спрощення управління і більшої скоординованості інноваційної діяльності підприємства інновації можна кодувати на основі цієї класифікації. За схему кодування можна прийняти запропоновану Р.А.Фатхутдіновим, де кожній цифрі коду відповідає номер виду інновації по конкретній ознаці. [11] Кодування може бути укрупненим (з одним знаком для ознаки) і детальним (з двома і більш знаками для ознаки). При укрупненому кодуванні код інновації буде мати 9 цифр, кожна цифра відповідає конкретній ознаці вище приведеної класифікації. [11] Доповнимо запропоновану схему кодування ще 5 цифрами: перша цифра – впроваджена інновація (відповідає «1») або невпроваджена (резервна), відповідає «0», наступні чотири – рік і місяць впровадження інновації, якщо вже впроваджена інновація, або дата придбання патенту, дата ліцензування для резервних інновацій або дата внесення раціоналізаторської пропозиції. Таке доповнення дозволить, по-перше, сприяти при аналізі мобільності і сприйнятливості підприємства до нововведень, по-друге, спростити відстеження динаміки науково-дослідної роботи на підприємстві, по-третє, встановити міру реальної новизни тієї або іншої інновації. Все це в сукупності буде сприяти підвищенню ефективності управління інноваційною діяльністю на підприємстві і контролю за якістю науково-дослідної роботи, що проводиться.

Додатково до коду конкретної інновації наводиться коментар, який містить величину ймовірного інтегрального ефекту, тобто кількісну характеристику впровадження інновації, що спрощує кількісну аналітику різних інноваційних проектів і спрощує процес прийняття управлінських рішень щодо інноваційної діяльності підприємства. Інтегральний ефект обчислюється за формулою 1.

$$EI = \sum_{j=1}^k (E_j \cdot K_j) (1 - \lambda), \quad (1)$$

де E_j – певний ефект (економічний, соціальний, екологічний тощо); K_j – коефіцієнт впливовості певного ефекту для підприємства; λ – ставка дисконту.

Інтегральний ефект враховує в сукупності певні ефекти, що можуть бути або вже отримані в результаті впровадження конкретної інновації на власному підприємстві, які обчислюються як середньоарифметичне значення експертної оцінки по кожному з обраних експертами показників ефективності і коригується на коефіцієнт значимості, що встановлюється також експертним шляхом, виходячи з суб'єктивної оцінки стану, тактики і стратегії розвитку підприємства, галузі і суспільства взагалі (див. формулу 2). Підсумок коефіцієнтів значимості K_i повинен встановлювати одиницю [1, 9].

Типова класифікація інновацій

№ п/п	Ознака класифікації	Види інновацій
1	У залежності від технологічних параметрів	1 Продуктові 2 Процесні 3 Комунікаційні
2	Рівень новизни інновації	1 радикальні (базові); 2 модифікуючі (доповнюючі) 3 ординарні 4 комбінаторні
3	Масштаб новизни інновації (новини)	1 глобальні 2 нові для галузі в світі; 3 нові для галузі в країні; 4 нові для даного підприємства 5 нові для конкретної продукції, технології
4	Сфера застосування інновації (новини)	1 для внутрішнього застосування 2 для накопичення на підприємстві 3 для продажу 4 для внутрішнього застосування, які були продані
5	Форма новини, що послужила як основа інновації	1 Власні відкриття, винаходи 2 Інновації розроблені спільно з іншою організацією 3 Рационалізаторські пропозиції 4 Інновації створені іншою організацією на замовлення 5 На основі куплених патентів, ноу-хау 6 Дифузія раніше впровадженої інновації
6	Вигляд ефекту, отриманого внаслідок впровадження інновації	1 Науково-технічний 2 Соціальний 3 Екологічний 4 Економічний (комерційний) 5 Інтегральний
7	Стадія життєвого циклу товару (ЖЦТ), на якій впроваджується інновація або розробляється новина	1 Інновації, що впроваджуються на стадії стратегічного маркетингу 2 НДДКР 3 Організаційно-технологічна підготовка виробництва 4 Виробництво 5 Організація продажу, включаючи маркетинг 6 Сервіс, здійснюваний виготівником
8	По місцю на підприємстві як системі	1 Інновації на вході в підприємство; 2 Інновації на виході з підприємства; 3 Інновації системної структури підприємства.
9	Підсистема системи інноваційного менеджменту, в якій впроваджується інновація	1 Підсистема наукового супроводу 2 Цільова підсистема 3 Забезпечуюча підсистема 4 Керована підсистема 5 Керуюча підсистема

$$E_j = \frac{\sum_{s=1}^n (F_s \cdot K_s)}{n}, \quad (2)$$

де F_i – експертна оцінка показника певного ефекту; K_i – коефіцієнт впливовості; n – кількість показників, по яких проводилась експертна оцінка певного ефекту.

Вплив кожного з обраних експертами показників ефективності встановлюється суб'єктивно щодо кожної інновації методом експертної оцінки, виходячи із ступеня і напрямку зміни показника. Як приклад, можна використовувати показники ефективності, що наведені російським економістом П.М.Завліним і представлені в таблиці 2. [5]

П.М.Завлін стверджує, що кількісне встановлення науково-технічного ефекту, який наведений в класифікації, на практиці не можливе в абстрагованій від економічного ефекту формі, тому зосередимось тільки на економічному, екологічному і соціальному ефекті впровадження інновації. До того ж, слід зазначити, що кожен з видів ефектів має вплив на інший, але тим чи іншим чином має в результаті економічний прояв, бо саме економічний ефект найбільш відповідає головній меті діяльності підприємства. [5] Саме тому, при утворенні експертних коефіцієнтів інтегрального показника ефективності, що визначають рівень важливості того чи іншого фак-

тора, навіть при суб'єтивному встановленні таких коефіцієнтів, коефіцієнт корегування економічної ефективності повинен бути вищим за інші.

Таблица 2

Показники ефективності		
Найменування	Умовні позначення	Критеріальна направленість
Економічні		
Фондоємність, грн.	Ф _е	До мінімуму
Матеріалоемність, грн.	М _е	До мінімуму
Працеемність, люд.	П _е	До мінімуму
Термін впровадження інновації, міс.	Т	До мінімуму
Капітальні вкладення, грн.	К _в	До мінімуму
Соціальні		
Чисельність роботаючих, люд.	Ч	До мінімуму
Продуктивність праці, грн/люд.	П _{пр}	До максимуму
Забезпечення житлом, м ² /люд.	Ж	До максимуму
Екологічні		
Використання землі, га	В _з	До мінімуму
Використання водних ресурсів, га	В _в	До мінімуму
Використання повітряних ресурсів, га	В _п	До мінімуму
Скорочення брудних вибросів на рік, т	С _в	До мінімуму

Підвищити розрахункову вірогідність наведеного інтегрального ефекту дозволяє врахування інших факторів і ефекту від них, вплив яких на діяльність підприємства незначний, а також ризиків пов'язаних з недосягненням ефекту при впровадженні інновації що встановили експерти, скорегувавши експертний ефект на значення дисконту λ , який обчислюється як інтегральний показник середньоквадратичних відхилень експертної оцінки ефекту кожного фактору з урахуванням кількості експертів, що приймали участь в становленні цих коефіцієнтів, і кількості факторів, за якими відстежувався ефект. [3]

Кодування повинно здійснюватись систематично. Для підвищення продуктивності такої системи кодування її слід утворити у вигляді бази даних, що буде оброблятися на ЕОМ у вигляді окремого програмного продукту.

За твердженням П.Шеко, традиційний підхід, при якому генерування нових ідей було завданням дослідницьких відділів є дуже вузьким. Із збільшення кількості продукції на ринку і скороченням її життєвого циклу для підтримки ефективності організації необхідна велика кількість новаторських ідей [13]. Для цього необхідним є створення особливих структурних підрозділів, що служили б концентраційним звеном і провідником інноваційних ідей. Прототипом таких підрозділів може бути модель "офісної інновації" або інноваційних центрів, що запроваджена в десятках корпораціях промислових гігантів США [2]. Однією з функцій інноваційного центру повинно бути збір інноваційної інформації на підприємстві, її кодування і подальший аналіз якості та динаміки інноваційного потенціалу підприємства. При відсутності такого підрозділу або на невеликих підприємствах кодування повинен проводити один з наступних відділів, в порядку переваги: відділ науково-технічної інформації, науково-дослідний відділ, відділ стандартизації, відділ ліцензування і патентування, юридичний відділ, або інший відділ схожий по функціях з вищепереліченими.

Для організації і контролю за внутрішнім кодуванням інновацій на підприємстві повинна бути створена експертна рада в складі начальників відділів або уповноважених осіб відповідної кваліфікації, який представляє відділи що входять в науково-дослідний сектор, виробничий сектор, відділ нормування і стандартизації, відділ ліцензування і патентування, юридичний відділ, служби менеджменту і маркетингу, економічний відділ або відділ фінансового планування. Можливе також залучення сторонніх експертів, але з ретельним запобіганням розголошування комерційної таємниці та порушення прав інтелектуальної власності. [9,13]

Таким чином, побудова і використання системи кодування інновацій заснована на класифікації інновацій з доповненням експертною оцінкою ймовірного інтегрального ефекту впровадження інновації дозволить більш комплексно визначити результативність і напрями інноваційного процесу, виявити неоднорідність інновацій і встановити методи управління кожної з них, адекватні особливостям кожного інноваційного процесу, а також забезпечити доступ до необхідної інформації та її аналітичної обробки, що сприяє найбільш ефективній управлінню інноваційної діяльності на підприємстві у будь-якому її напрямку і тим самим підвищує сприйнятливості підприємства до інновацій.

Література

1. Jones C.P. Investments. Analysis and management. N-Y, John Wiley & Sons, Inc, 1991. 3rd edition.
2. Lovelace R.F. Stimulating creativity through managerial intervention. - R&D Management. – 1986. – p.161-174.
3. Валдайцев С.В. Риски в экономике и методы их страхования. - СПб.: "Феникс", 1992.

4. Гринев В.Ф. Инновационный менеджмент: Учеб.пособие. – К.:МАУП, 2000. – 148 с.
5. Инновационный менеджмент: Справ.пособие/ под ред.П.Н. Завлина, А.К. Казанцева, Л.Э. Миндели. – СПб.:Наука, 1997. – 560 с.
6. Инновационный менеджмент: Учебник для вузов/ С.Д. Ильенкова, Л.М.Гохберг, С.Ю. Ягудин и др.; Под ред.С.Д. Ильенковой. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
7. Кодекс Законів України про працю. Роз'яснення та коментарі. – К.: ВД "Право", 1998.
8. Концепція науково-технологічного та інноваційного розвитку України // Офіційний віник України. - 1999. - №29. – С.12-19.
9. Ларичев О.И., Браун Р. Количественный и вербальный анализ решений: сравнительное исследование возможностей и ограничений // Экономика и математические методы. - 1998. – том 34, вып.4. – С.97-107
10. А.И. Нововведения: стимулы и препятствия (социальные проблемы инноватики). – М: Политиздат, 1989.
11. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент. Учебник, 2-е изд., - М.: ЗАО "Бизнес-школа "Интел-Синтез". 2000. – 624 с.
12. Хучек М. Инновации на предприятиях и их внедрение. – М.: Луч, 1992.
13. Пригожин Шекко П. Управление созданием жизнеспособных нововведений // Проблемы теории и практики управления. – 1996. - №1. – С.104-109.

УДК 331.101.38:658

ОСОБЛИВОСТІ ОПЛАТИ ПРАЦІ СПЕЦІАЛІСТІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ В ПЕРІОД РОЗВИТКУ РИНКОВИХ ВІДНОСИН

Красноносова О.М., канд. екон. наук

(м. Харків, Україна)

Features of payment of activity of the specialists of industrial firms of Ukraine in the season of development of market attitudes

Сутність заробітної плати полягає в тому, що вона допомагає заповнювати енерговитрати організму і збільшувати здатність людини до праці шляхом придбання предметів споживання й одержання необхідних послуг в умовах ринкових відносин у суспільстві. Розрізняють номінальну і реальну зарплату працівника. Розмір заробітної плати залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів виробництва. Підприємство є самостійним в рішенні багатьох питань праці і заробітної плати, але держава регулює питання праці і заробітної плати за допомогою механізму, що передбачає обґрунтування таких показників, як прожитковий мінімум, мінімальний розмір оплати праці, споживчий кошик та інших.

В останні роки в Україні проводиться державна реформа в оплаті праці на основі диференційованого підходу до регулювання заробітної плати в галузях економіки і на підприємствах різних форм власності, а також упровадження практики застосування погодинної оплати праці, як це прийнято в країнах з розвинутими ринковими відносинами.

Необхідні засоби для нормального відтворення здатності до праці працівника визначеної професії, спеціальності і кваліфікації обумовлюють величину заробітної плати у виді посадового окладу чи тарифної ставки.

В організації заробітної плати, у зв'язку з посиленням процесів інтеграції, можна чекати зближення розмірів заробітної плати працівників різних країн.

Розрізняють дві основні форми заробітної плати: погодинна і відрядна. Крім них застосовуються інші форми, наприклад безтарифна оплата праці, але основною вважається погодинна форма, тому що саме вона зв'язана з величиною витрат на відтворення енергії працівника й найбільш повно відбиває природу заробітної плати. На її основі, як правило, будуються інші форми оплати праці. Умовно-денна вартість праці, як товару, відповідає історично сформованій величині засобів його нормального відтворення протягом загальноприйнятого робочого дня. Таким чином, плата за одиницю часу роботи визначається вартістю засобів, необхідних для нормального відтворення працівника даного виду праці і сформованою тривалістю робочого періоду. Однак, зовні порядок виплати заробітної плати виглядає так, начебто він залежить від установленого роботодавцем розміру оплати праці.

Традиційно в нашій країні склалася практика, коли для робітників в основному застосовується тарифна ставка за одну годину роботи, а для інших працівників — посадовий оклад за календарний місяць роботи. Однак, за останній час на промислових підприємствах зростає значення тарифних ставок, крім того, будь-яким категоріям працівників можуть установлюватися посадові оклади.

Посадовий оклад, як відомо, узгоджується з діючою тарифною сіткою. Працівник першого розряду виконує найпростішу роботу, і його посадовий оклад прирівнюється до мінімального заробітку, встановленого на поточний період часу, згідно до законодавчої бази країни. Чим вище кваліфікація працівника, тим вище його розряд, і, тим вище його посадовий оклад чи тарифна ставка. Установле-

ний розмір посадового окладу працівник одержує при роботі весь місяць, не зважаючи на різницю в кількості календарних чи робочих днів цього періоду. Погодинною заробітною платою є така її форма, при якій розмір плати за труд працівника залежить від часу роботи, припускаючи належне виконання їм посадових функцій. Погодинну оплату праці доцільно застосовувати лише там, де в працівника немає можливості впливати на збільшення обсягу діяльності, де відсутні кількісні показники обсягу роботи чи вони визначені процесом праці, де витрати на облік результатів праці можуть бути значними, де якісний аспект результатів праці превалює над кількісним, чи де робота є небезпечною. Типовим прикладом таких робіт є праця керівників, фахівців і службовців.

В даний час майже 80% робітників економічно розвинутих країн знаходяться на погодинній оплаті праці з установленою нормою виробітку. При системі оплати по "окладах, що плавають", у кожному наступнім місяці для працівника утвориться новий оклад, підвищений чи знижений на розмір обраного співвідношення в залежності від визначеного показника. Утворюючим показником на промисловому підприємстві є продуктивність праці, що застосовується до засобів на оплату праці в співвідношенні 1:0,7. Тобто на кожен відсоток приросту продуктивності праці за календарний період повинно відбуватися збільшення посадового окладу на 0,7% за умови виконання завдання. Показником зміни в розмірі оплати праці може стати будь-який основний показник діяльності підприємства: зростання прибутку, рентабельність, собівартість й інші.

У системі оплати по "окладах, що плавають," передбачається порядок зниження окладів до визначеного рівня: нижньою границею "окладу, що плаває," буде розмір посадового окладу за штатним розкладом; збільшення окладу не обмежується. Недоліком погодинної форми оплати праці є те, що посадовий оклад не в змозі врахувати розходження в обсягах робіт, виконаних працівниками однієї кваліфікації. Такі розходження, обумовлені різним рівнем продуктивності праці, які враховує лише відрядна оплата праці. Звичай вона торкається працівників масових професій – робітників. Складним є визначення кількості вирішуваних питань для фахівця певної кваліфікації. Однак, застосування відрядного підходу до оплати праці фахівців можливе на основі посадового "окладу, що плаває" і встановлення норми праці, що розраховується відповідно до обертів документів по певній службі в установі. На підставі встановленої відрядної розцінки розраховується відрядний заробіток. При відрядній оплаті праці фахівців, важливу роль слід приділяти нормам, що враховують нормальну інтенсивність праці, а також контролю по їх використанню.

Тарифна ставка не враховує індивідуальні особисті працівників, такі, як розумові здібності, фізична сила, витривалість, дисципліна, швидкість реакції, ретельність та інші, що неминуче впливають на продуктивність праці. Їх враховує додаткова частина заробітної плати.

Постійна частина, як правило, буває практично незмінною. Вона виплачується працівнику завжди при роботі весь період. Перемінна частина може бути різною в різні місяці роботи; її розмір залежить як від зовнішніх умов діяльності, так і від особистих зусиль самого працівника.

Постійна частина заробітної плати визначається як добуток посадового окладу за годину роботи і проробленого часу. Перемінна частина заробітної плати більш рухлива, її розмір залежить від трудових зусиль працівника в даний період часу. З позицій стимулюючої функції заробітної плати має значення співвідношення її постійної і перемінної частин. Найбільш доцільним є співвідношення 50:50, яке означає, що постійна і перемінна частини в заробітку однакові. При таких співвідношенні створюються значні можливості для стимулювання праці, тому що половина заробітку працівника піддається змінам. В умовах поживлення економіки це співвідношення слід вважати найбільш ефективним для оплати праці фахівців.

Кожен елемент частин заробітної плати залежить від факторів трудової діяльності. Роботодавцю потрібно пам'ятати про значимість кожного елемента в організації заробітної плати, що винагороджує працівника за працю, не порушуючи гарантій держави в трудовій області, і відповідно до задач підприємництва. Форми і системи заробітної плати, а також її склад повинні відповідати функціям оплати і стимулювання праці працівника в кожен період часу і враховувати особливості роботи підприємства і кон'юнктуру ринку.

УДК 334.012.6(477)

ПОДХОДИ К ФОРМИРОВАНИЮ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В УКРАИНЕ

Загрявая Ю.А.
(г. Харьков, Украина)

The approaches to formation of corporate control in Ukraine

Опыт стран с переходной экономикой показывает, что передача корпоративной собственности в частные руки не достаточна для обеспечения развития сильного корпоративного сектора. Основная причина того, почему страны с переходной экономикой не имели большого успеха в корпоративной реструктуризации - это отсутствие надлежащего корпоративного управления. Предприятия не будут эффективно действовать без соответствующих правил управления и учреждений, которые следят за их выполнением, а также без создания и поддержания культуры корпоративного управления среди руководителей, акционеров и заинтересованных лиц.



Рис. 1. Структура акционерного механизма корпорации.

Корпоративное управление недавно вышло на передний план политических дебатов во всем мире. По сути, оно относится к механизмам и системе корпоративного принятия решений, но оно также может включать широкий спектр других вопросов, в основном касающихся стимулов, которые движут поведением фирм. Корпоративное управление имеет двойное значение. С одной стороны оно охватывает отношения и стиль поведения между разными агентами в обществе с ограниченной ответственностью. Иными словами, корпоративное управление относится к способу, которым руководители и акционеры, а также сотрудники, кредиторы, основные клиенты и общины взаимодействуют между собой с целью формирования стратегии корпорации.

С другой стороны, корпоративное управление также нуждается в поддержке государственной политики, поскольку корпоративная стратегия формируется в рамках, создаваемых рядом

норм. Эти нормы могут включать частное саморегулирование, но в основном они складываются из государственных законов и нормативных положений, таких как закон о предприятиях, законодательство о ценных бумагах, требования к допуску ценных бумаг к котировке на бирже и законодательство о неплатежеспособности. Надлежащая практика корпоративного управления не может развиваться без соответствующей государственной политики и без адекватной законодательной основы. Вот почему правительства во всем мире уделяют надлежащее внимание корпоративному управлению.

В течение последних нескольких десятилетий роль корпораций частного сектора как движущей силы экономического развития и создания рабочих мест во всем мире значительно возросла. Экономический рост все больше зависит от развития конкурентного корпоративного сектора. Улучшение корпоративного управления - это вопрос, который все больше волнует все страны. В особой мере это относится к странам с переходной экономикой, которым необходимо создавать у себя частный корпоративный сектор с нуля.

Во-первых, надлежащее корпоративное управление необходимо странам с переходной экономикой для построения хорошо функционирующих учреждений для экономического роста. Во-вторых, надлежащее корпоративное управление ведет к эффективному распределению капитала и делает вклад в развитие финансовых рынков. В-третьих, существование надлежащего корпоративного управления является важной предпосылкой для привлечения иностранных инвестиций в странах с переходной экономикой

Основные этапы вхождения АО в систему нормального корпоративного управления:

- строгое определение целей деятельности корпорации и способов мотивации ее собственников;
- реструктуризация корпорации до уровня самоуправляемых структур под контролем акционеров;
- выбор организационной структуры, адекватной поставленным целям: производство, сбыт продукции, инновации, маркетинг;
- разработка единых принципов работы корпорации в виде миссии, философии или иного основополагающего документа;
- изменение философии оплаты труда персонала, особенно высших менеджеров.

Процесс функционирования корпорации реализуется через акционерный механизм, представленный на рис. 1.

Во всех принципиальных решениях корпорации должен быть достигнут баланс интересов участников корпоративных отношений, что повышает их важность и значимость.

Это составляет весьма важную часть корпоративного права, представляющую интерес для формирующейся системы корпоративных взаимоотношений, складывающихся в Украине. Западный опыт не предполагает решение всех отечественных проблем. Применительно к нашим условиям необходимо учитывать особенности как экономического, так и социального развития общества, мировоззрение большинства обывателей, уровень готовности большинства граждан к восприятию норм корпоративной культуры.

Без таких поправок западные рекомендации по корпоративному управлению неприменимы к нашей реальности.

Развитие корпораций сегодня напрямую зависит от правильно организованной финансовой деятельности и в ее рамках кредитной и инвестиционной деятельности.

Поскольку реструктуризация корпораций и создание самоуправляемых структур приводят к взаимодействию большого количества юридических лиц, высший менеджмент корпорации должен "спроектировать" принципы финансовой, в том числе, инвестиционной и кредитной, стратегии на базе следующих основных целей:

- консолидация структурных подразделений корпорации в отношении налогов;
- создание дополнительных производственных мощностей в результате слияния предприятий;
- проникновение через посредничество корпорации в производство и сбыт различных товаров;
- проведение единой политики и осуществление единого контроля за соблюдением общих интересов корпорации;
- ускорение процесса диверсификации;
- организация внутренних инвестиционных потоков;
- централизация участия в капитале других предприятий и др.

В частности, кредитная стратегия корпорации должна быть ориентирована прежде всего на оптимизацию мобилизуемых ресурсов за счет привлечения капиталов путем выпуска ценных бумаг и работы с ними, активного взаимодействия с зарубежными фондами и организациями, использования оффшорных и свободных экономических зон, аккумуляирования средств работников корпораций в негосударственных (может быть учрежденных в рамках корпорации) пенсионных фондах, страховых компаниях, в форме банковских депозитов и вложений в ценные бумаги, а также в капитале предприятий-участников корпорации.

Таким образом, успешная финансовая деятельность корпорации обусловлена своевременными и правильными решениями высшего менеджмента, как в текущей работе, так и в вопросах стратегии, которая должна разрабатываться не только на основе внутренних условий корпорации, но и с учетом влияния финансовой системы, сложившейся на Украине на данном этапе.

Литература

1. И.Ф. Спасибо-Фатеева «Акционерные общества»
2. МФК «Управление АО»

УДК 658.14/17

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИОННОГО ОТДЕЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ястремская Е.Н. канд. экон. наук.
(г. Харьков, Украина)

In the article the problems of usage by economical services of industrial firms retrospective, current and strategic control on all to his functions are parsed, the necessity of organization of investment department is demonstrated and his standard frame is offered.

В трансформационных условиях хозяйствования, характеризующихся значительными изменениями внешнего окружения, промышленные предприятия должны уделять значительное внимание такому виду управления, как стратегическое, которое позволит субъекту предпринимательства формировать эффективный путь развития, адекватный его возможностям и достижимый в определенной внешней среде. Однако, как показали результаты проведенных исследований, промышленные предприятия Украины не уделяют достаточного внимания стратегическому аспекту управления в соответствии со всеми его функциями, такими как: анализ, прогнозирование, планирование, организация, регулирование, координация, учет, контроль, стимулирование, мотивация.

Проведенный анализ выполняемых работ в экономических подразделениях промышленных предприятий Харьковского региона в соответствии с видами управления (табл. 1) показал, что отделы оперируют информацией по уже свершившимся фактам.

Ретроспективное управление составляет 30,0% в общем объеме выполняемых работ) или фиксируют то, что происходит в настоящий момент (текущее и оперативное управление составляет 55,6%). Из всего объема управленческих работ, осуществляемых экономическими службами, только 14,4% можно отнести к стратегическому управлению, что является явно недостаточным в условиях нестабильного экономического окружения предприятий. При этом следует отметить, что данные выводы получены в результате обработки документов, регламентирующих деятельность экономических отделов и, следовательно, при проведении анализа присутствовал определенный элемент субъективизма. Оперативный опрос работников внес определенные коррективы в полученные результаты и показал, что доля стратегического управления в общем объеме управленческих работ не превышает 10,0%. В связи с этим текущее управление только обеспечивает сохранение сложившейся стратегической позиции, а работа по обеспечению будущей жизнеспособности

предприятий не проводится, так как практически не уделяется внимания разработке стратегии развития предприятия.

Таблица 1

Анализ выполняемых работ по видам управления*

Вид управления	ПЭО		ФО		ОУС		Всего	
	ко- личество	удель- ный вес, %	коли- чество	удель- ный вес, %	ко- личество	удель- ный вес, %	коли- чество	удель- ный вес, %
Ретроспективное	16	25,0	17	22,0	23	40,0	46	30,0
Текущее	30	46,0	15	48,0	27	47,0	72	47,1
Оперативное	4	6,0	9	30,0	-	-	13	8,5
Стратегическое	15	23,0	-	-	7	13,0	22	14,4
Итого:	65	100,0	31	100,0	57	100,0	153	100,0

* Примечание: ПЭО – планово-экономический отдел, ФО – финансовый отдел, ОУС – отдел управления собственностью.

Обращает на себя внимание тот факт, что в ПЭО стратегическому управлению уделяется больше внимания, его доля составила 23,0% и приблизилась к доле по ретроспективному управлению, т.е. эти два вида управления сбалансированы, что является положительной тенденцией для данных предприятий.

В ФО практически отсутствует выполнение функции стратегического управления финансовыми ресурсами, превалирует текущее и оперативное управление, доля которых составила 78,0% в общем объеме управленческих работ.

В ОУС совершенно отсутствует оперативное управление и наблюдается значительный дисбаланс между ретроспективным (40,0%) и стратегическим управлением (13,0%), что для данных отделов недопустимо, т.к. управляя собственностью, именно эти отделы закладывают основу роста эффективности работы предприятий и следовательно должны активно участвовать в разработке экономической стратегии предприятий.

Анализ основных функций в разрезе видов управления в целом (табл. 2) показал, что при выполнении поставленных задач экономические отделы предприятий, согласно регламентирующим их деятельность документам в основном выполняют такие функции, как "организация" (26,8%), "учет" (18,3%), "контроль" (21,6%), "анализ" (11,8%), т.е. доля перечисленных функций в общем объеме составит 78,5%. Такие функции как "прогнозирование", "планирование" и "координация" используются в незначительных объемах, а функции "стимулирование" и "мотивация" не используются совсем.

Таблица 2

Сводная таблица основных функций и видов управления функционального блока "Управление экономической деятельностью"

Основные функции управления	Виды управления								Итого	
	ретроспективное		текущее		оперативное		стратегическое			
	количе- ство	%								
Анализ	6	13,1	7	9,7	1	7,7	4	18,2	18	11,8
Прогнозирование	-	-	-	-	-	-	1	4,5	1	0,7
Планирование	3	6,0	4	5,6	-	-	3	13,6	10	6,5
Организация	13	28,3	23	31,9	1	7,7	4	18,3	41	26,8
Регулирование	2	4,3	8	11,1	-	-	2	9,1	12	7,8
Координация	1	2,2	5	6,9	1	7,7	3	13,6	10	6,0
Учет	14	30,4	8	11,1	4	30,8	2	9,1	28	18,3
Контроль	7	16,2	17	23,7	6	46,1	3	13,6	33	21,6
Стимулирование	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мотивация	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	46	100,0	72	100,0	13	100,0	22	100,0	153	100,0

Исходя из анализа регламентирующих документов, при ретроспективном управлении в основном используются функции организации (28,3%) и учета (30,4%), при текущем - организации (31,9%) и контроля (23,7%), при оперативном - контроля (46,1%) и учета (30,8%), при стратегическом - анализа (18,2%), организации (18,3%), планирования (13,6%), координации (13,6%), контроля (13,6%). Обращает внимание на себя тот факт, что в процессе стратегического управления используется больший набор функций (8 из 10), чем в других видах управления: ретроспективное (7 из 10), текущее (7 из 10), оперативное (5 из 10). Таким образом, в работе экономических подразделений следует предусмотреть использование полного набора

функций управления по всем его видам. Особое внимание следует уделить стратегическому аспекту управления.

Как показали проведенные исследования, независимо от результатов функционирования, предприятия должны обязательно включать в состав своей организационной структуры отделы, занимающиеся формированием, обоснованием и разработкой стратегии развития. Общеэкономическая стратегия развития должна включать вопросы технического, технологического, организационного, финансового, социального направлений.

Однако единственным условием их обоснованной реализации является инвестиционное. Каждое из экономических подразделений предприятий в определенной мере осуществляет разработку элементов общей стратегии в соответствии со своей функциональной направленностью. Объединить их, обосновать, согласовать и реализовать позволит только инвестиционная стратегия, генерацией которой должно заниматься отдельное структурное подразделение – инвестиционный отдел, используя в своей работе бизнес-предложения и планы, разработанные другими функциональными отделами предприятий. На уровне стратегического управления существует тесная связь между всеми видами ресурсов, предметными областями отделов, входящих в функциональные блоки управления экономической деятельностью предприятий. Поэтому для реализации задач стратегического управления экономическими ресурсами возникает необходимость реорганизации этого функционального блока путем создания специального подразделения, занимающегося разработкой стратегических и тактических вопросов бизнес-планирования и, как следствие, инвестиционным проектированием в целом.

Такое подразделение следует рассматривать как сложную систему, которая приспособливается к изменяющимся условиям внешнего и внутреннего окружения путем оптимизации деятельности составляющих её звеньев, т.е. на основе системного подхода, исходящего из того, что любое подразделение является системой, каждый элемент которого преследует определенные цели. В соответствии с принципами системного анализа, инвестиционный отдел необходимо рассматривать как целостный объект управления, а функции управления – как совокупность всех видов деятельности, необходимых для достижения инвестиционных целей.

При этом внимание следует сосредотачивать не столько на отдельных звеньях данного подразделения, сколько на их взаимосвязи и взаимодействии, на подчинении интересам всего предприятия. Главная задача системного подхода при построении инвестиционного отдела состоит в том, чтобы приспособить его структуру к изменяющимся условиям, сделать ее гибкой, а следовательно эффективной. Эффективность инвестирования существенно зависит от организационной формы, выбранной для управления этим процессом.

В зависимости от характера подчиненности и особенностей организации работы по инвестированию и бизнес-планированию целесообразно использовать различные виды адаптивных программно-целевых структур - от структур координационного типа до проектных. Структура координационного типа по своей сути соответствует механизму инвестирования, накладываемому на линейно-функциональную структуру с целью повышения ее гибкости. В зависимости от уровня управления, на котором они создаются, принято различать две их формы. Первая – комитеты по инвестиционному бизнес-планированию (КИБП) должна объединять, как правило, руководителей высшего и среднего управленческого уровня, вторая - временные творческие группы (ВТГ) формируется в основном из специалистов. В связи с тем, что права таких структур ограничены, их возможностей может быть недостаточно для реализации стратегических инвестиционных мегапроектов.

В таких случаях предпочтение следует отдавать структурам проектного типа. Взаимодействие структур проектного типа с линейно-функциональными подразделениями способствует установлению новых устойчивых горизонтальных связей и соответственно усилению ответственности их руководителей за качество принимаемых инвестиционных решений.

В условиях, когда инвестирование должно стать непрерывным процессом, независимо от вида описанных структур, предприятие должно обязательно образовывать постоянно действующее подразделение - инвестиционный отдел. основополагающими документами, регламентирующими его работу, являются положение о структурном подразделении - инвестиционном отделе и должностные инструкции начальника инвестиционного отдела и его заместителя. Уточнение и дополнение содержания положения, исходя из учета реальных финансовых возможностей предприятия, а также разработка должностных инструкций исполнителей, должна осуществляться начальником инвестиционного отдела после его утверждения в должности.

Автором разработаны общие положения об инвестиционном отделе, типовая структура которого представлена на рис. 1. Главной задачей инвестиционного отдела является разработка и реализация инвестиционной стратегии предприятия с целью обеспечения его устойчивого социально-экономического развития.

Разработанные рекомендации по созданию инвестиционного отдела могут быть использованы промышленными предприятиями независимо от отраслевой принадлежности с целью адаптации их к трансформационным условиям хозяйствования.

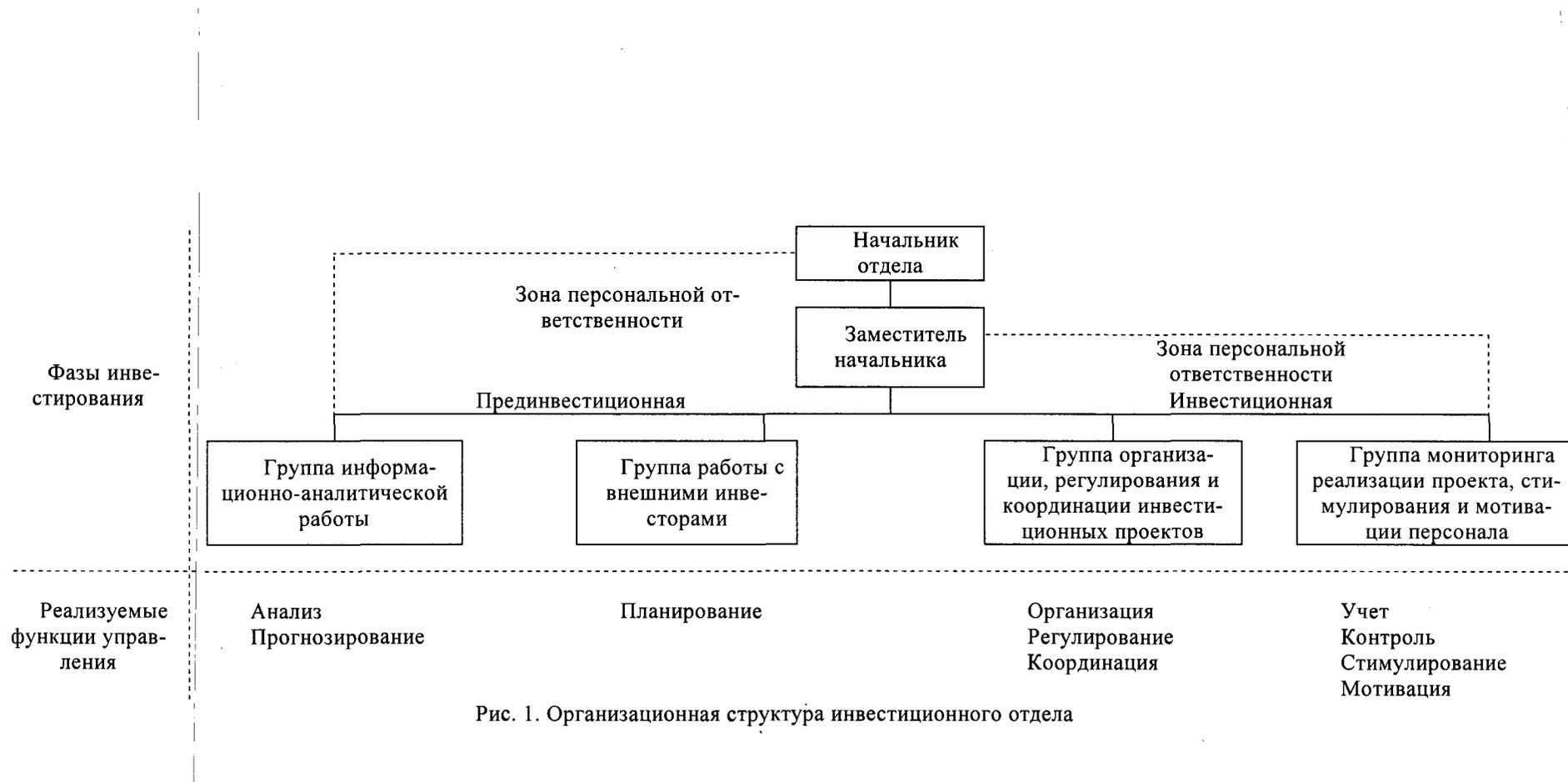


Рис. 1. Организационная структура инвестиционного отдела

УДК 331.103

РОЛЬ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАБОТНИКОВ УМСТВЕННОГО ТРУДА

Буцкая И.О.

(г. Харьков, Украина)

In the given article the role of the psychophysiological factors influential in efficiency of an intellectual labour is reviewed. The most relevant psychophysiological factors affecting productivity of the workers, held by fulfilment predominantly of mental functions are secured (discharged). Are offered components permitting to optimize an intellectual labour.

Одним из основных направлений совершенствования организации труда работников, занятых выполнением преимущественно умственных функций, является создание таких условий, которые обеспечивали бы наибольшую эффективность их деятельности при сохранении здоровья и продолжительной работоспособности. При этом к категории умственный труд принято относить те виды трудовой деятельности, которые характеризуются преобладанием нервных нагрузок, связанных с объемом, напряжением, глубиной внимания, способностью его к переключению, активацией процессов мышления, эмоциональной сферы и в тоже время не требующие значительных физических усилий.

Для большинства современных профессий, связанных с выполнением преимущественно умственной работы, характерны ускоренный темп, резкое увеличение объема и разнородности информации, дефицит времени для принятия решений, а также возрастание социальной значимости этих решений и личной ответственности. Все это нередко приводит к эмоциональному напряжению и оказывается одной из причин возникновения сердечно-сосудистых и нервных заболеваний, ведет к определенным негативным изменениям костно-мышечной системы, а также систем дыхания и кровообращения.

Поэтому знание особенностей психологии и физиологии людей, занятых различными видами умственного труда, позволяет решать вопросы повышения эффективности их трудовой деятельности путем улучшения существующих условий труда.

Поскольку умственный труд имеет определенную специфику (существует значительный временной лаг между приложением труда и его результатом; для умственного труда нелегко установить конкретную норму; каждая конкретная ситуация требует принятия определенного ответственного решения и пр.), то от работников, занятых данным видом деятельности, и в первую очередь, управленческим трудом, требуется высокий профессионализм, работоспособность и хорошая теоретическая подготовка. При этом профессиональную работоспособность чаще всего определяют как способность человека к выполнению конкретной деятельности в рамках заданных временных лимитов и параметров эффективности. Таким образом, показателем работоспособности является эффективность деятельности.

Поскольку процесс труда, с одной стороны, связан с целями и задачами производства, деятельности, а, с другой – функциональными возможностями человека, то оценка эффективности умственного труда, особенно за небольшие промежутки времени (месяцы, недели, дни), представляет значительные трудности. В силу этого чаще всего пользуются физиологическими и психологическими корреляторами работоспособности, дополняя показателями эффективности труда. При этом показателем эффективности принято считать количество успешно выполненных задач относительно общего количества задач, которые необходимо решить. Однако особенностью работы в высоком темпе является то, что она ведет к снижению надежности качественного результата за счет развития признаков стресса.

Определенный уровень работоспособности при различных видах умственной деятельности человека формируется на фоне конкретного функционального состояния его организма. Функциональное состояние организма – здоровье, психофизиологические характеристики (параметры внимания, памяти, скорость переработки информации и др.), необходимые для выполнения трудовой задачи, физиологические затраты на поддержание максимальной мобилизации функций – зависит от индивидуальных качеств человека. Согласно И.П. Павлову, свойства нервной системы, точнее – врожденные особенности, являются основой индивидуальной организации поведения.

Установлено, что для индивидов с сильной или слабой нервной системой характерны различные уровни оптимальной активности, утомления, адекватности ответных реакций на изменение внешних условий, а также различные возможности организма, направленные на восстановление функций после работы. Поэтому знание физиологического регулирования организма при конкретном виде труда с учетом условий, рабочей позы, организации отдыха является основой для сохранения работоспособности и здоровья человека.

Для умственных видов труда характерным является ограниченность подвижности организма работника. Это развивает гиподинамию и гипокинезию, ведущих в свою очередь к снижению эффективности деятельности центральной нервной системы, сердечно-сосудистой, снижению устойчивости к стрессам, ослаблению выносливости. В силу этого рациональная организация умственного труда – существенный момент в создании условий для плодотворной работы служащих, специалистов, руководителей.

Важным условием продуктивности умственной деятельности является создание наиболее комфортных ус-

ловий для работы, предотвращение воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, а также отвлекающих факторов. В силу этого в условия труда входят факторы среды (шум, микроклимат, освещенность), различные помехи, вызывающие отвлечение от основной деятельности, и т.п. При наличии неблагоприятных внешних факторов, сниженной физической активности, чрезмерном эмоциональном напряжении, отрицательных психосоциальных факторах (конфликтные ситуации в коллективе, длительная работа в одиночку), сбоях в работе, наличии экстремальных условий, недостатке информации, дефиците времени и пр. возможны непредсказуемые сбои в здоровье работников, занятых умственным трудом.

На основании вышеуказанных психофизиологических характеристик умственного труда можно сделать вывод о необходимости принятия конкретных мер по повышению его эффективности с минимальными психофизиологическими затратами субъекта умственного труда.

В частности, для оптимизации умственной деятельности необходим учет определенных взаимоотношений личности и труда. С нашей точки зрения, это должно включать следующие составляющие.

1. Формы приспособления личности к определенному виду деятельности:

- психофизиологическая рационализация подбора субъекта труда (профориентация, профотбор, профконсультация);
- профессиональная адаптация (профобучение на рабочем месте, адаптация ко времени приема и переработки информации, решения производственных задач);
- психологическая подготовка к труду.

2. Формы приспособления труда к требованиям личности:

- условия труда (организация рабочего места с учетом антропометрических данных работника);
- переменная рабочая поза (как условие сохранения длительной рабочей активности);
- условия реализации функции во времени (сокращение нерегламентированных отвлечений, как фактор экономии времени на процессах возвратной адаптации к основной деятельности и минимизация физиологических и психологических затрат организма) и оптимизации информационных потоков;
- режим и форма отдыха (двигательная активность для снятия статического напряжения опорно-двигательного аппарата работника, насыщение крови кислородом для активизации деятельности коры головного мозга, увеличение выносливости организма к продолжительным нагрузкам).

3. Психологические условия умственного труда:

- создание благоприятного психологического климата в межличностных отношениях для эмоциональной активизации деятельности;
- организация «малых групп» (как форма поиска творческого подхода к профессиональной деятельности);
- обеспечение условий для творческого роста.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать вывод о необходимости учета психофизиологических особенностей умственного труда, поскольку это позволит повысить эффективность исполнительского труда при минимальных психофизиологических затратах субъекта труда, целью которых является обеспечение здоровья и поддержание максимальной работоспособности персонала предприятия.

Литература

1. Егоров А.С., Загрядский В.П. Психофизиология умственного труда. – Л.: Наука, 1983. – 131 с.
2. Организация и нормирование труда: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.В. Адамчука / ВЗФЭИ. – М.: Финстатинформ, 2000. – 301 с.
3. Павлов И.П. Полное собрание сочинений. Т. 1. М.: Наука, 1951. – 230 с.

УДК 658:339.137

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТРИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОЙ ПОЗИЦИИ ФИРМЫ

Чечетова-Терашвили Т.М.

(г. Харьков, Украина)

At the present stage of enterprises' development the particular interest is the matrix method of enterprise competitiveness estimation, based on the idea of studying the competition processes in dynamic. Every matrix has its own advantage and disadvantages and each of them characterizes strong and weak aspects of enterprise activity.

На современном этапе развития предприятий особый интерес представляют матричные методы оценки конкурентоспособности предприятия, основанные на идеи рассматривания процессов конкуренции в динамике. Теоретической базой этих методов является концепция жизненного цикла товара и технологии. Согласно этой концепции какой-либо товар или технология с момента его появления на рынке и до исчезновения проходит определённые стадии жизненного цикла, который включает в себя внедрение, рост, насыщение и спад. На каждом этапе производитель может реализовать товар или продукт данной технологии в тех или иных масштабах, что объективно отображается в части рынка, который занимается, и в динамике продаж.

Таблица 1

Сравнение матричных моделей стратегического анализа

Виды матричных моделей	Сильные стороны	Слабые стороны	Направления использования
1	2	3	4
БКГ	Использование количественных показателей; отличается простотой в использовании, наглядностью и выразительностью представлений анализируемых хозяйственных процессов; влияние на принятие решений при выборе стратегических позиций на рынке; опирается на объективные показатели привлекательности и конкурентоспособности, предупреждая субъективизм.	Приведение к единому ключевому фактору успеха: затраты; на позволяет чётко определить стратегические цели предприятия; трудность измерений различных показателей (темпов роста, параметров основных конкурентов и т.д.); отсутствие комплексного подхода к действиям на рынке.	Направления деятельности, которым присущи большие объёмы производства.
McKinsey	Включение в состав ряда факторов, приоритеты дифференциации; гибкость матрицы обеспечена выбором показателей из конкретной ситуации; использование большого числа данных; применение матрицы во всех фазах жизненного цикла спроса при разных условиях конкуренции	Ограниченность количественного анализа; высокая субъективность; отсутствие связи между показателями конкурентоспособности и денежными потоками; отсутствие точных числовых результатов; статичный характер матрицы; слишком общий характер рекомендаций, трудности выбора стратегий из множества вариантов; трудности учёта рыночных отношений, слишком большое количество критериев. По мере роста числа факторов более сложной проблемой становится их измерение.	Обоснование выбора диверсификация/ ликвидация для предприятий со связанными направлениями деятельности.
АДЛ	Учитывание динамики и разносторонности конкурентных структур; применимость в высокотехнологических отраслях.	Субъективность; эмпиризм; ограниченность количественных измерений; невозможность учитывания измерений рынка;	Диверсифицированные предприятия конгломератного типа.
Shell	Возможность её применения в любой фазе жизненного цикла спроса; поддержка баланса между излишком и дефицитом средств путём развития перспективных видов предприятий; Позиционирование на матрице предприятий, которые пребывают в разных фазах жизненного цикла продукта.	Ограниченность использования матрицы капиталоемкими отраслями промышленности; неточность результатов сравнения предприятий, принадлежащих разным отраслям; Субъективизм в определении количественной оценки показателей [1].	Некапиталоемкие предприятия производящие продукцию массового спроса.
Матрица И. Ансоффа	Простота и наглядность представленных возможных стратегий; наглядная систематизация сложных обстоятельств окружающей среды [2].	Односторонняя ориентация на увеличение; учёт только двух показателей (товар-рынок); субъективизм.	Диверсифицированные предприятия.

Матрицы можно построить с использованием любой пары показателей стратегического положения. Наиболее информативными показателями служат темпы роста отрасли, доля на рынке, долговременная привлекательность отрасли, конкурентные сильные стороны, стадия эволюции продукта/рынка. Обычно один аспект матрицы характеризует привлекательность отраслевой среды, а другой - сильные стороны предприятия в отрасли.

Сравнивая все существующие матричные модели необходимо выделить как положительные так и отрицательные стороны их применения (табл.1).

Относительно выбора определённой модели, то на наш взгляд, было бы нецелесообразным ограничиваться при анализе использованием одной из них.

Таким образом, матричные методы позволяют провести качественный анализ конкурентных позиций, однако экспертная оценка уровня каждого из входящих в группу показателей по трехбалльной шкале (высокий, средний и низкий уровень) без ранжирования исследуемых параметров по значимости представляется чрезмерно упрощённым подходом. Именно по этой причине матричные методы оценки конкурентоспособности вполне обоснованно критикуются рядом исследователей.

Матричные методы оценки конкурентоспособности при наличии достоверной информации об объёмах реализации предприятий, которые оцениваются, позволяют обеспечить высокую репрезентативность оценки. В то же время получение подобной информации чаще всего затруднено или невозможно, что значительно снижает практическую ценность метода. Кроме того, метод исключает проведение анализа причин явлений, которые происходят, и осложняет принятие управленческих решений.

Каждой матрице присущи свои достоинства и недостатки и каждая по-своему характеризует сильные и слабые стороны предприятия. При условии наличия всех данных необходимо строить по нашему мнению все матрицы, так как целесообразно оценивать позицию предприятия в конкурентной среде с разных сторон. Таким образом, использование всех предложенных выше матриц способствует лучшему пониманию сложившейся на данный момент времени ситуации.

Литература

1. Налівайко А.П. Теорія стратегії підприємства. Сучасний стан та напрямки розвитку : Монографія.- К.: КНЕУ, 2001.-227с.
2. Немцов В.Д., Довгань Л.С. Стратегічний менеджмент: Навчальний посібник.-ДП "Експрес-Поліграф", 2001.- 559 с.
3. Пономаренко В.С. Стратегічне управління підприємством. – Харків: Вид. ХДЕУ, 2000. – 620 с.

УДК 331.101.3

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА СИСТЕМУ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ

Шульга А.Ю.

(г. Харьков, Украина)

Effect of external factors at a system of stimulation of staff of organization

В настоящее время на предприятиях Украины возросло внимание к одной из основных функций процесса управления – материальному стимулированию труда персонала. Это связано с тем, что качество системы труда во многом определяет результаты деятельности любого предприятия.

Стимулирование труда тесно связано с мотивацией персонала, к определению понятия которой экономисты подходят по-разному. Одни - рассматривают мотивацию труда, как процесс стимулирования самого себя и других к деятельности, направленной на достижение индивидуальных и общих целей организации, другие - как процесс целенаправленного формулирования у людей заинтересованного отношения к труду и его результатов. Мотивация труда представляет собой процесс побуждения работников к проявлению инициативности, трудовой активности и заинтересованности в достижении поставленных перед организацией целей.

Стимулирование труда является составляющей частью мотивации персонала и представляет собой систему конкретных мер, направленных на побуждение у каждого отдельно взятого индивидуума стремления к выполнению целенаправленной общественно полезной работы.

Для формирования более гибкой и эффективной системы стимулирования труда необходимо учитывать такие влияющие на нее факторы: рынок труда, уровень безработицы, уровень инфляции, социально-культурные особенности общества, социальная политика государства и др.

Большую роль в обеспечении стимулирования персонала имеет рынок труда. В условиях развития рыночной экономики в Украине рынок труда призван выполнять такую важную стимулирующую функцию как создание взаимосвязи между количеством труда и размером заработной платы. При этом на размер заработной платы влияет уровень безработицы. В Украине в настоящее время на большинстве предприятий сохраняются низкие ставки заработной платы, что приводит к увеличению предложения рабочей силы на рынке труда. Так, согласно данным Государственного комитета статистики Украины в 2000 году в государственную службу занятости в поисках работы обратилось 1,5 млн. граждан, что на 102,9 тыс. больше, чем в 1999 году. Большую часть из них составляли женщины (53,3%), каждый третий - в возрасте до 28 лет. Из зарегистрированных граждан более 95% имели статус безработных. Сложившуюся ситуацию осложняет тяжелое финансовое положение большинства украинских предприятий, которое выражено в задержке выплат заработной платы, что приводит к снижению заинтересованности работников в повышении производительности труда.

Это побуждает трактовать стимулирование труда результативной трудовой деятельности как составляющую сложившейся ситуации на рынке труда в Украине. При этом стимулы становятся важным элементом изменений на этом рынке.

Неразрывно связаны с стимулированием труда и социально культурные особенности общества, такие как жизненные ценности и традиции. Так, на протяжении долгого времени сложился стереотип, согласно которому женщины не склонны рисковать и некомпетентны в качестве руководителей. Это приводит к дискриминационной практике найма и служебного продвижения женщин, несмотря на то, что такая установка противозаконна, избавиться от подобной довольно сложно.

Необходимо отметить, что рабочие и служащие по-разному относятся к своей работе: одни нуждаются в работе обладающей большей содержательностью, требующей творческого подхода, другие – вообще не склонны провести всю свою трудовую жизнь в данной организации.

Из выше сказанного следует, что для повышения стимулирующего эффекта руководителю необходимо учитывать навыки, умения и увлечения своих сотрудников, а также использовать по возможности индивидуальный подход к каждому и прямую зависимость между индивидуальными вознаграждениями и индивидуальными показателями работы. Для повышения эффективности труда на предприятиях может разрабатываться ряд частных методов, например, для обеспечения ответственности в работе и личных достижений руководитель может снижать контроль при повышении трудовой активности, предоставлять дополнительную свободу персоналу в его деятельности, выбору работы; вводить новые задания, что повлечет повышение профессионального роста работника.

Руководителям предприятий при стимулировании своих сотрудников к труду необходимо также учитывать уровень инфляции. В сложившихся условиях при повышении уровня цен, заработная плата, как правило, остается неизменной либо ее повышение является незначительным. Поэтому, чтобы избежать снижения стимулирующей роли заработной платы, предприятия изменяя ее уровень должно учитывать изменения стоимости жизни.

Необходимо также учитывать прямое воздействие социальной политики государства, включающей в себя уровень образования, пенсионное обеспечение, социальное страхование и т.д. на отношение населения к труду.

Отношение к труду у человека формируется еще в процессе его обучения. От полученных знаний зависит эффективность труда молодого специалиста. На сегодняшний день наблюдается перенасыщенность рынка труда как высококвалифицированными работниками, которые не могут по объективным причинам получить соответствующее рабочее место, так и выпускниками высших учебных заведений (ВУЗ), которые не могут найти работу по специальности после окончания обучения. В свою очередь предпосылкой к невостребованности молодых специалистов на рынке труда послужило в некоторой степени несогласованность между учебными учреждениями близкой специализации по вопросам взаимопомощи в трудоустройстве выпускников. Таким образом, молодые специалисты, как правило, не могут применить знания полученные в ВУЗе на практике и работают не по специальности, что приводит к неудовлетворенности работой и отсутствию условий для самореализации.

Что касается системы пенсионного обеспечения, она в настоящее время не стимулирует качественный, квалифицированный и длительный труд. Это связано с отсутствием тесной взаимосвязи между пенсионными отчислениями и выплатами по мере увеличения заработной платы специалистов, что приводит к “уравниловке” при перераспределении доходов. Соотношение минимальной и максимальной обычной пенсии по стране составляет 1:1,62. Пенсионная Реформа предусматривает в будущем зависимость размера пенсии работника от перечисленной им суммы в Пенсионный фонд и стажа работы. Так как размер перечисленной суммы зависит от размера заработной платы, то это приведет с одной стороны к заинтересованности работников искать более высокооплачиваемую работу, а с другой – к стимулированию квалифицированных кадров со стороны предприятий с целью их удержания на рабочих местах.

Социальная политика в целом не обеспечивает защиту социальных, экономических и профессиональных прав работника, не способствует созданию благоприятных условий труда и жизни на должном уровне.

Таким образом, для того чтобы мотивация труда была эффективной, стимулировала работников как материально, так и духовно, необходима реконструкция социальной политики государства, четкое взаимодействие между органами государственной власти, снижение роста необоснованных налогов и сборов, ликвидация противоречий принятых законов.

УДК 339.658

ОБНОВЛЕННЯ ОСНОВНИХ ВИРОБНИЧИХ ФОНДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІЗИНГУ

Салун М.М., канд. екон. наук

(м. Харків, Україна)

Updating of the main production assets of industrial firms with the help of leasing.

В умовах перехідної економіки найгострішою проблемою підприємництва, у тому числі державного є дефіцит фінансових ресурсів. У такій ситуації підприємство може вижити за умов раціонального використання най-

сучасніших форм фінансування і кредитування, таких як факторинг, лізинг, селенг, овердрафт та ін.

Підприємствам державної форми власності, які успішно конкурують на ринку, необхідне переозброєння виробництва, яке можна проводити шляхом довгострокової термінової оренди машин, обладнання, транспортних засобів, виробничих споруд тощо на підставі відповідного договору між орендодавцем і орендарем. Промислові підприємства державної форми власності можуть у даному випадку виступати як орендарем, так і орендодавцем, тобто на основі лізингу можуть здобувати більш продуктивне і конкурентне устаткування і здавати в оренду морально застаріле для даного виробництва обладнання.



Рис. 1. Складові політики державного регулювання лізингу.

Загальну політику розвитку лізингу формує держава на основі Закону України «Про оренду майна державних підприємств та організацій». Складові цієї політики державного лізингу показано на рис. 1.

Для розвитку лізингу в Україні важливим є впровадження міжнародної конвенції про фінансовий лізинг, широке залучення іноземних інвестицій, надання митних пільг у разі тимчасового ввезення обладнання, податкових пільг під час купівлі вітчизняного обладнання. Лізинг сприятиме розвитку виробництва основних засобів та структурній перебудові економіки.

На підставі аналізу лізингової діяльності у нашій країні та за кордоном запропоновано класифікувати лізингові операції за певними ознаками (табл. 1).

У сучасних умовах господарювання, коли в державі немає прямої підтримки державного підприємництва через пільгове оподаткування, для функціонування та виживання промислових підприємств потрібно використовувати сучасні методи фінансування і кредитування, тобто пропонується вживати лізинг для оновлення основних фондів.

Таблиця 1

Класифікація видів лізингу

Ознаки класифікації	Види лізингу
Ступінь окупності майна протягом терміну угоди	З повною окупністю майна (фінансовий) З неповною окупністю майна (оперативний)
Ступінь новизни майна	Нове Використовуване
Рух майна між учасниками угоди	Прямий Зворотний
Характер обслуговування техніки	«Чистий» (техніку обслуговує користувач) «Мокрий» (техніку обслуговує лізингодавець) З обмеженим комплексом послуг
Частка використання об'єкта лізингової угоди	Цілий об'єкт угоди Частина об'єкта угоди
Надання гарантій на величину залишкової вартості майна з боку користувача	Відкритого типу (гарантія є) Закритого типу (без гарантії)
Вид лізингових платежів	Грошові Компенсаційні Змішані
Територіальне розташування суб'єктів угоди	Внутрішній Зовнішній: експортний, імпорتنний, транзитний
Кількість суб'єктів лізингової угоди	Тристоронній Багатосторонній
Можливості лізингокористувача після закінчення терміну угоди	З правом продовження терміну угоди З правом купівлі орендованого майна Без права продовження терміну або купівлі майна

Лізинг у якості альтернативного фінансового прийому заміняє джерела довгострокового і короткострокового фінансування, тому переваги і недоліки лізингових операцій порівнюють у першу чергу з перевагами і недоліками традиційних джерел фінансування інвестицій.

Розрахунки було проведено на основі статистичної звітності ДП ХМЗ «ФЕД» за 1999 – 2001 рр. В даний час на підприємстві фондорентабельність складає 98,27 %, фондовіддача основних виробничих фондів 7,20 грн., фондовіддача активної частини фондів – 12,0 грн. Таким чином, існує об'єктивна необхідність проведення комплексної заміни устаткування через його моральний і фізичний знос. Застаріле устаткування пропонується здавати в «чистий» лізинг із правом продовження угоди чи викупом майна.

У ДП ХМЗ «ФЕД» об'єктивно необхідно замінити морально і фізично застаріле устаткування на суму 270 тис. грн. При звертанні в лізингову компанію вартість нового потужного обладнання, підвищеного, високого класу точності, складе 740 тис. грн. з рівномірною розстрочкою платежу протягом п'яти років. При покупці на заводі-виготовлювачі, тобто при прямому постачанні – 560 тис. грн. Якщо використовувати варіант покупки, то можна одержати кредит у банку на п'ять років під 17 % річних при наявності державної гарантії платежу. Оцінюючи перевагу лізингу в порівнянні з фінансуванням покупки за рахунок кредитів банку слід відзначити, що лізинг устаткування дозволяє знизити обсяг коштів, що вилучаються з обігу на 76,2 тис. грн.

До переваг лізингу для орендаря (ДП ХМЗ «ФЕД») також варто віднести:

підприємство – користувач звільняється від необхідності інвестування одноразової великої суми, а тимчасово вивільнені суми коштів можна використовувати на поповнення власного оборотного капіталу, що підвищує фінансову стійкість підприємства;

гроші, заплачені за оренду, враховуються як поточні витрати, що включаються в собівартість продукції, у результаті чого на дану суму зменшується оподатковуваний прибуток;

підприємство-орендар замість звичайного гарантійного обслуговування одержує гарантійне обслуговування устаткування на весь термін оренди;

з'являється можливість швидкого нарощування виробничої потужності, упровадження досягнень НТП, що сприяє підвищенню конкурентноздатності підприємства.

УДК 338.5

КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ: ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И ВИДЫ

Иванова О.Ю.

(г. Харьков, Украина)

Competitive advantage of firm: economical nature and kinds.

В современных условиях развивающихся рыночных отношений все более глобальный характер приобретает конкуренция, а одной из ее базовых категорий являются конкурентные преимущества.

Впервые понятие конкурентного преимущества было введено М. Портером [1] при обосновании теории конкурентных стратегий и оценке конкурентных позиций фирмы. Он, в частности, сделал вывод о том, что конкурентоспособность фирмы может быть обнаружена (оценена) только в рамках группы фирм, относящихся к одной отрасли, либо фирм, выпускающих товары-субституты. Иными словами, наличие конкурентного преимущества М. Портер рассматривает в качестве критерия оценки конкурентной позиции предприятия в отрасли и конкурентоспособности фирмы. В то же время, М. Портер в своих работах не дает четкого определения этого основополагающего понятия современной теории конкуренции. В настоящее время существует несколько различных базирующихся на теории М. Портера, подходов к определению сущности конкурентного преимущества. Так, российский экономист М.И. Кныш утверждает, что фирма имеет конкурентное преимущество, когда она лучше своих соперников преодолевает силы конкуренции и выполняет работу по привлечению покупателей [2], т.е. конкурентное преимущество, по мнению этого автора может проявляться в разрезе каждой из сил конкуренции при одновременном обеспечении реализации продукции предприятия.

Г.Л. Азоев считает, что конкурентные преимущества являются концентрированным проявлением превосходства над конкурентами в экономической, технической, организационной сферах деятельности предприятия, которое можно измерить экономическими показателями (дополнительная прибыль, более высокая рентабельность, рыночная доля, объем продаж) [3].

Р.А. Фатхутдинов предлагает рассматривать категорию конкурентного преимущества с позиции понятия «ценность». В этом случае под конкурентным преимуществом понимается какая-либо эксклюзивная ценность, присущая системе и дающая ей превосходство перед конкурентами [4]. Все эти трактовки дополняют друг друга, не являясь до конца полными, т.к. каждый из авторов рассматривает данное понятие под разным углом.

По мнению автора, конкурентное преимущество представляет собой относительную категорию, которая проявляется в конкурентной среде и определяет возможности более эффективного функционирования системы в сравнении с конкурентами. Что касается сферы проявления конкурентных преимуществ и технико-экономических показателей, которыми они могут быть измерены, – ответ на этот вопрос зависит от вида конкурентного преимущества. Поэтому на первый план выступает проблема обоснования и разработки классификационных признаков. В зависимости от объекта приложения различают конкурентные преимущества продукции (товара), конкурентные преимущества предприятия и конкурентные преимущества страны (национальной экономики). Вместе с тем, наиболее значимым, с точки зрения стратегического маркетинга, являются конкурентные преимущества предприятия, которые лежат в основе его прочных конкурентных позиций и определяют характер его конкурентной стратегии. Конкурентные преимущества предприятия не являются однородными. Они могут существенно различаться по своей природе, степени устойчивости и характеру проявления, а также по многим иным характеристикам. Из этого следует, что вид конкурентного преимущества определяет рыночные возможности предприятия и наиболее целесообразные пути их реализации.

В современной экономической литературе в явном виде выделено только два классификационных признака конкурентных преимуществ: степень воспроизводимости (преимущества высшего и низшего порядков в соответствии с теорией конкуренции М. Портера [1]) и классификация по факторам, лежащим в основе конкурентного преимущества, предложенная Р.А. Фатхутдиновым [4] (экологические, географические, персонал, товар (услуга), организация, отрасль, регион, страна).

Второй из классификационных признаков использован и М.И. Кнышем, который предлагает классифицировать конкурентные преимущества предприятия по источникам: производство продукции самого высокого качества; предоставление покупателям лучших услуг; достижение минимального, по сравнению с конкурентами, уровня издержек; выгодное географическое расположение; разработка изделия, которое выполняет определенные функции лучше конкурирующих аналогов; изготовление более надежной и долговечной продукции; предоставление покупателям большей ценности за те же деньги (комбинация хорошего качества и приемлемых цен) [2].

Вместе с тем, эти подходы не отражают всего многообразия конкурентных преимуществ, что затрудняет их оценку и разработку стратегии их формирования.

По мнению автора, классификация конкурентных преимуществ должна быть построена на основании анализа их природы и характера, а также особенностей формирования конкурентных преимуществ и их использования в конкурентной стратегии предприятия.

В основу предложенной классификации положены 10 классификационных признаков.

1. По источнику происхождения конкурентные преимущества подразделяются на внешние и внутренние. Внешние – это такие конкурентные преимущества, которые возникли в результате воздействия факторов окружающей среды: отраслевых, макроэкономических, факторов мировой экономики, изменения позиций конкурентов, действий пра-

вительства и др. Соответственно, внутренние конкурентные преимущества создаются во внутренней среде предприятия (управление персоналом, качество продукции и др.) и отражают возможности его адаптации к изменению условий внешней среды. Естественно, что возможности предприятия в сфере создания и развития конкурентных преимуществ лежат, в основном, во внутренней среде предприятия.

2. По характеру возникновения следует различать первичные и производные конкурентные преимущества. Последние являются следствием существования первичных, причем любое изменение первичных преимуществ автоматически приводит к изменению производных. Управленческие воздействия должны быть направлены на создание, развитие или поддержание именно первичных преимуществ, что автоматически будет способствовать поддержанию необходимого уровня производных конкурентных преимуществ.

3. В зависимости от степени воспроизводимости (устойчивости) следует различать конкурентные преимущества высшего и низшего порядка, которые различаются по затратам на их воспроизведение конкурентами и времени, необходимого для их копирования.

4. В зависимости от факторов, определяющих природу конкурентного преимущества, по мнению автора, следует выделять пять их видов: технико-технологические, экономические, организационные, социально-психологические и природно-климатические. В то же время, в зависимости от целей исследования может быть использована и более высокая степень детализации конкурентных преимуществ по этому признаку.

5. Следующим классификационным признаком является длительность действия, в зависимости от которой конкурентные преимущества могут быть подразделены на *краткосрочные* – обеспечивающие предприятию преимущество лишь на короткий период, соразмерный с отдельными стадиями жизненного цикла продукции (сезонные, на один производственный цикл) и *долгосрочные* – которые могут действовать в течение всего жизненного цикла.

6. В основу классификации конкурентных преимуществ может быть положена также модель пяти сил конкуренции М. Портера [1]. Такой подход (используемый также М.И. Кнышем [2]) базируется на том, что конкурентное преимущество может быть рассмотрено как относительное превосходство субъекта хозяйствования (в сравнении с конкурентами) в противодействии не только продавцам (производителям) конкурирующих товаров, ни и другим силам конкуренции: новым конкурентам, товарам-субститутам, поставщикам и потребителям.

7. С точки зрения степени значимости для предприятия, следует различать базовые и второстепенные преимущества. Эти группы конкурентных преимуществ различаются, прежде всего, по эффективности инвестиций в их создание и поддержание, что предопределяет целесообразность инвестирования в базовые конкурентные преимущества.

8. В зависимости от возможности регулирования (воздействия на создание, развитие и поддержание) конкурентные преимущества могут быть подразделены на регулируемые, ограниченно регулируемые и нерегулируемые. Последняя из этих групп включает в себя в основном те преимущества, которые имеют внешний, по отношению к предприятию, источник происхождения. К ним могут относиться изменение спроса на определенные товары и услуги, непредвиденные природные катаклизмы, изменение законодательства и т.п. Несмотря на внешнюю схожесть с классификацией по критерию «источник происхождения» этот классификационный признак, по мнению автора, имеет право на самостоятельное существование, поскольку предприятие в определенной мере может воздействовать на формирование внешней среды и соответствующих конкурентных преимуществ (например, при помощи лоббирования отдельных вопросов). Вместе с тем, даже преимущества, базирующиеся на внутрипроизводственных факторах, могут быть классифицированы как нерегулируемые или ограниченно регулируемые в случае отсутствия существенных резервов изменения положенных в их основу факторов.

9. Следующим классификационным признаком может быть соответствие конкурентных преимуществ целям предприятия, что предопределяет целесообразность выделения преимуществ, позволяющих реализовать стратегические цели, и тактических преимуществ. Последние имеют вспомогательный, обеспечивающий и оперативный характер и не могут быть положены в основу стратегии.

10. Последний из предложенных классификационных признаков определяет связь конкурентного преимущества с соответствующей конкурентной стратегией и базируется на предложенной М. Портером [4] матрице конкурентных стратегий. Такой подход к группировке конкурентных преимуществ связан с тем, что каждая из конкурентных стратегий может базироваться на строго определенном наборе конкурентных преимуществ. Если же, например, предприятие реализует стратегию дифференциации, – возможность привлечения дешевой рабочей силы далеко не всегда может являться конкурентным преимуществом.

Предложенные классификационные признаки имеют относительный характер: в зависимости от используемого признака одно и то же преимущество может быть одновременно отнесено к разным группам.

Разработанные классификационные подходы предлагается использовать для исследования и оценки имеющихся конкурентных преимуществ, а также при обосновании стратегии их формирования и развития.

Литература

1. Портер. М. Конкуренция: Уч. Пос. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2000. – 495с.
2. Азоев Г.Л. Челенков А.П. Конкурентные преимущества фирмы / Гос. ун-т управления, Нац. фонд подготовки кадров. – М.: ОАО «Тип «НОВОСТИ», 2000. – 256 с.
3. Кныш М.И. Конкурентные стратегии. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета экономики и финансов, 2000. – 284 с.
4. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 312 с.

УДК 658.012.32

**ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОБСЯГУ ДОДАТКОВОЇ ЕМІСІЇ АКЦІЙ
АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА****Лучанинов І.А.***(м. Харків, Україна)*

The analysis of advantages and disadvantages of additional issue is conducted. The basic kinds of additional issues and methods of price-fixing on the distributed shares are considered. The method of account of optimal volume of issue of the shares at which one existing structure of the capital of joint-stock company will be saved is offered.

В сучасних умовах розвитку економіки України залучення коштів на тривалий термін для акціонерних товариств пов'язано з певними труднощами. Це обумовлено загальною нестабільною економічною ситуацією; вимогами до заставного забезпечення кредитів у виді основних активів та/чи гарантій акціонерів; необхідність надання великої кількості додаткової інформації (бізнес-плану, фінансових розрахунків, що підтверджують здатність обслуговувати і виплачувати борг) та ін. Для багатьох акціонерних товариств додаткова емісія часто стає єдиним можливим способом залучення коштів на тривалий термін.

До позитивних ознак емісії належать такі: відсутність фіксованої вартості, що не залежить від вартості активів; відсутність зобов'язання направлення коштів на викуп акцій; відсутність законодавчо визначеного зобов'язання сплати дивідендів; збільшення власного капіталу підприємства та його кредитної ємності і, як наслідок, збільшення фінансової стійкості підприємства;

До головних недоліків емісії слід віднести високу вартість залучення, ризик нерозміщення усіх випущених акцій; можливість зниження курсу акцій, що вже обертаються на ринку та можливість перерозподілу корпоративного контролю в АТ.

При додатковому розміщенні акцій вище керівництво акціонерного товариства стикається з необхідністю вирішення питання про проведення закритого чи відкритого підпису на акції. Закритий підпис (емісія акцій з переважним правом покупки) – розподіл нових акцій серед наявного складу акціонерів. Відкритий підпис – розміщення акцій серед усіх хто побажає їх купити без будь-яких обмежень з боку АТ.

При розміщенні акцій з переважним правом покупки акціонери мають право на придбання частки нового випуску, рівного розміру їхньої частці у власності товариства. Маючи таке право, акціонери можуть або скористатися цим правом і викупити кількість акцій, що пропонується, або продати це право іншій особі, яка бажає купити ці акції.

Такий спосіб розміщення акцій є відносно простим та недорогим. При проведенні емісії АТ прагне до зменшення витрат за рахунок уникнення залучення посередників і проведення усіх операцій з розміщення емітованих акцій власними силами.

Розміщення акцій за такою схемою може пройти швидко та з мінімальними витратами. Це відбудеться, якщо акціонер буде зацікавлений у збільшенні своєї частки в акціонерному капіталі, оскільки тоді він буде прагнути придбати додаткову кількість акцій. Також у цій ситуації не відбудеться перерозподіл контролю в АТ, тому що кожен акціонер придбає кількість акцій, пропорційну його частці в акціонерному капіталі.

Випуск прав не занадто привабливий для портфельних інвесторів. Щоб заробити на різниці курсів, такий акціонер повинний продати права або викупити акції і потім продати їх. Такі дії пов'язані з певними транзакційними витратами, розмір яких для міноритарного акціонера може перевищити потенційний дохід. Випуск прав є більш привабливим для тих акціонерів, які збираються викупувати акції нової емісії. У цьому випадку, права на купівлю акцій зменшують транзакційні витрати на придбання додаткової кількості акцій. Таким чином, права на купівлю акцій доцільно розміщати в у випадку, коли велика частина емісії буде викупуватися акціонерами АТ.

Загалом виникнення форми проведення емісії на основі випуску прав на покупку акцій пов'язано з необхідністю захисту прав акціонерів на підтримання своєї частки в структурі акціонерного капіталу.

Отже можна виділити наступні головні особливості розподілу акцій з переважним правом підпису.

1. Можливість утримання акціонерами свого відсотку контролю над АТ.
2. Надання можливості для керівників АТ продати акції інвесторам, які ставляться до них більш прихильно.
3. Запобігання знецінення інвестицій акціонерів. Якщо товариство буде змушено розміщати нові акції по курсу нижче ринкового, то відбудеться перерозподіл багатства від старих акціонерів до нових.
4. Збереження на існуючому рівні зацікавленості акціонерів у доходах АТ і дивідендах. Якщо акції нової емісії придбають нові акціонери, то вони і будуть одержувати частку майбутніх доходів підприємства у вигляді дивідендів. В цьому випадку частина акціонерного капіталу, яка належить колишнім акціонерам зменшиться, а отже зменшиться і їхня частка прибутку.

Якщо емітент вирішив проводити відкритий підпис на свої акції, то йому все ж таки варто запропонувати акції спочатку своїм акціонерам, а потім вже звернутися до інших.

Відкритий підпис вимагає від АТ більших специфічних знань та фінансових ресурсів, ніж розподіл акцій тільки серед вже існуючих акціонерів. Транзакційні витрати акціонерного товариства при відкритому підпису значно збільшуються в порівнянні з закритим. Головним чином це відбудеться за рахунок послуг підприємства-посередника. Звичайно функцією посередника (інвестиційного банку, якщо мова йде про невеликі обсяги емісії,

чи синдикат андеррайтерів, якщо мова йде про велику емісію) є викуп всіх акцій за ціною, узгодженою з АТ, а потім перепродаж їх публіці. Такий спосіб розміщення одержав назву "гарантованого розміщення". Для емітента такі умови вигідні, оскільки це пов'язано з тим, що банк гарантує підприємству отримання потрібних коштів. Зі свого боку, банк стикається з фінансовим ризиком, обумовленим неможливістю розміщення усього випуску акцій за прийнятною ціною. Саме для розподілу ризику часто й утворюють синдикат, у який входять страхові установи, інвестиційні банки та брокерські організації.

Іншим способом, який одержав найбільше поширення став метод "найкращих зусиль". Використовуючи цей метод банк розміщає максимально можливу кількість акцій без їхнього викупу у емітента. Для компенсації ризику андеррайтера ціна на акції звичайно встановлюється нижче рівня сформованого на ринку акцій товариства. Прибуток інвестиційного банку буде складати різницю між ціною скупки акцій у емітента та ціною їх розміщення на ринку.

Також при розробці проекту додаткової емісії акцій необхідно вибрати метод встановлення цін на акції. Існує два основних методи встановлення ціни розміщення акцій:

фіксована ціна випуску;

визначення ціни в ході тендерних торгів.

За першим методом ціна акцій фіксується на весь період розміщення. Головним недоліком цього способу є розміщення акцій за дещо зниженою ціною. Це необхідно емітенту для забезпечення себе на випадок погіршення кон'юнктури фондового ринку безпосередньо перед чи під час розміщення акцій. У результаті цього підприємство залучить меншу суму коштів ніж було заплановано. З іншого боку, цей метод встановлення цін простий. Коло залучених інвесторів при використанні метода фіксованих цін буде максимальним.

При проведенні тендера кожен інвестор має вказати бажану кількість акцій та ціну, за якою вони можуть бути придбані. Цей метод є більш гнучким ніж метод фіксованих цін. Ціна, встановлювана цим методом, більш близька до ринкової. З іншого боку, для дрібних та недосвідчених акціонерів проведення тендеру може стати значною перешкодою при купівлі акцій.

Протягом терміну проведення відкритого підпису на акції може відбутися перерозподіл корпоративного контролю в акціонерному товаристві. Такий перерозподіл відбудеться через збільшення кількості акціонерів. При такому збільшенні первісні акціонери будуть мати менші можливості впливу на управління АТ. „Нові” акціонери в свою чергу отримають право брати участь у процесі прийняття рішень. Тому важливим питанням при плануванні емісії є її обсяг.

Необхідно відзначити, що окрім перерозподілу контролю в акціонерному товаристві є багато інших факторів, які впливають на розрахунок обсягу додаткової емісії. Ними можуть бути: можливість грінмейла (корпоративного шантажу), потенційні зриви загальних зборів акціонерів та ін.

При розрахунку обсягу додаткової емісії акціонерного товариства необхідно враховувати велику кількість різних факторів:

кількість акцій, що належать „аборигену” (акціонер, якому належить велика частка корпоративного контролю);

існування „агресора” (акціонер, що прагне одержати чи збільшити належну йому частку корпоративного контролю);

існування „нейтрального акціонера” (акціонер, що не прагне збільшити належну йому частку корпоративного контролю);

можливість придбання в акціонерів акцій, які вже обертаються на ринку та ін.

На думку автора, при визначенні оптимального обсягу додаткової емісії акціонерного товариства необхідним є виконання наступної системи вимог:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_{agr} = \frac{(V_{agr} + a)}{(Y\Phi_0 + \Delta Y\Phi)} < K_{agr}^П \\ D_{аб} = \frac{(V_{аб} + \vartheta)}{(Y\Phi_0 + \Delta Y\Phi)} \geq K_{аб}^П \\ a + \vartheta = \Delta Y\Phi - c \end{array} \right. , \quad (1)$$

де D_{agr} – частка акцій в акціонерному капіталі, яка належатиме агресору після розміщення додаткової емісії; $D_{аб}$ – частка акцій в акціонерному капіталі, яка належатиме аборигену після розміщення додаткової емісії; V_{agr} – кількість акцій, які належать агресору до розміщення додаткової емісії; $V_{аб}$ – кількість акцій, які належать аборигену до розміщення додаткової емісії; a – максимально можлива (найбільш ймовірна) кількість акцій, що може придбати агресор при розміщенні додаткової емісії; ϑ – максимально можлива (найбільш ймовірна) кількість акцій, що може придбати абориген при розміщенні додаткової емісії; c – максимально можлива (найбільш ймовірна) кількість акцій, що може придбати нейтральний акціонер при розміщенні додаткової емісії; $Y\Phi_0$ – розмір статутного фонду до розміщення додаткової емісії; $\Delta Y\Phi$ – розмір додаткової емісії; $K_{agr}^П$ – найменше значення частки агресора в акціонерному капіталі, при досягненні якого він зможе впливати на дія-

льність АТ; $K_{об}^П$ – значення частки аборигена в акціонерному капіталі при досягненні якої він частково цілком втрачає контроль над акціонерним товариством.

Показники a, b, c враховують як можливість придбання акцій нового випуску, так і можливість викупу акцій первісної емісії у акціонерів.

Частка акцій в акціонерному капіталі, яка належатиме агресору після розміщення додаткової емісії розраховується як відношення кількості акцій, які належать агресору до статутного капіталу після розміщення додаткової емісії. Кількість акцій, які будуть належати агресору після розміщення становить суму кількості акцій, які належали агресору до додаткової емісії та тієї кількості акцій, яку він придбав протягом її. Частка акцій в акціонерному капіталі, яка належатиме агресору після розміщення додаткової емісії повинна бути менше $K_{агр}^П$. У загальному випадку, найменшим значенням частки агресора в акціонерному капіталі, при досягненні якого він зможе впливати на діяльність АТ, є блокуючий пакет, тобто щонайменше 25%+1 акція.

Частка акцій в акціонерному капіталі, яка належатиме аборигену після розміщення додаткової емісії визначається аналогічним чином. Частка акцій, яка належить аборигену, повинна становити більш ніж 75 відсотків.

Ця система вимог буде справедливою у випадку, якщо агресор, абориген та нейтральний акціонер викупують тільки акції додаткової емісії. У випадку, коли вони будуть скуповувати акції у первісних акціонерів, третє рівняння даної системи вимог слід відкоригувати з урахуванням перерозподілу корпоративного контролю в разі скупівлі акцій.

Слід зауважити, що цей спосіб розрахунку обсягу додаткової емісії акцій акціонерного товариства є досить загальним і в кожній окремій ситуації він потребує коригування.

Таким чином, порядок розрахунку обсягу додаткової емісії є досить складним і враховує велику кількість різних факторів. Проте емісія всеж таки є дуже ефективним способом залучення коштів на тривалий термін.

УДК 658:339.137

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМСТВА

Найденко О.Є.

(м. Харків, Україна)

The question of specifying the criteria of the strategy option is very important for an enterprise. While choosing the strategy the main aspects are organization objectives level of dependence on external environment, priorities and interests of management, qualification of employees, experience of performance the previous strategies, risk, profit, and time factor.

Конкурентні стратегії є основою діяльності підприємств. Для виходу з кризового стану, в якому опинилися підприємства України, необхідна розробка методологічних підходів до планування і управління стратегією. Нові підходи можуть базуватися на досвіді закордонних компаній і особливостях ринкової економіки України.

Серед конкурентних стратегій виділяють стратегію низьких витрат, диференціації, фокусування. Обираючи конкурентну стратегію підприємству слід врахувати показники конкурентоспроможності, фактори внутрішнього та зовнішнього середовища, індикатори економічної безпеки. Але важливим для підприємства є також питання визначення критеріїв вибору стратегії. Цьому питанню ще не приділяється достатня увага, хоча воно є дуже важливим для підприємства, яке хоче стати лідером на внутрішньому і зовнішньому ринку. Критерії можуть бути об'єктивні та суб'єктивні, кількісні та якісні. Для однієї мети може бути використаний один критерій, або система критеріїв [6]. Для забезпечення конкурентної переваги підприємства ставлять різні завдання, які визначають їхню стратегію. При цьому підприємства керуються такими критеріями: переваги фірми порівняно з конкурентами, можливість підтримки цієї переваги на протязі тривалого часу та наявність ключових факторів успіху [4]. Серед українських науковців лише В. Герасимчук визначив критерії, які можуть бути використані підприємствами при застосуванні стратегії виживання (собівартість продукції, мінімальний рівень рентабельності, частку ринку, кількість працівників), стратегії стабілізації (дохід від продажу, дохід від активів, дохід від акцій, швидкість оновлення), стратегії зростання (обсяг продажу, дохід, частку ринку, швидкість зростання) [3]. Визначення стратегії фірми залежить від конкретної ситуації, в якій вона знаходиться. Це стосується того, як керівництво фірми сприймає різні ринкові можливості, які сильні сторони свого потенціалу фірма має намір задіяти, які традиції в області стратегічних рішень існують на фірмі.

Важливою проблемою при виборі стратегії конкуренції є координація функціональних та інших стратегій, їхня спрямованість на досягнення загальної мети.

Можливі критерії вибору альтернативних стратегічних рішень можна об'єднати у п'ять груп (рис. 1) [5].

Стратегічні альтернативи необхідно оцінити на предмет їх відповідності можливостям та загрозам зовнішнього середовища. При стратегічному виборі у підприємства виникають суперечності: між довгостроковими та короткостроковими показниками рентабельності та обсягом продажу; між рентабельністю та гнучкістю управління; між гнучкістю та синергізмом [1].

Важливим критерієм при виборі стратегії є те, як можлива стратегія співвідноситься зі стратегічними факторами, які були отримані у результаті SWOT-аналізу.



Рис 1. Критерії вибору стратегічних альтернатив.

Іншим важливим аспектом при виборі стратегії є можливість стратегічної альтернативи забезпечити виконання поставлених цілей. Підприємству необхідно слідкувати за тим, щоб функціональні стратегії були взаємопов'язані. Важливим є визначення достатності частки ринку, для підтримки необхідного рівня доходу від інвестицій та прибутку.

Найбільш розповсюдженим методом оцінки вірогідного економічного впливу кожної стратегічної альтернативи на майбутнє підприємства є розробка детальних сценаріїв, у яких передбачені три варіанти розвитку подій: оптимістичний, песимістичний та найбільш вірогідний [5].

Після кількісного визначення та оцінки критеріїв підприємство робить вибір на користь однієї з стратегій. При цьому підприємство має здійснити оцінку обраної стратегії у вигляді аналізу правильності врахування при виборі стратегії основних факторів, які визначають можливості здійснення стратегії. Ця оцінка повинна відповідати на питання: чи призведе обрана стратегія до досягнення підприємством своїх цілей. Для цього рекомендується використати метод аналізу розриву з застосуванням прогнозних даних [2].

Далі необхідно оцінити співвідношення обраної стратегії стану і вимогам оточення, визначити відповідність обраної стратегії потенціалу та можливостям підприємства, прийнятність ризику, закладеного в стратегії.

Таким чином, перед обранням будь-якої стратегії підприємство має оцінити критерії доцільності її застосування. В основному вибір стратегії фірми залежить від тієї ситуації в якій знаходиться фірма, яким вона володіє стратегічним потенціалом, як вона реагує на вплив зовнішнього середовища.

При виборі стратегії визначальними є цілі організації, ступінь залежності від зовнішнього середовища, пріоритети та інтереси керівництва, кваліфікація робітників, досвід реалізації попередніх стратегій, ризик, прибуток, чинник часу. Особливу увагу слід приділити чиннику часу. Це пов'язано з тим, що можливості та загрози для фірми, та зміни, що плануються завжди мають часові обмеження. Фірма не в будь-який момент може здійснювати стратегію, а тільки у ті моменти та терміни, у які появляється можливість для цього.

Література

1. Ансофф И. Стратегическое управление: Пер. с англ. – М.: Экономика, 1989. – 519 с.
2. Виханский О.С. Стратегическое управление: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2002. – 296 с.
3. Герасимчук В. Г. Стратегічне управління підприємством. Графічне моделювання: Навчальний

- посібник. – К.: КНЕУ, 2000. – 360 с.
4. Клименко Е. Н. Критерии выбора маркетинговой стратегии и её виды. //Економіка: проблеми теорії та практики. Міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: “Наука і освіта”, – 2000. – №8. – С. 36-40.
 5. Маркова В.Д., Кузнецова В.А. Стратегический менеджмент: Курс лекций. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 288с.
 6. Тренев Н.Н. Предприятие и его структура: Диагностика. Управление. Оздоровление: Учебное пособие для вузов. – М.: «Издательство ПРИОР», 2000. – 240 с.

УДК 658.7

КОММЕРЧЕСКИЙ КРЕДИТ КАК ФАКТОР ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТОКА

Кожина О.Н.

(г. Харьков, Украина)

The article is devoted to a problem of management of materials resources. Are reviewed main components of activities related to material flow. The strategic alternatives of enterprise flexibility is put forward.

Взаимная задолженность предприятий – характерная черта экономики переходного периода. Значительная часть предприятий не сумела быстро адаптироваться к формирующимся рыночным отношениям, нерационально использует имеющиеся оборотные средства и не создает финансовые резервы. Немаловажно и то, что в условиях инфляции, нестабильности хозяйственного законодательства, неплатежи вошли в сферу коммерческих интересов ряда предприятий, которые умышленно задерживают расчеты с поставщиками и тем самым реально уменьшают свои платежные обязательства из-за снижения покупательной стоимости гривны.

Получение отсрочек платежа (задолженность по заработной плате, задолженность по уплате налогов) может выступать источником покрытия финансовых потребностей предприятия. Все большее распространение среди украинских предприятий, как форма привлечения капитала, приобретает коммерческий или товарный кредит - отсрочка платежа, полученная от поставщиков за поставленные ими сырье, материалы или товары. Она позволяет сокращать общий период финансового цикла предприятия, т.е. время превращения средств, вложенных в запасы и дебиторскую задолженность, в деньги на счете. Предоставление отсрочки платежа клиентам увеличивает время нахождения оборотных активов в сфере обращения и отвлекает их из производственного процесса, что порождает проблему в финансировании.

При расчете оптимальной длительности отсрочки по поставкам сырья (услугам других организаций) и реализации готовой продукции (услуг) необходимо учитывать особенности отрасли или даже предприятий одной и той же отрасли. Таковыми могут быть: длительность производственного цикла, сезонность производства и реализации готовой продукции, величина и норма добавленной стоимости, будущий спрос на продукцию и темпы роста производства.

Чем больше продолжительность производственного цикла, тем меньше оборотов осуществляют оборотные активы. Поэтому у предприятий, имеющих продолжительный производственный цикл, денежные средства для создания запасов отвлекаются на значительный период.

Финансовые потребности для обеспечения нового цикла программы производства продукции покрываются в основном за счет средств, иммобилизованных в запасах и дебиторской задолженности. При стабильной работе предприятия увеличение в структуре активов по этим статьям не должно вызывать опасений.

В случае принятия решения об увеличении выпуска продукции нужно учитывать, что большой объем выпуска требует и больших средств на сырье, материалы, энергоносители и пр. В современных условиях это не единственная причина увеличения оборотных активов, среди них и осуществление бартерных операций, и перепродажа материальных ценностей.

Во избежание отсутствия средств на погашение своих обязательств необходимо учитывать сезонность в снабжении сырьем и сбыте продукции.

Размер роста авансированной стоимости зависит от нормы добавленной стоимости, которая определяется процентным отношением величины добавленной стоимости к выручке от реализации.

Предприятия с длительным циклом производства и реализации, как правило, выпускают продукцию с высокой нормой добавленной стоимости. Они имеют значительные запасы готовой продукции, а потребности в сырье относительно скромные, что заставляет их наращивать дебиторскую задолженность и одновременно снижает роль кредиторской в удовлетворении финансовых потребностей. Чем меньше норма добавленной стоимости, тем в большей степени коммерческий кредит компенсирует клиентскую задолженность.

Предприятия малого бизнеса, как правило, имеют небольшой цикл производства и сбыта и невысокую норму добавленной стоимости. Их коммерческий кредит покрывает средства, замороженные в запасах и клиентскую задолженность, которая создает дополнительный источник финансирования. Стоимость привлечения капитала должна быть главным преимуществом коммерческого кредита над банковским с аналогичным периодом. Но в привлечении коммерческого кредита нужно исключить навязывание ненужного ассортимента товаров, продукции низкого качества.

Предоставление отсрочек платежа клиентам (кредиторская задолженность), краткосрочные кредиты и займы, часть долгосрочных активов, срок погашения которых наступает в данном периоде, составляют в сумме краткосрочные (текущие) пассивы.

Разница между текущими активами и текущими пассивами образует собственные оборотные средства, что иначе может называться чистым оборотным или рабочим капиталом предприятия. Структура оборотных средств значительно влияет на показатели, характеризующие платежеспособность предприятия. В целом по народному хозяйству Украины структура собственных оборотных средств характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

Рабочий капитал является той частью оборотных средств, которая финансируется за счет собственных средств и долгосрочных обязательств. Для определения величины рабочего капитала необходимо от суммы разделов II и III актива баланса отнять сумму разделу III пассива баланса (рис.1).

Таблица 1

Агрегированный баланс предприятий машиностроительной
отрасли промышленности Украины (млн. грн.)

Разделы баланса	2000 г.	2001 г.
АКТИВ	776777	703780
Необоротные активы	455094	400995
Оборотные активы	319630	300846
Расходы будущих периодов	2053	1939
ПАССИВ	776777	703780
Собственный капитал	410465	373023
Обеспечение будущих расходов и платежей	9834	13051
Долгосрочные обязательства	30927	29851
Текущие обязательства	323023	285600
Доходы будущих периодов	2528	2255

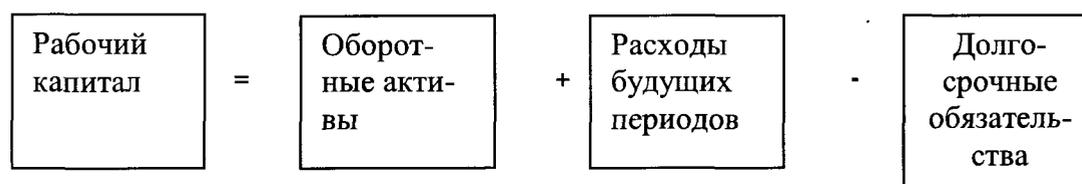


Рис. 1. Схема взаимосвязи рабочего капитала с финансовыми характеристиками деятельности предприятия.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что в 2000 году рабочий капитал украинских предприятий составил 1340 млн.грн., а уже через год предприятия смогли увеличить его до 17185 млн.грн. Наличие рабочего капитала свидетельствует о том, что предприятия не только способны оплатить собственные текущие долги, но и имеют финансовые ресурсы для расширения деятельности и инвестирования. Превышение краткосрочным кредитом уровня рабочего капитала, говорит о том, что предприятие использует часть краткосрочных кредитов и займов на финансирование текущих операций, т.е. осуществляет нецелевое их использование. При уменьшении рабочего капитала необходимо выяснить за счет чего это произошло и как повлияло на маневренность рабочего капитала. Маневренность капитала характеризуется частью запасов в его общей сумме и определяется отношением величины запасов к размеру рабочего капитала.

Оптимизировать структуру рабочего капитала можно за счет уменьшения части низколиквидных оборотных активов, например, незавершенного производства, сырья, материалов.

В достижении гибкости производства и сокращении параметров движения материального потока (длительности производственного и сбытового цикла) небольшие предприятия имеют преимущества. В свою очередь, крупные предприятия для сохранения уровня рентабельности могут использовать рефинансирование дебиторской задолженности, т.е. перевод ее в прочие, ликвидные оборотные активы путем факторинга, форвейтинга, оформления задолженности векселем.

Полная ответственность предприятия за результаты своей производственно-хозяйственной деятельности предполагает соизмерение затрат с этими результатами и возмещение затрат собственными силами. Поэтому в системе мер, направленных на рациональное использование оборотных средств, важное место отводится организации их движения с минимально возможными затратами для получения наибольшего эффекта.

УДК 330.322(477)

ВПЛИВ ІНОЗЕМНИХ ІНВЕСТИЦІЙ НА РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВ**Писарчук О. В.***(м. Харків, Україна)*

The main subject of this article is execution of priority national interests and then interests of businesses. In this article was covered following questions about importance of foreign capital for development of economic.

Для економіки країн, що перебувають в умовах перехідного періоду, характерним є бажання залучити якомога більше додаткового капіталу, в тому числі іноземних інвестицій. Проте вони можуть мати не лише позитивний, але й негативний економічний вплив. Надзвичайна потреба залучення капіталу для здійснення економічних та соціальних реформ обумовлює відкритість економіки, а в сукупності з фактом, що вони не мають розвинутих інституційних форм та системи безпеки, які б надійно захищали від різного роду загроз все це призводить до надмірної вразливості. Залучення іноземного капіталу у розвиток, реформування та модернізацію української економіки є одним з ключових питань, головним завданням владних інститутів держави.

Україна має значний економічний потенціал, який ще не використовується належним чином. Маючи приблизно таку ж кількість населення, що і Франція, внутрішній ринок України є достатньо великим. Кваліфікована та некваліфікована робоча сила є порівняно дешевою, в той час як загальний рівень освіти та підготовки - високі. Зрештою, вітчизняні підприємства ще не проявляють високого рівня конкуренції.

Проте, незважаючи на ці переваги, іноземці не поспішають вкладати свій капітал в українську економіку. На даний час, через припинення інвестиційних надходжень з державного бюджету та недостатність грошових коштів на підприємствах, українська економіка дійсно потребує притоку іноземного капіталу. Серед інших проблем необхідно зазначити наступні: недосконале законодавство та непередбачувані зміни в оподаткуванні, застаріле обладнання та політична нестабільність. Вищезазначені фактори спричинили те, що у порівнянні з іншими країнами Європи Україну за рейтингом компанії Moody's було віднесено до однієї з найнижчих категорій "В-2".

Питання залучення іноземних інвестицій є важливим, міжнародні інвестиції можуть також викликати різні зовнішні ефекти. Як правило, прямі іноземні інвестиції на окремому підприємстві у певній галузі можуть спричинити позитивний вплив на діяльність інших підприємств, що підтримують ділові стосунки з підприємством-реципієнтом. Проте не можна однозначно стверджувати, що такий вплив інвестицій у країнах з перехідною економікою та в Україні зокрема дійсно існує. Як правило, перехідний період зумовлює зміни у функціонуванні економіки та може призвести до несподіваних результатів.

Інвестиції можуть мати як позитивні, так і негативні сторони. Так, негативні наслідки можуть проявитися у вигляді збільшення монопольної влади мультинаціональних корпорацій, які можуть бути зацікавлені в тому, щоб придбати українські підприємства-конкуренти, а потім просто їх закрити. Але при залученні іноземних інвестицій підприємства прагнуть досягти позитивних зрушень у своїй діяльності. Ефективність роботи підприємств може бути оцінена за допомогою показників обсягів продажу чи експорту. Вплив інвестицій можна класифікувати як прямі та непрямі ефекти. Прямий вплив визначає відмінності у показниках діяльності між підприємствами, що отримують та не отримують інвестиції. Непрямі ефекти торкаються підприємств, які безпосередньо не отримують інвестицій, в основному через їх взаємодію з підприємствами, що інвестуються. В економічній літературі відрізняють п'ять основних типів таких ефектів: передача технологій, ефект надолужування, ефект конкуренції, ланцюговий ефект та ефект навчання. Ці прямі ефекти можуть вказувати на передачу технологій, що відбувається разом із капіталовкладеннями. Крім зазначеного існує певний вплив від наявності прямих інвестицій в тій же галузі чи тому ж регіоні на діяльність підприємств, що не інвестуються. Цей непрямий вплив, за умови його присутності, буде вказувати на наявність зовнішніх ефектів. Існує позитивний, хоча й незначний, прямий та непрямий вплив як на обсяги продажу, так і на рівень експорту українських підприємств. Підприємства з іноземним капіталом матимуть порівняно вищі показники діяльності, тоді як вітчизняні підприємства отримуватимуть значні переваги від зовнішніх ефектів.

Зважаючи на значне технологічне відставання української економіки, позитивною рисою притоку іноземного капіталу стає розвиток міжнародного співробітництва. В свою чергу, така співпраця забезпечить доступ до нових технологій, методів управління та надасть поштовх до можливості створення власних інвестиційних ресурсів. Для наближення до цієї мети створюється відповідний механізм, що дозволяє здійснювати ефективне інвестування міжнародного капіталу. Причому, складовою частиною механізму повинна стати розробка критеріїв якості щодо міжнародних потоків капіталу. Це потрібно для підвищення економічної безпеки України, оскільки в складних умовах перехідного періоду зростає кількість зловживань, пов'язаних з відмиванням і вкладанням капіталу кримінального походження та відкритими широкомасштабними спекуляціями на фінансовому ринку. Ці негативні явища стають причиною створення ситуації, коли міжнародні кримінальні структури мають можливість контролювати розвиток окремих підприємств, а в перспективі цілих галузей економіки України. Для того, щоб не допустити розвитку такої ситуації потрібно створити систему оцінки якості міжнародних потоків капіталу, використання якої дозволило б відділити капітал надійних і добропорядних закордонних партнерів від капіталу кримінальних та корумпованих контрагентів. Тому важливим є дослідження загальносвітових тенденцій розвитку інвестиційного процесу.

Поширення інвестиційних процесів в світі має ряд позитивних та негативних моментів. Безперечно, пози-

тивним маємо те, що інвестиції є основою економічної діяльності, джерелом зростання та добробуту. Але крім цього існують негативні аспекти проведення інвестиційної діяльності та вкладення іноземних капіталів, зокрема:

1) неоднорідність інвестиційних умов і, відповідно, інвестиційного клімату у різних країнах світу. В цьому зв'язку можна виділити країни зі стабільним інвестиційним кліматом – переважно це економічно розвинені країни та їх найближчі партнери, а також країни з нестабільним інвестиційним кліматом – пострадянські країни, в тому числі Україна, та найменш розвинені країни третього світу. Формування відповідного інвестиційного клімату залежить від економічного досвіду та інституційної діяльності зацікавлених верств суспільства та держави.

2) підвищення інвестиційної активності за рахунок короткострокових вкладень "гарячих" грошей в урядові зобов'язання переважно недорозвинених країн, тобто фактичне переважання непрямих інвестицій, що ускладнює їх економічне становище та зводить нанівець можливості розвитку в майбутньому.

За офіційними даними Україна повинна сплатити по створеним урядом зобов'язанням 3,5 млрд.\$, що в сучасних умовах означає фактичну руйнацію вітчизняної економіки і перехід її в якісно новий, неконтрольований стан.

3) зростання інвестиційного тиску за рахунок легалізації доходів тіньового сектору економіки та від незаконних видів діяльності (доходи, які отримують від виробництва та продажу наркотиків, торгівлі людьми, різного роду товарної контрабанди та продажу зброї). Такі доходи перерозподіляються у легальні сфери бізнесу шляхом прямого або опосередкованого інвестування. Це загальносвітова проблема, яка характеризується складним механізмом взаємодії виробничих та розподільчих елементів, кінцевою метою діяльності яких є створення системи контролю над ключовими галузями економіки окремих країн та посилення власного впливу на макроекономічному рівні.

За різними оцінками обсяги тіньової економіки України становлять від 35 до 55 % величини фактичного ВВП. В останні роки, на думку економістів, розміри сектору тіньової економіки на Україні стабілізувалися.

Виходячи з викладеного вище, випливає, що інвестиційна діяльність і залучення іноземних капіталів в економіку України з ряду причин є фактором загрози національним інтересам та національній безпеці. Не всі інвестиції є корисними, деякі з них можуть обернутися для економіки України стратегічними втратами - від втрат окремих технологій і виробництв до втрат цілих галузей і перспектив розвитку в майбутньому. Нині Україна гостро потребує інвестиційних вкладень. Але вони не повинні бути вкладаннями з сумнівних джерел або легалізацією сумнівних отриманих доходів, оскільки це суперечить кардинальним принципам реалізації національних інтересів. Головними на сучасному етапі щодо проведення інвестиційної політики повинні стати якісний капітал з надійних джерел, а також довгострокове партнерство по реалізації взаємовигідних інвестиційних проєктів.

Захист національного інтересу полягає у виділенні і залученні капіталів, відповідних взаємовигідним інтересам та недопущенні капіталу, за яким стоять цілі, що зашкоджують розвитку країни.

Таким чином, при прийнятті рішення щодо доцільності вкладання іноземних капіталів необхідно сукупно враховувати, як важливість інвестиційних потоків для підприємств, так і національні інтереси країни.

УДК 658.0/5

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЙНИХ ЗМІН В ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА

Пилипенко А.А., канд. екон. наук.

(м. Харків, Україна)

The questions of shaping the strategy of development of joint-stock companies are considered. Sequence of development of divined strategy is offered. Methods of ensuring the strategy of development by resources is motivated.

У сучасних ринкових умовах господарювання акціонерні товариства знаходяться в процесі постійних внутрішніх змін. З одного боку, вони змушені пристосовуватися до безупинного перетворення зовнішніх умов господарювання та змін глобального й операційного оточення. У той же час, іншим не менш важливим джерелом змін служать процеси самоорганізації й ускладнення внутрішнього середовища.

Необхідність здійснення трансформаційних переходів з одного стійкого становища до іншого визначається дією великої кількості факторів, яка досягає свого максимуму у крапці біфуркації. Зміни, що підготовляються в ході еволюційного етапу численними економічними та позаекономічними флуктуаціями, вийшовши за визначені межі, здобувають силу й забезпечують стрибок. Якщо ігнорувати необхідність змін, трансформаційні процеси будуть відбуватися самостійно. Однак у цьому випадку керівництво товариства буде не в змозі управляти розвитком ситуації. Саме тому система управління повинна забезпечувати створення оптимальної для підприємства програма змін.

У момент настання крапки біфуркації в економічній системі (акціонерному товаристві) відбуваються серйозні зміни: міняються її структура, пропорції між елементами, а потім, у ході адаптації до нової структури, й механізм функціонування. Зламування існуючої системи, зміна звичного поведіння приводять підприємство в стан хаосу, що і сприяє виходу його на новий етап розвитку. Самоорганізація, породжувана хаосом, притягає

той чи інший аттрактор, адаптація до якого і складає еволюційний відрізок розвитку. Саме в крапці біфуркації зароджується процес переходу до нового якісного стану.

Не узгодженість процесів, що протікають на підприємстві, у період переходу між стійкими станами обумовлює необхідність більш ретельного здійснення функції регулювання. У той же час, будь-який управлінський вплив здатний зруйнувати сформовану тенденцію розвитку (у крапці біфуркації найменша флуктуація може бути вирішальною і викликати стрибок на інший аттрактор).

Отже у період трансформаційних змін слід забезпечити відповідність механізму управління розвитком наступним вимогам: процес регулювання повинен бути резонансним змінам й забезпечувати максимально безболісний перехід між природними фазами розвитку; регулювання повинне здійснюватися вчасно (невраховані процеси можуть вийти з під контроль й викликати негативні зміни); регулююча система повинна налагодити зворотні зв'язки.

Реалізація розглянутих вимог обумовила необхідність формування програми трансформаційних змін та переходу між стійкими станами. Основу її розробки складає оцінка сприйнятливості підприємства до змін. Вона визначатиметься колом організаційно-структурних, соціальних і економічних параметрів організації, а також параметрами її системи управління, оцінити які можна за допомогою використання методів експертних оцінок.

Зміни являють собою базовий елемент процесу розвитку підприємства. Вони можуть мати різну глибину: від невеликого удосконалення до повного перетворення. Іншим параметром змін, що вимагає попередньої оцінки, є їхній розмах, який показує, стосуються зміни окремої ділянки підприємства чи поширюються на більшість процесів. Також виділяють однорідні та різномірні, комплексні трансформації. Зміни та процес їхнього здійснення можуть носити різний ступінь цілісності й відособленості, бути базовими або відрізнятися від базових шляхом введення нововведень у тих чи інших змінах.

Принципово важливо також розрізняти часткові й радикальні зміни. Перші базуються на існуючих системах цінностей, структурах і процесах. У ході часткових перетворень домінує практична придатність проекту, а не безумовне досягнення ідеального (концептуального) стану.

Розглянуті можливі варіанти змін в процесі розвитку слід враховувати при визначенні масштабу змін. Це необхідне для розрахунку інвестицій, необхідних для реалізації трансформаційних процесів, розподілу наявних на підприємстві ресурсів між ділянками, що змінюються й відповідним коректуванням радикальності змін.

Іншим важливим рішенням при економічному обґрунтуванні трансформаційних змін є вибір моменту початку їхнього впровадження. Поспіх, як і повільність, у змозі викликати негативні наслідки незалежно від ступеня пророблення проекту. Непродумане рішення призводить до негативного відношення персоналу підприємства до розробленої стратегії розвитку, викликає ріст його опору змінам. З іншого боку, ретельне, детальне пророблення плану під час роботи з розвитку надто важке з ряду причин. По-перше, провести зміни у повному обсязі неможливо, оскільки нова якість ґрунтується на старому й переминяє його поступово (навіть ретельно розроблений план необхідно постійно корегувати). По-друге, у персоналу формуються певні очікування, готовність до змін, які змінюється байдужістю й зростанням опору змінам, якщо виконання плану відкладається. Отже, починати впровадження змін слід в тому випадку, якщо вирішені принципи питання й визначені критерії виміру результату.

Темп і порядок змін вибирається керівником у залежності від ситуації, а найбільш оптимальним буде порційне ведення змін. Порційні зміни дозволяють співробітникам адаптуватися до ситуації, довести нові

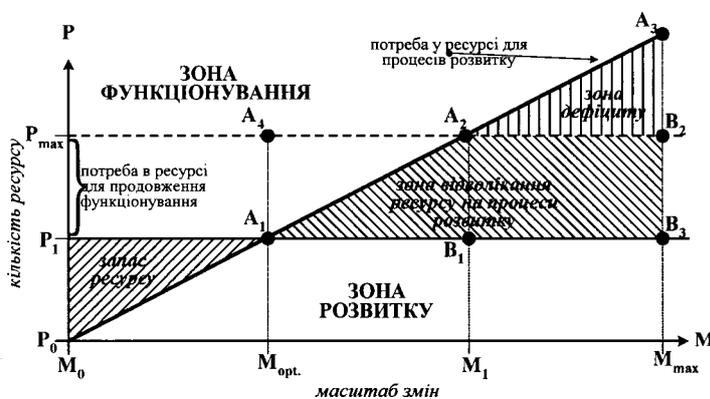


Рис. 1. Схема виділення ресурсів на програму розвитку.

технології до звички й підготуватися до нових трансформацій. Для економії часу невеликі зміни можна проводити паралельно для різних груп і відділів. Єдиним виключенням з даного правила є система матеріального стимулювання, яка повинна вибудовуватися відразу: порційні зміни в оплаті праці дезорієнтують персонал, позбавляють зусилля визначеного змісту.

Таким чином, більш ощадливою і надійною буде стратегія поетапних перетворень, яка вимагає починати перебудову системи з найпростіших, найбільш доступних та легко здійснених змін, нарощуючи на кожному новому етапі масштаби перетворень. Це дозволяє, по-

нтуючись на обраних темпі і порядку змін, необхідних ресурсах, радикальності змін, визначеному моменті початку впровадження й масштабу змін, проводиться розробка графіку здійснення подій. Відмінною рисою графіка, що пропонується, є його взаємозв'язок з ресурсним обґрунтуванням програми розвитку. Воно буде визначатися готовністю системи управління надати ресурси для виконання програми. При цьому необхідно враховувати можливість необхідності надання більшої кількості ресурсів, чим було заплановано.

Виділення ресурсів (матеріальних, кадрових, інформаційних, технологічних і т.ін.) на програму розвитку необхідно робити з урахуванням передбачуваного масштабу змін. При цьому доцільно використання графічного представлення задачі виділення ресурсів (рис. 1).

На рис. 1 лінія $M_0A_1A_2A_3$ показує залежність потреби у визначеному ресурсі від масштабу змін. При цьому враховується потреба в цьому ресурсі, для підтримки процесів функціонування P_1P_{max} . Найбільш оптимальне сполучення розвитку і функціонування буде в крапці M_{opt} , коли не залишається недовикористаного ресурсу. Зона $P_1P_{max}A_1A_4$ характеризується стабільним функціонуванням зі значним запасом ресурсу (зона $P_0M_0P_1A_1$ у якій можливий кількісний ріст в межах стійкого стану й відсутня необхідність якісних переходів).

Збільшення масштабу змін далі від M_{opt} призводить до ризикованості розвитку, оскільки відбувається відволікання необхідних ресурсів із процесів функціонування (зона $A_1A_2B_1$). Бажання підприємства до значної й швидкої переорієнтації своєї діяльності (масштаб зміни від M_1 до M_{max}) характеризується зоною дефіциту ($A_2A_3B_2$) коли необхідне залучення позикових засобів чи скорочення темпів розвитку.

Процес реалізації проекту змін (програми трансформацій) припускає організоване перепроєктування генетичної архітектури підприємства, що досягається в результаті одночасної роботи за таких напрямками як реструктуризація, формування образу майбутнього для підприємства, соціальне відновлення, стратегічна переорієнтація діяльності підприємства тощо.

Проводячи впровадження проекту змін у загальну структуру підприємства необхідно забезпечити контроль результату змін, що вводяться. Контролюватися повинен і графік подій. Ця функція може бути делегована відділу планування чи узятя на себе керівником акціонерного товариства. Контроль за значними заходами звичайно не викликає утруднень. Однак на відміну від контролю за поточною діяльністю, у випадку контролю за реалізацією програми змін, недостатньо контролювати тільки ключові показники і моменти. Необхідно забезпечити найбільш ретельний контроль кожної проведеної операції.

Таким чином, не можна розробити універсальних процедур оперативного управління впровадженням змін. Можливості розвитку визначатимуться ситуацією конкретного підприємства в конкретний період часу. Розробити свій власний варіант здійснення трансформації, ґрунтуючись на досвіді аналогічних підприємств, але надав свої, нові елементи й врахувавши інтереси персоналу і буде головною задачею вищого керівництва акціонерного товариства.

УДК 330.115:658.1

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИКРИЗИСНОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Строкович А.В., канд. экон. наук

(г. Харьков, Украина)

This article is devoted to problem of the anti-crisis management of business, elaboration of the system of the anti-crisis strategy.

Структурная перестройка промышленности, увеличение доли товаров зарубежных производителей на рынке Украины привели к возникновению проблемы неконкурентоспособности продукции, снижению объемов её реализации отечественными предприятиями, затовариванию, последовавшей далее неплатежеспособности, итогом которой явилось банкротство предприятий.

В связи с ухудшением финансово-экономического положения предприятий применяются процедуры восстановления платежеспособности или банкротства. Динамика рассмотрения дел о банкротстве по Харьковскому региону, представлена на рис.1. Представленные данные свидетельствуют о достаточно высоком количестве неплатежеспособных предприятий (в среднем предъявляется 28 исков в месяц).

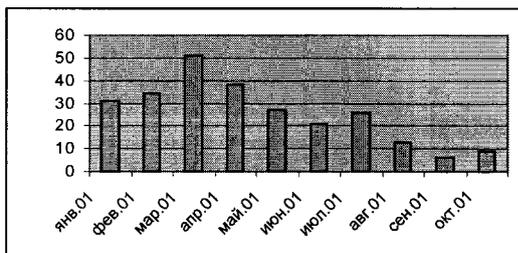


Рис.1 Динамика рассмотрения дел о банкротстве в 2001г.

Основой эффективного функционирования предприятия любой формы собственности в долгосрочном периоде является разработка стратегии его развития, направленной на предупреждение возникновения кризисной ситуации, то есть антикризисной стратегии. Особое внимание процессу разработки антикризисной стратегии следует уделять предприятиям, находящимся в кризисном финансовом состоянии. Данная стратегия будет направлена на преодоление кризисной ситуации.

Реализация антикризисной стратегии осуществляется при помощи антикризисного управления. Объектами

управления являются все бизнес-процессы, протекающие как внутри предприятия, так и между предприятием и внешней средой. Данные процессы можно подразделить на управляемые и неуправляемые.

К управляемым процессам относятся процессы, которые изменяются при воздействии на них. Неуправляемые процессы – это процессы, протекающие без закономерности и не поддающиеся осознанному воздействию.

Указанные процессы находятся в определенном соотношении, которое изменяется с течением времени. Превалирование неуправляемых процессов ведет к возникновению кризисных ситуаций, однако слишком «жесткое» управление тоже негативно влияет на эффективность работы предприятия.

Антикризисное управление — это управление, базирующееся на сканировании слабых сигналов, являющихся свидетельством возможности наступления кризисной ситуации, анализе их симптомов и выработке мер по снижению отрицательных последствий кризиса и использования его факторов для последующего развития.

Особенностью антикризисного управления является то, что оно должно в первую очередь быть направлено не на преодоление последствий кризиса, а на его недопущение. Таким образом, должна быть сформирована антикризисная стратегия предприятия, то есть стратегия, целью которой является недопущение возникновения кризисной ситуации, а также поиск путей, методов и средств её реализации в долгосрочном периоде.

Для формирования эффективной антикризисной стратегии необходимо выяснить причины возникновения кризисной ситуации, оценить степень воздействия и разработать меры по их преодолению. Причины возникновения кризисной ситуации могут быть как макро-, так и микроуровня.

Причинами кризисной ситуации на макроуровне является увеличение ставок налогообложения и ссудного процента; ухудшение инвестиционного климата; повышение стоимости сырья и материалов поставщиками-монополистами; уменьшение доли рынка, за счет появления товаров-конкурентов более высокого качества по аналогичной цене или товаров заменителей; повышение мирового уровня технического развития; проблема неплатежей; недостаточное антимонопольное регулирование деятельности предприятий со стороны государства; отсутствие навыков управления финансами; сложность выхода на внешние рынки и т.д.

Причины кризиса на микроуровне возникают в результате неэффективной работы самого предприятия, а также усиливают воздействие причин макроуровня. Уменьшение объемов реализации продукции за последние 2-3 года, увеличение доли бартерных расчетов, увеличение задолженности перед предприятием за поставленную продукцию, снижение оборачиваемости, неадекватная рыночным условиям ценовая политика – главные причины возникновения кризисной ситуации.

Основой для разработки антикризисной стратегии развития предприятия является информация об имеющемся потенциале хозяйственного субъекта, а также данные о неиспользуемых материальных активах и не прибыльных подразделениях.

Антикризисная стратегия – категория комплексная, включающая ряд локальных стратегий. Целью реализации антикризисной стратегии является изменение негативных тенденций развития предприятия или разработка и осуществление мероприятий, направленных на выход из кризисной ситуации в определенные сроки, располагая ограниченными объемами ресурсов с условием достижения определенного уровня основных финансово-экономических показателей.

Стратегии, реализуемые на макроуровне, направленные на урегулирование взаимоотношений с кредиторами и дебиторами, на списание или замораживание задолженности предприятия и как следствие у предприятия появляется возможность использовать существующие финансовые ресурсы и привлекать дополнительные источники.

К стратегиям на макроуровне относится и стратегия, нацеленная на сохранение или увеличение доли рынка выпускаемых товаров. Определяет методы исследования и средства формирования возможных рынков товаров и услуг, в соответствии с миссией фирмы. Данная стратегия является базовой для планирования процессов осуществления инновационной деятельности, а как следствие изменений в технологии и составе основных фондов. Для осуществления указанных изменений возникает необходимость в дополнительных финансовых ресурсах.

Стратегия подбора поставщиков и концепция взаимоотношений с ними формируется исходя из качества, партий поставки, стоимости ресурсов, возможности нарушений условий договора.

Стратегия поведения на финансовом рынке должна быть направлена на получение дополнительных финансовых ресурсов за счет реализации наиболее высоколиквидных активов, на основе реализации ценных бумаг, характеризующихся высоким уровнем доходности; получения кредитов на выгодных для предприятия условиях, исходя из их величины, процентной ставки и периода предоставления; реализации имущества, которое не будет использоваться не в текущем периоде не в будущем.

Стратегия выхода на зарубежные рынки, базирующаяся на увеличении доли рынка.

Важную роль в реализации антикризисной стратегии на микроуровне занимает ценовая политика предприятия, имеющая определенные особенности в различных сегментах рынка, позволяющая сформировать устойчивые потребительские предпочтения и приверженность потенциальных покупателей данной товарной марке.

Стратегия снижения производственных издержек направлена на достижение предприятием дополнительного конкурентного преимущества за счет снижения затрат. Реализовать данную стратегию возможно как за счет изменения техники и технологии выпуска продукции, так и на основе частичной замены оборудования или за счет повышения эффективности организации процесса изготовления продукции.

Стратегия инновационного развития, основанная на внедрении новой техники и технологии, а следовательно, на выпуске усовершенствованной продукции или расширении существующего ассортимента за счет выведения на рынок новых товаров.

Стратегия, направленная на оптимизацию численности и повышение заинтересованности персонала в эффективной деятельности предприятия.

Стратегия обновления состава руководителей, основанная на частичной замене высшего менеджмента и введении должности антикризисного управляющего.

Таким образом, преодоление кризисной ситуации на предприятии основывается на устранении причин ее возникновения за счет реализации комплекса локальных стратегий.

Литература

1. Антикризисное управление: Учебник / Под ред. Э.М.Короткова. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 432 с.
2. Пушкарь А.И., Тридед А.Н., Колос А.Л. Антикризисное управление: модели, стратегии, механизмы. Научное издание. – Харьков: ООО «Модель Вселенной», 2001. – 452 с.

УДК 658.5

РОЛЬ РЕИНЖИНИРИНГА В СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Олейникова Н.Н.

(г. Харьков, Украина)

The effective activity of the enterprise is largely defined by an existing control system of business - processes. Reengineering allows to develop completely new business process. The basic feature is, that it allows to see all set of operations of the enterprise, informs the manager on the tendencies and market demands.

Несмотря на длительный период становления рыночных отношений в Украине многие отечественные предприятия и фирмы все еще не готовы работать. Выживание организаций в современных условиях динамично изменяющихся рынков возможно лишь при их адаптации и постоянном приспособлении к изменяющемуся окружению. Именно эти стратегические задачи решаются при реинжиниринге бизнес-процессов.

Обычные методы повышения производительности - рационализация и автоматизация процессов - не привели к серьезным улучшениям, которые требуются предприятиям. В частности, инвестиции в информационные технологии привели к отрицательным результатам, во многом из-за того, что предприятия используют технологию только для того, чтобы механизировать старую систему управления. Они оставляют в неприкосновенности существующие процессы и используют компьютеры, чтобы просто их ускорить.

Однако ускорение процессов не может исправить фундаментальный недостаток производительности. Существующие организационные структуры были созданы в расчете на эффективность и контроль. Однако ключевые моменты концепции нового десятилетия - это инновация и скорость, обслуживание и качество.

В широкой практике реинжиниринг появился несколько лет назад. Однако его методы взяты на вооружение ведущими компаниями мира. Украинские предприятия пока только знакомятся с преимуществами реинжиниринга как способа коренного изменения внутрифирменного управления.

Реинжиниринг означает отказ от сложившихся традиций, устоявшихся правил и подходов, радикальный революционный способ преобразования внутрифирменного управления. Реинжиниринг включает в себя выявление этих правил и отказ от некоторых из них в пользу новых способов выполнения работы. Из вновь разработанных процессов возникнут и новые правила, соответствующие тенденциям рынка. Только так можно достичь значительного повышения производительности. Реинжиниринг приводит к множеству изменений, не только в бизнес - процессах. Обязанности работников, организационные структуры, системы управления - все, что связано с процессом - должно быть реорганизовано взаимосвязанным образом. Другими словами, реинжиниринг - это огромная работа, которая требует изменений во многих областях организации.

Для таких организаций как предприятия, находящиеся в кризисном состоянии, а также фирмы, разрабатывающие инновационные стратегии развития реинжиниринг необходим и целесообразен:

Проблема создания эффективно действующей структуры на рынке или реорганизация действующей структуры достаточно сложна и многоаспектна. Решение подобной задачи не может быть осуществлено отдельными мероприятиями, в любом случае это должен быть целый комплекс мер, осуществляемых согласованно, в рамках единой модели. Существует целый ряд методологий и стандартов, а также построенных на их основе программ, позволяющих проводить данные операции достаточно строго (табл.1). Также следует упомянуть, что существуют такие методики как, ДПД- моделирования, входящие в семейство компьютерного проектирования программных систем, предназначенные для профессиональных информационных систем. Однако их практическое применение высокоэффективно, как правило, только для отображения информационных структур.

В большинстве случаев имеет место значительно более сложная ситуация. В данной ситуации существенно помочь может хорошо разработанное семейство методологий IDEF, являющееся государственным стандартом в США. Данное семейство состоит из методологии функционального моделирования IDEF 0 и методологии ин-

формационного моделирования IDEF 1X, реализация которых выявилась в разработке методов анализа процессов взаимодействия в производственных (промышленных) системах.

Таблица 1

**Отображение бизнес - процессов в методологии
ARIS, IDEF 0, DFD, IDEF 3**

<i>Критерии сравнения</i>	<i>ARIS</i>	<i>IDEF 0</i>	<i>IDEF 3, DFD</i>
Логика отображения процесса	Временная последовательность выполнения работ	Принцип декомпозиций	Временная последовательность выполнения работ
Возможность отображения документооборота	Существует	Существует	Отображается только при использовании объекта - комментария
Исполнитель работы	Отражается	Отражается	Отсутствует
Управление работаю	Только символы логики процессу, его последовательность и использование входных документов	Отображается	Только временная последовательность исполнения работы и логика процесса

Особенностью рассматриваемого семейства методологий является, во-первых, уникальная способность "задавать вопросы" в процессе моделирования, а, во-вторых, неразрывная связь графических средств (нотации), методологии и, наконец, технологии.

Формализация бизнес-процессов предприятий в категориях данных моделей позволяет четко разграничить функции подразделений и отделов, выделить основные зоны ответственности, описать связи между подразделениями, формализовать информационные потоки внутри корпорации, определить основные точки контроля.

Дальнейшие преобразования на предприятии необходимо осуществлять на базе разработанной модели бизнес-процессов по следующим направлениям:

- преобразование организационной структуры;
- моделирование финансово-хозяйственной деятельности;
- формализация делопроизводства;
- внедрение принципов бюджетирования в оперативную деятельность.

Основным моментом реализации предложенной концепции реорганизации структуры предприятия является детализация и формализация операций, составляющих бизнес-процессы. Основные связи внутри системы целесообразно проектировать и впоследствии внедрять, исходя из логики и последовательности операций, составляющих бизнес-процесс предприятия.

Построенная подобным образом структура является функциональной и гибкой, что дает значительное преимущество как в нестабильной, так и в агрессивной рыночной среде.

В качестве центрального звена при реинжиниринге выступают информационные технологии, играющие в данном случае роль конструкторского фактора. Само по себе использование компьютерных технологий в управлении не дает нового качества и количества хозяйственной деятельности в целом. Реинжиниринг по-новому организует бизнес-процессы и интегрирует в новые бизнес-процессы компьютерные технологии и современные коммуникации. Реальная сила технологий заключается не в том, что она позволяет старым функционировать лучше, а в том, что она дает возможность создать новые способы работы.

Грамотно просчитанный и успешно реализованный реинжиниринг способствует успешному продвижению товара на рынке, а следовательно, увеличению доходов и повышению эффективности деятельности предприятия.

УДК 658.01

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

Котов А.Н.

(г. Харьков, Украина)

The characteristic of sources of formation of the capital of firm.

Современные условия деятельности большинства отечественных предприятий характеризуются недостатком инвестиционных ресурсов, необходимых для технического совершенствования производства и внедрения новых технологий.

В свою очередь, возникновение такого рода трудностей оказывает прямое немедленное воздействие на эффективность всего производственного процесса и ставит под угрозу дальнейшее существование предприятия. Для преодоления дефицита ресурсов на предприятии необходимо использовать источники дополнительного финансирования. При выборе наиболее подходящего для предприятия источника финансирования следует рассмотреть все возможные варианты привлечения капитала и определить критерии предпочтения.

Таблица 1.

Преимущества и недостатки различных источников финансирования

Источники финансирования	Положительные стороны	Отрицательные стороны
1	2	3
Внутренние источники		
Прибыль предприятий и амортизационные отчисления	высокая скорость привлечения; низкая стоимость использования; отсутствие ответственности предприятия при потере ресурсов; отсутствие обязательств перед внешними лицами; наибольшая рентабельность используемых ресурсов; отсутствие ограничений по срокам использования.	ограничен в размерах привлечения; конфликт интересов собственников и управляющих предприятием в направлении использования прибыли.
Преобразование предприятия в АО открытого типа (эмиссия акций)	стоимость капитала с точки зрения выплаты дивидендов регулирует сама компания; отсутствие ограничений в направлении использования капитала; отсутствие ограничений по срокам использования капитала.	длительная процедура преобразования; неэффективность размещения акций на национальном фондовом рынке и, как следствие, необходимость выхода на зарубежный фондовый рынок; размывание прав собственности; риск перехода права собственности в другие руки; значительные затраты средств и времени на преобразование предприятия, эмиссию и размещение акций.
Создание стратегических альянсов	большой резерв инвестиций; большая маневренность ресурсов.	жесткий контроль за использованием ресурсов и общей деятельностью предприятия; проблемы совмещения отечественного и иностранного бухгалтерского учёта; отрицательное влияние нестабильности налоговой системы
Венчурный капитал	не требует фиксированного процента и гарантий возврата; выделяется в размерах, покрывающих всю стоимость работ; минимальная ответственность предприятия	дефицит предложения капитала; трудность привлечения капитала; опасность провала идеи.
Внешние источники		
Банковский кредит	возможность получения дополнительной прибыли при использовании заёмных средств; относительно короткие сроки привлечения; полная свобода распоряжения в рамках целевого использования кредита; возможно снижение процентной ставки и продление сроков использования кредита при работе с одним и тем же банком на долговременной основе, также возможно увеличение суммы кредита и разделение его на транши.	сложная процедура получения кредита; жесткий контроль за использованием кредита; отечественные банки предоставляют кредит в основном сроком до 2-х лет; высокая процентная ставка по кредиту (до 36 % годовых); кредиты зарубежных банков имеют возможность получить только крупнейшие организации, имеющие высококвалифицированных специалистов по разработке бизнес-планов и обоснованию использования кредита; необходимость обеспечения возврата кредита залоговым

		<p>имуществом и возможность его потери;</p> <p>необходимость ежемесячной выплаты процентов по кредиту;</p> <p>жесткие штрафные санкции за несоблюдение условий кредитного договора;</p> <p>размер кредита, сроки использования и процентная ставка за пользование кредитом ограничены степенью доверия банка заёмщику.</p>
Коммерческий кредит	<p>способствует движению товара из сферы производства в сферу потребления;</p> <p>способствует ускорению реализации товаров;</p> <p>характеризуется короткими сроками привлечения (заключение договора на реализацию с отсрочкой платежа).</p>	<p>существует в неденежной форме;</p> <p>ограничен величиной резервных кредитов;</p> <p>осуществляется только в направлениях, предусмотренных условиями сделки;</p> <p>используется высокая процентная ставка (до 50 % годовых);</p> <p>применяются высокие штрафные санкции за невыполнение условий договора;</p> <p>краткосрочный характер.</p>
Облигационный займ	<p>возможна оплата кредита не денежными средствами;</p> <p>возможность краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного займа;</p> <p>выплата по займам осуществляется в конце срока действия облигаций;</p> <p>исключает возможность зависимости от кредиторов.</p>	<p>требует значительных затрат на эмиссию и размещение ценных бумаг;</p> <p>неразвитость национального фондового рынка препятствует эффективному размещению ценных бумаг;</p> <p>подразумевает гарантию возврата займа;</p> <p>существование законодательных ограничений по выпуску облигаций;</p> <p>организация резерва под обесценение стоимости облигаций</p>

В современных условиях у предприятий имеется множество вариантов привлечения капитала как в уже существующий бизнес, так и во вновь создаваемый. Всю совокупность источников можно разделить на два вида: внутренние и внешние. При определении приоритетных источников финансирования инвестиционной деятельности наиболее значимыми критериями для предприятия являются: стоимость дополнительного капитала, сроки и условия привлечения ресурсов, возможные ограничения в сфере принятия управленческих решений, возможный эффект от использования капитала. И при выборе источников капитала необходимо тщательно взвесить все их положительные и отрицательные стороны, возможности и угрозы, а также оценить сопутствующие риски. Характеристика источников финансирования представлена в таблице 1.

Одним из наиболее привлекательных для предприятия вариантов внутренних источников являются инвестиции за счет собственных средств. Основу собственных источников инвестирования составляют амортизационные отчисления и прибыль предприятий. Как правило, эти инвестиции связаны с поддержанием действующего производства, а не его расширением либо модернизацией. Основная причина здесь - существующая в Украине система бухгалтерского учета и налоговая система не позволяют предприятиям в полном объеме задействовать собственные финансовые ресурсы, размер которых и без того мал. Такое положение приводит к максимальному снижению показателей выручки от реализованной продукции (услуг).

Второй вариант – эмиссия акций. Переход закрытого общества на положение публичного представляет собой наиболее сложный и дорогой с точки зрения финансовых затрат процесс. Но в данном случае стоимость капитала, с точки зрения выплаты дивидендов по акциям, контролируется самим обществом. Капитал может направляться и на расширение производства и на модернизацию существующего, на НИОКР, процессы слияний-поглощений и т.д. При таких условиях может оказаться, что для предприятия всегда менее рискованно привлекать капитал через дальнейший выпуск акций. Однако последствием таких действий может стать размы-

вание прав собственности, а это особенно неприемлемо для тех акционеров, которые владеют контрольными пакетами.

Третий вариант – создание стратегических альянсов. Одним из наиболее распространенных способов инвестирования иностранного капитала в Украину является создание совместных предприятий или предприятий со 100% иностранным капиталом. В данном случае иностранный партнер принимает активное участие в управлении предприятием, разработке сбытовой политики, стратегии предприятия и тактики ее внедрения, а также контролирует финансовые потоки. Партнеры вносят в совместное предприятие капитал в виде наличных средств, материальных активов, сбытовых сетей, основных фондов, интеллектуальной собственности и т.д.

Четвёртый вариант – развитие венчурного инвестирования. Венчурными инвестициями называют обычно рискованный капитал, направляемый в развитие быстрорастущих фирм. Условия венчурного инвестирования не предусматривают необходимости предоставления кредитной истории, оплаты фиксированной процентной ставки, гарантий возврата или залога. Принципиальным здесь является наличие коммерчески перспективной предпринимательской идеи. Венчурное инвестирование для технологичных компаний и проектов проще и дешевле, чем выход с заимствованиями на иностранные фондовые рынки или получение кредита.

Одними из основных внешних источников являются кредиты. Кредиты коммерческих банков – наиболее распространённый способ привлечения инвестиций. Но отечественные банки в связи с короткими пассивами не в состоянии финансировать долгосрочные проекты реального сектора экономики, нацеленные на перевооружение и модернизацию существующего производства. Для того, чтобы получить кредит в банке, предприятию необходимо представить на рассмотрение кредитного комитета технико-экономическое обоснование проектов, представляемых для финансирования. Кредитный отдел банка осуществляет анализ финансовой отчетности (баланс, отчет о прибылях и убытках, отчет о движении денежных средств), после чего кредитный совет принимает решение о предоставлении кредита. Этот процесс занимает довольно длительный промежуток времени.

Зарубежные банковские кредиты предоставляются в основном крупнейшим отечественным заемщикам. Зарубежные кредиторы в обязательном порядке требуют разработку обоснования привлечения инвестиций лишь на основе международных стандартов бухгалтерского учета. Не менее важным внешним источником формирования капитала является коммерческий кредит. Коммерческим кредитом называют кредит, предоставляемый одним функционирующим предприятием другому в виде продажи товаров с отсрочкой платежа. Цель коммерческого кредита – ускорить реализацию товаров и получение прибыли. Размеры этого кредита ограничены величиной резервных кредитов промышленных и торговых капиталов. Передача этих капиталов возможна только в направлениях, определенных условием сделки. Нужно отметить, что коммерческий кредит имеет ограниченные возможности, т.к. представляет собой неденежную форму. Коммерческий вид кредитования ограничен по размерам, имеет краткосрочный характер, а заемщик часто нуждается в долгосрочном кредите.

В заключение необходимо выделить, что предприятие должно учитывать стоимость привлечения капитала. Для получения кредита требуется предоставить обеспечение или гарантию того, что он будет погашен. Это означает, что предприятие будет рисковать потерей некоторых своих активов в том случае, если оно не сможет погасить свой долг вообще или погасить его своевременно; некоторые активы могут быть конфискованы для того, чтобы реализовать их и погасить долг. Если такие активы, которые могут быть жизненно важными для производства товаров или предоставления услуг, будут потеряны, то это может вылиться в закрытие предприятия. В принципе такая практика распространяется на все формы заимствований независимо от того, были ли они получены в банке или через рынок ценных бумаг.

Таким образом, факторы, влияющие на стоимость капитала для предприятия, определяются не только ставкой и периодом погашения, но и тем воздействием, которое окажет привлечение капитала на будущее благосостояние. Также при определении потребностей в финансировании необходимо оценивать соотношение между заемными и собственными средствами в структуре капитала. Если заемные средства намного превышают собственный капитал, то предприятие может стать чувствительным к любым неблагоприятным изменениям на рынке или в каком-то отдельном секторе, что может привести к неспособности обслуживать свой долг. В то же время маленькая доля заемных средств по отношению к собственному капиталу может выразиться в замедлении темпов роста прибыли на одну акцию. Это грозит перенасыщением рынка ценных бумаг акциями предприятия, что в свою очередь, может привести к падению цены акции и сделать акционерное общество открытым для поглощения.

УДК 658.17

ОБОСНОВАНИЕ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мартянова М.П.

(г. Харьков, Украина)

The article deals with the problems of analysis of activity reconstruction processes carried out in Ukraine at a stage becoming of a market relations.

Важным направлением рыночного реформирования экономики Украины является осуществление процессов трансформации форм собственности, приватизации и разгосударствления предприятий. Однако смена собст-

венника автоматически еще не приводит к желаемому результату - повышению эффективности производства.

Одним из важнейших направлений совершенствования организации и управления отечественными предприятиями является реструктуризация. Реструктуризацией предприятия представляет собой комплекс правовых, организационно-экономических, социальных и технических мер, которые направлены на изменение структуры предприятия, его управления, форм собственности, организационно-правовых форм, способных привести предприятие к финансовому оздоровлению, увеличению объемов выпуска конкурентоспособной продукции, повышению эффективности производства. [1]. Целью реструктуризации является обеспечение повышения эффективности хозяйствования на основе выявления сильных хозяйственных звеньев, путем объединения капитала или его диверсификации.

Реструктуризация часто рассматривается также как метод вывода хозяйствующих субъектов (предприятий, компаний, обществ и объединений предприятий) из кризисного состояния [2]. В этом случае реструктуризация может проводиться путем выделения наиболее эффективных в производственном и финансовом отношении звеньев (структурных подразделений), с передачей им необходимых материальных ресурсов и оборотных средств. Резервы повышения эффективности в данном случае связаны с расширением перспектив роста хозяйственных звеньев, освобождения их от влияния менее эффективно работающих подразделений. Другим вариантом осуществления реорганизации является проведение реструктуризации долговых обязательств (списание или отсрочка долгов).

В условиях рыночного реформирования экономики Украины осуществление структурной перестройки, проведение преобразований на государственных предприятиях, организационно-экономический механизм функционирования которых сформировался в условиях административного регулирования хозяйственной деятельности, осложняется тяжелым финансово-экономическим положением большинства субъектов хозяйствования. Поэтому для повышения эффективности работы отечественных предприятий необходимо использование комплекса мероприятий стратегической и тактической, "структурированной" и финансовой реструктуризации.

Под "структурированной" реструктуризацией подразумеваются процесс, в рамках которого проводятся мероприятия, связанные с кардинальными внутренними преобразованиями, такими как ликвидация предприятия или его структурных подразделений, перепрофилирование, объединение (слияние) с более сильными звеньями, создание нового субъекта хозяйствования и упразднение действующих.

Дополнительной трудностью, серьезно осложняющей процесс реструктуризации промышленности Украины, является наличие долей государственной собственности в уставных фондах большинства крупных предприятий. На многих крупных промышленных предприятиях государство остается ключевым собственником (владельцем контрольного пакета акций АО или единоличным собственником). Само по себе это обстоятельство нельзя отнести к разряду негативных факторов, однако отсутствие в современных условиях реформирования экономики Украины взвешенной промышленной политики государства, четких приоритетов экономического развития в значительной степени препятствует осуществлению процессов реструктуризации.

Основными направлениями реструктуризации государственных предприятий и предприятий, имеющих в структуре собственности государственную часть являются следующие:

- приватизация предприятий и преобразование их в открытые АО;
- разделение и создание новых юридических лиц;
- ликвидация в связи с укрупнением;
- передача объектов социальной сферы в коммунальную собственность.

Последовательность обоснования и осуществления реструктуризации государственного предприятия представлена на рис.1.

Основными трудностями и проблемами, которые сдерживают реструктуризацию предприятий и требуют совершенствования нормативно-правовой базы этого процесса, являются следующие:

отсутствие четкого механизма принудительной передачи объектов социальной сферы от предприятий и организаций в коммунальную собственность;

отсутствие законодательного механизма наделения реструктуризируемых предприятий оборотными средствами;

отсутствие упрощенной схемы вывода оборудования (консервация оборудования);

отсутствие механизма финансового и материального обеспечения содержания простаивающих мощностей (в особенности мобилизационных производственных мощностей и мощностей, относящихся к числу государственных резервов).

Анализ эффективности деятельности предприятия для принятия решения о необходимости дальнейшей реструктуризации целесообразно проводить по следующим направлениям:

- 1) анализ финансового состояния предприятия;
- 2) производственный и научно-технический потенциал объекта реструктуризации, также прогрессивность технологических процессов;
- 3) анализ состояния и эффективности организации кооперационных связей и сбыта продукции предприятия;
- 4) наличие кадрового состава предприятия и анализ эффективности использования трудовых ресурсов;
- 5) структура заработной платы;
- 6) наличие социальной инфраструктуры предприятия;

7) наличие и оценка перспектив использования незавершенного строительства;

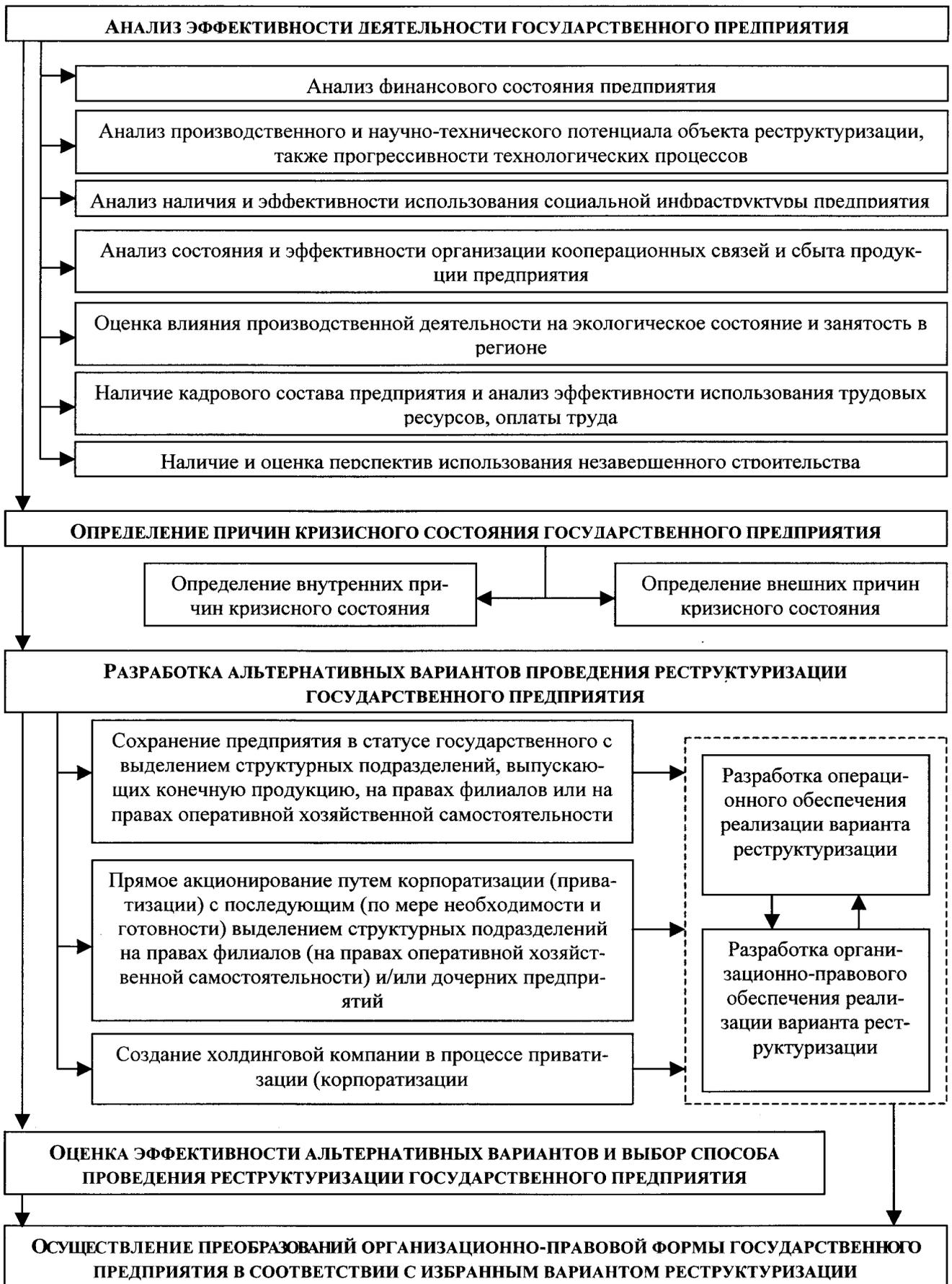


Рис. 1. Последовательность обоснования реструктуризации государственного предприятия.

8) оценка влияния производственной деятельности на экологическую обстановку и состояние и занятости в регионе.

Использование представленной последовательности реструктуризации в практике реформирования государственных предприятий будет способствовать повышению эффективности и обоснованности управленческих решений связанных с совершенствованием организационно-экономического механизма хозяйствования.

Литература

1. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Реструктуризация предприятий и компаний.- М.: ЗАО "Из-во "Экономика", 2001. – 456с.
2. Афонин А.С., Нестерчук В.П. Технология реструктуризации предприятий. К.: Из-во Европ. ун-та финансов, информ. систем, менеджм. и бизнеса, 2000.- 72с.

УДК 338. 65

МОТИВАЦИЯ ТРУДА ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

Пигарев В.П.

(г. Харьков, Украина)

Motivation of a transactions of staff of firm.

Трудовая деятельность осуществляется в условиях общественного разделения труда под влиянием ситуации на рынке, образования, квалификации, стажа работы, трудовой активности, ценностных ориентаций и приоритетов работника. Исходя из этого мотивацию труда следует рассматривать как побуждение работника к эффективному труду, обеспечивающее вознаграждение и удовлетворяющее имеющиеся потребности.

Материальная мотивация труда персонала зависит от следующих факторов: уровня и структуры личных доходов, дифференциации доходов на предприятии и их сопоставления с доходами в отрасли, регионе, материального обеспечения наличных денежных доходов, а также действенности системы материальных стимулов, применяемых на предприятии.

Значимость уровня личных доходов определяется возможностью воспроизводства рабочей силы, а потому и силой мотивации к труду. Кроме того, на нее влияет и необоснованная дифференциация доходов, которая может привести либо к уравнительности, либо к социальной несправедливости. Этим объясняется тот факт, что государство должно осуществлять реализацию таких функций как эффективность, стабильность и справедливость. Функция эффективности предполагает создание экономико-правовых предпосылок с целью обеспечения всем субъектам хозяйствования одинаковых стартовых условий, защиты интересов собственного товаропроизводителя и другое. Функция стабильности предусматривает использование на государственном уровне таких финансовых и налоговых рычагов, которые влияют на уровень и темпы производства, дают возможность проводить антиинфляционные меры, поддерживать занятость населения. Функция справедливости должна обеспечивать общественно приемлемый уровень дифференциации доходов за счет введения прогрессивной системы налогообложения, индексации доходов, разработки и реализации программ поддержки низкооплачиваемых слоев населения и установления государственных социальных гарантий.

Кроме материальной мотивации труда существует трудовая и статусная, причем роль нематериальных мотивов и стимулов в современных условиях постоянно возрастает. Трудовая мотивация отражает сам процесс работы, то есть ее содержание, условия, организацию трудового процесса, режим труда, отдыха и др. Она обусловлена потребностью человека в содержательном, интересном и полезном труде, в соответствующих его условиям, а также связана с самовыражением и самореализацией работника. Состояние трудовой мотивации характеризуется такими признаками: общая трудовая пассивность;

низкая значимость общественных мотивов труда, служебного, профессионального и квалификационного роста; определение социального статуса работника, как правило, по нетрудовым критериям; желание иметь стабильную, высокооплачиваемую работу, которая обеспечивает необходимый уровень потребности с низкой интенсивностью неквалифицированного труда.

Одной из форм проявления трудовой пассивности является снижение интереса к повышению квалификации и профессионального мастерства на фоне быстро растущих требований к размеру заработной платы, кроме того, работа на многих предприятиях перестала быть социально значимой ценностью. Это обусловило тот факт, что значительная часть работников, не видя реальных возможностей получения благ за счет честного и добросовестного труда, предпочитает ограничить свои потребности. Это в свою очередь делает таких работников мало восприимчивыми к стимулированию труда. Кроме того, трудовая пассивность связана с отчуждением труда, что связано со следующими причинами: труд не всегда обеспечивает нормальный уровень жизни; низкий уровень трудовой и производственной дисциплины ведет к низкому качеству выпускаемой продукции, высокому травматизму и, как следствие, низкому уровню заработной платы; у значительного большинства работников отсутствует практическая возможность выбора места приложения своего труда; руководители предприятий чаще предпочитают исполнительных и безотказных работников вместо высокопрофессиональных и инициативных специалистов; уравнительность в оплате труда не обеспечивает зависимости личного

трудового вклада работника и результатов деятельности предприятия; существующая противоречивость системы заработной платы ослабляет взаимосвязь заработка и содержательности труда.

Повышение трудовой активности должно быть основано на росте инициативы и предприимчивости работников. Для эффективного функционирования предприятия в современных условиях необходим такой тип работника, который ориентирован на максимальные достижения в труде, знает свои права, рассчитывает на собственные силы и несет ответственность за результаты работы предприятия.

Статусная мотивация определяется статусом работника на предприятии, его желанием быть признанным специалистом, неофициальным лидером, пользоваться авторитетом в коллективе.

Управление мотивационным процессом на предприятии требует создания определенных предпосылок, заключающихся в обеспечении полной и достоверной информацией о состоянии и динамике мотивационной направленности персонала, а также в прогнозировании социально-экономических последствий принимаемых управленческих решений и проведении мотивационного мониторинга. Его главной задачей является изучение постоянно меняющихся потребностей, интересов, ценностных ориентиров персонала. Мотивационный мониторинг должен способствовать определению наиболее действенных рычагов и стимулов влияния на поведение работников предприятия с целью достижения целей (и работника, и предприятия). Он основывается на проведении опросов работников предприятия и анализе существующей экономической и социологической информации.

Предметом исследования мотивации трудовой деятельности в динамике являются такие характеристики как: характеристики трудовой деятельности и качество трудового потенциала предприятия; показатели уровня жизни (номинальная и реальная заработная плата, структура и дифференциация доходов, реальный бюджет работников предприятия и их семей, уровень обеспечения жильем, медицинскими услугами, личная безопасность и др.); характеристика государственной социально-экономической политики и социальной направленности рыночных преобразований.

Мониторинг мотивации трудовой деятельности основывается на использовании ряда принципов: комплексность, системность, периодичность, производственно-территориальный подход и аналитичность. Их целесообразное применение обеспечивает выбор оценочных показателей для каждого из существующих на предприятии направлений мотивации труда, получение и обработку всей необходимой информации для анализа состояния и изменений в мотивации персонала, установление причин имеющих место изменений с учетом влияния внешних и внутренних факторов, пополнение необходимой информации для разработки базовых характеристик мотивации трудовой деятельности.

Важным фактором мотивации труда персонала является планирование карьеры работников, которая определяется в виде совокупности всех должностей (квалификационных уровней) в течение трудовой жизни. Карьера подразделяется по специальности и внутри предприятия. Карьера по специальности представляет собой различные стадии профессиональной деятельности работника (учеба, работа, развитие индивидуальных профессиональных способностей, профессиональный рост и выход на пенсию), которые могут осуществляться либо на одном предприятии, либо на разных. Карьера внутри предприятия соответственно включает стадии профессиональной деятельности работника на одном конкретном предприятии и может осуществляться в виде продвижения к более высокому уровню в иерархии предприятия, перевода с одного рабочего места на другое (чем усиливается мотивация трудовой деятельности) или признание как специалиста и личности в неформальном коллективе.

Планирование карьеры может осуществляться в соответствии с разработанной программой или моделями продвижения по службе, которые дают возможность определять перспективы служебного роста, раскрывать свои способности и применять их наилучшим образом для достижения целей предприятия.

Важной проблемой в процессе мотивации персонала является регулирование рабочего времени и обеспечение возможностей использования свободного времени. В современных условиях в странах с развитой рыночной экономикой разработаны модели гибкой организации рабочего времени, индивидуализации их применения и повышения роли свободного времени, которые являются составными частями нетрадиционных методов мотивации труда. Так, в Германии гибкое рабочее время подразделяется на динамическое (обеспечивается гибкость продолжительности рабочего времени), скользящее (способствует гибкости календарной динамики рабочего времени) и переменное (являющееся синтезом динамического и скользящего рабочего времени).

Регулирование рабочего и свободного времени может быть обеспечено за счет предоставления дополнительного свободного времени и перераспределения рабочего времени. Применение гибкого рабочего времени целесообразно для тех работников предприятия, которым свойственны организованность, дисциплинированность и сознательность.

Существующая структура мотивации труда на предприятиях включает: оплата труда (основную заработную плату плюс законодательные надбавки), материальное поощрение, разовые вознаграждения, компенсации и незаконодательные надбавки и доплаты, моральное поощрение.

Одним из важнейших элементов формирования эффективной системы мотивации труда на предприятии является заработная плата, структура которой в общем виде может быть представлена в виде математической модели:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – составляющие элементы заработной платы, n – количество элементов.

Формирование системы мотивации труда в современных условиях должно осуществляться с учетом трудового вклада каждого работника, результатов его труда, возможных инфляционных процессов и формы собственности. Структура заработной платы, как правило, состоит из двух составных частей. Первая из них выплачивается за счет себестоимости продукции (основная и дополнительная заработная плата, вознаграждение за конечные результаты труда), вторая – за счет прибыли предприятия (премии за основные результаты и материальная помощь).

Основной заработной плате принадлежит стимулирующая роль в росте профессионального мастерства и повышении квалификации конкретного работника. Она должна обеспечивать минимальный размер оплаты труда в случае отработки работником необходимого количества рабочего времени (или изготовления определенного количества продукции).

Дополнительная заработная плата предусматривает учет различных видов доплат, надбавок за условия труда и квалификацию работников, причем они должны устанавливаться дифференцированно. К ним, как правило, относят: доплаты за вредные условия труда, совмещение профессий, работу в ночное время, бригадирам за руководство бригадой, за время выполнения государственных обязанностей; надбавки устанавливаются за выполнение дополнительных обязанностей, совмещение профессий, классность водителей, ученые степени и звания и персональные надбавки руководителям и специалистам за квалификацию.

В основе вознаграждения за конечный результат лежит установление связи заработной платы с конечными результатами работы предприятия, что обеспечивает повышение заинтересованности работников. Такое вознаграждение, как правило, устанавливается с учетом вклада каждого работника в виде коэффициента трудового участия. В качестве основных конечных результатов в практической деятельности используются увеличение объемов продукции, рост производительности труда, повышение качества продукции, экономия ресурсов, а также внедрение изобретений и рационализаторских предложений. Наиболее рациональным показателем конечной результативности работы предприятия в условиях рынка является выручка от реализации продукции.

Премия за основные результаты, выплачиваемая из прибыли предприятия, аналогично вознаграждению также стимулирует достижение конечных результатов либо структурного подразделения, либо предприятия. Размер премий зависит только от получаемой прибыли, то есть в случае ее отсутствия никакие премии не выплачиваются.

Обеспечение социальных гарантий и благ для работников осуществляется с помощью материальной помощи, также выплачиваемой за счет прибыли предприятия.

5. ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.531

НОВЫЙ СПОСОБ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

Бирюков Б.Н., докт. техн. наук
(г. Одесса, Украина)

The way of the unidirectional moving in space mechanical is received systems by regular change of charcter of movement of its elements.

Получен экспериментально и проверен теоретически новый способ однонаправленного перемещения в пространстве механической системы путем регулярного изменения характера движения ее элементов, разработаны несколько вариантов устройств реализующих этот способ. Ряд из них изготовлен в виде действующих образцов.

Схема одного из вариантов устройств, поясняющая принцип действия механической системы, приведена на рис. 1.

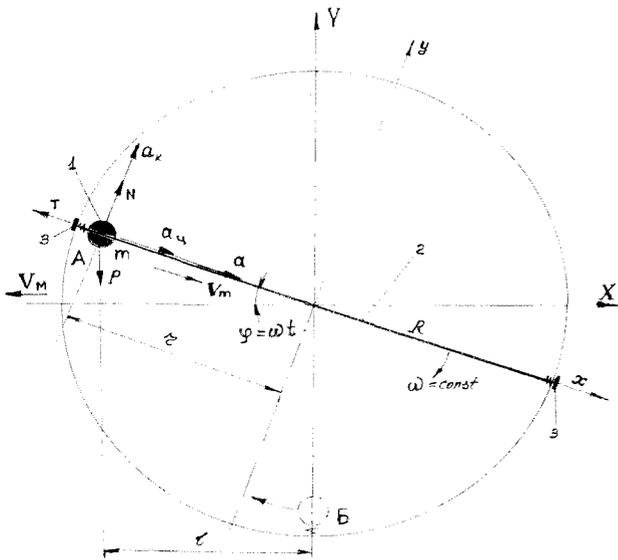


Рис.1. Схема устройства.

Как видно из рисунка, устройство элементарно просто. Масса m , поз. 1, установлена на поводок 2 с возможностью свободного скольжения вдоль него от упора до упора 3. Поводок 2 приводится во вращение с постоянной угловой скоростью ω . На массу действует сила P , например гравитационного поля $-mg$, а также центростремительное ускорение $a_{ц} = \omega^2 R$, где

R – максимальное расстояние центра массы от оси вращения. Это ускорение образует центробежную силу $\omega^2 Rm$.

Сила P создает силу нормального давления $N = P \cos \varphi$, а также силу $P \sin \varphi$, стремящуюся перемещать массу вдоль поводка с ускорением a . Сила нормального давления образует силу трения $T = fP \cos \varphi$, где f – коэффициент трения.

Главное условие работы системы – сила $P \sin \varphi$ должна превышать центробежную силу и силу трения в сумме, что ограничивает величину угловой скорости

ω вращения поводка. Очевидно, что масса m начинает свое скольжение по поводку при достижении угла φ , при котором будет справедливо равенство:

$$P \sin \varphi_{нач} = \omega^2 r m + f P \cos \varphi_{нач},$$

или, если система работает за счет силы гравитационного поля Земли:

$$g \sin \varphi_{нач} = \omega^2 r + f g \cos \varphi_{нач}.$$

Однонаправленное перемещение механизма (например, вдоль оси X) будет, если проекция на эту ось векторов действующих ускорений за один поворот поводка на 180° (один рабочий цикл) будет более нуля.

Ускорение центра массы m $a_m = \sqrt{(a \pm a_{ц})^2 + a_{к}^2}$, где знак (+) для первой части ее движения (слева от оси Y) и (-) при движении во второй части (справа от оси Y). Проекция относительного ускорения на ось x $a = r \ddot{\varphi}$.

Переносное нормальное ускорение $a_{ц}$ всегда направлено к центру вращения и равно: $a_{ц} = \dot{\omega}^2 r$, где r – текущее расстояние центра массы от оси вращения. Переносное касательное ускорение здесь равно нулю, так как угловая скорость вращения поводка постоянна. Величина кориолисова ускорения равна:

$$a_k = 2\omega \dot{V} = 2\omega \dot{r}.$$

При кажущейся простоте этих выражений вывести аналитические зависимости для решения задачи весьма сложно, так как все они взаимосвязаны и взаимозависимы. Автор решил задачу более простым, числовым методом, составив движение поводка из множества «застывших» положений. Для каждого из них можно сделать

расчет движения массы по формулам, полученным для движения массы по неподвижной наклонной плоскости, с поправками на изменения центробежного и кориолисова ускорений, а также текущего радиуса r - по предыдущей ступени. Для чего были получены следующие выражения, описывающие движения массы m по поводку под действием гравитации:

$$a_n = g \left[\sin \varphi - f \left(\cos \varphi \pm \frac{2V_{n-1}\omega}{g} \right) \right] \mp r_{n-1}\omega^2;$$

$$V_n = V_{n-1} + a_n t;$$

$$x_n = x_{n-1} + V_{n-1}t + a_n \frac{t^2}{2};$$

$$r_n = R - x_n.$$

Здесь t - время прохождения поводком одной ступени. Для расчета первой ступени исходные данные имеются, именно: $r_0 = R$, $V_0 = 0$, $a_k = V_0\omega = 0$. Используя для расчета компьютер, можно получить решение задачи с любой необходимой точностью.

Найдя вектора ускорений и спроектировав их средне-взвешанные (из расчета действия их импульсов на один рабочий цикл) величины на ось X , автор получил превышение действия ускорений в сторону (+) X , что равносильно тому, что механическая система получит за счет силы противодействия импульс силы, направленной в сторону (-) X . Это совпадает с результатом эксперимента: макет водоплавающего устройства, оснащенный описанной механической системой ($\omega = 4 \text{ рад/с}$, $R = 270 \text{ мм}$, $m = 3,5 \text{ г}$ и общей массой 180 г), перемещается по поверхности воды со скоростью около $0,4 \text{ м/мин}$ в ожидаемом направлении. В соответствии с теоремами о движении центра масс и количества движений имеет место движение механической системы за одно перемещение массы по поводку:

$$L_M = \frac{m}{M - m} l,$$

где M - полная масса системы;

l - перемещение массы m (в проекции на ось X).

Из положения Б в положение А масса проходит только при действии ускорения a_n и, соответственно, центробежной силы $\omega^2 Rm$, направленной в направлении V_M . Поскольку тяговое усилие не велико, новый способ передвижения целесообразно применять на водоплавающих и подводных объектах, а также для точных перемещений космических объектов. Для применения в космосе необходимо использовать блок из двух устройств в «зеркальном» исполнении, снабженных пружинным механизмом и приводимых двумя двигателями, работающими синхронно и синфазно. Это позволит компенсировать удар массы в положениях Б (рис.1), и исключить перемещение системы по оси Y , а также компенсировать реакции статоров электродвигателей.

УДК 539.3

УЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ ОБОЛОЧЕК С РАЗЛИЧНЫМИ СКОРОСТЯМИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Колодяжный А.В., канд. техн. наук, Вакуленко К.В., Чернобрышко М.В., канд. техн. наук,
Ярещенко В.Г., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

It has been investigated the influence of frictional force appearing at collision of two cylindrical shells on the temperature variation in contact zone. Is considered a mathematical model of explosion welding. The necessity of taking account of centrifugal force acting on thrown shell has been demonstrated.

При скольжении соударяющихся элементов в таких процессах, как, например, сварка взрывом или сварка пайка, имеет место явление тепловыделения. Сварка взрывом позволяет получать изделия различной конфигурации из материалов, сварка которых традиционными способами затруднена и даже невозможна. Процесс сварки-пайки происходит, если между соединяемыми поверхностями добавить слой припоя, что значительно повышает качество сварного соединения.

При математическом моделировании сварки-пайки кроме определения напряженно-деформированного состояния системы необходим учет температурного поля в зоне контакта соединяющихся элементов. Однако, все ранее предложенные схемы сварки взрывом [1] предполагают, что в зоне контакта материала находится в жидком состоянии. Изучение тепловыделения в процессе соударения требует более точного учета скорости точки контакта, как в нормальном, так и в тангенциальном направлениях. Именно относительная скорость в тангенциальном направлении при контакте соударяющихся элементов и вызывает силу трения скольжения, которая является физическим механизмом тепловыделения.

При малых скоростях скольжения ($v_0 \leq 3$ м/с) коэффициент трения совместно с нормальным давлением P_n определяют тепловыделение и имеют максимум в области (1,5...2,0) м/с. При этом для малых P_n имеет место монотонный рост коэффициента трения, а для больших (в указанном диапазоне) – экспоненциальное его снижение [2]. Температура трения Θ_f при $v \neq 0$ определяется как

$$\Theta_f = 2fP \left(1 + \frac{1}{\sqrt{r}}\right) \frac{v \cdot r}{4a_2} \frac{1}{\gamma_2 c \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} + 1\right) \sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{v \cdot r}{4a_2}}}, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения; P – удельное давление (при статическом контакте по Герцу); v – скорость скольжения; r – радиус площади контакта; $\gamma_2, a_2, c, \lambda_2$ – соответственно удельный вес, температуропроводность, теплоемкость, теплопроводность движущегося тела; λ_1 – теплопроводность неподвижного тела.

Без больших погрешностей можно (1) записать так:

$$\Theta_f \approx fP \sqrt{l \cdot v \cdot a} / \lambda \quad (2)$$

Примем следующие значения параметров трения соударения: $v = 2 \cdot 10^3$ см/с и $2 \cdot 10^5$ см/с, $2\lambda_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ см, $\lambda_1 = 2,6 \dots 4,0$ кг/см * см*с*град, $a_1 = 0,079 \dots 0,096$ см²/с; $P = 4 \cdot 10^3$ кг/см². Расчет по (2) дает $v = 20$ м/с, $\Theta_f = 318^\circ\text{C}$; $v = 2 \cdot 10^3$ м/с, $\Theta_f \approx 3200^\circ\text{C}$

Рассмотрим наиболее распространенные схемы сварки взрывом (рис.1):

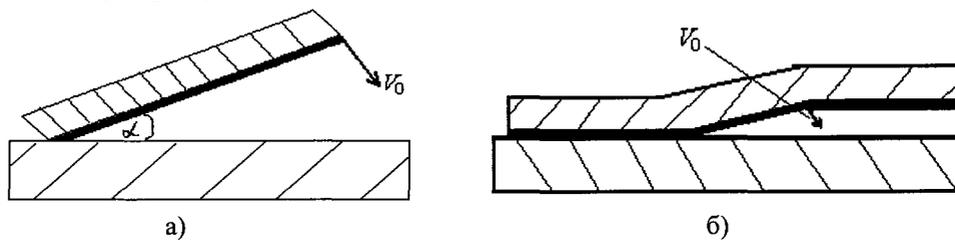


Рис. 1. Схемы сварки взрывом:

а) – косоугольная, с начальным углом α ; б) – параллельная.

Для случая косоугольной схемы одна точка метаемой оболочки неподвижна, а вся длина ее совершает вращательное движение, имея в каждой движущейся точке линейную скорость V_0 , которая приобретает в процессе детонации взрывчатого вещества (ВВ). Скорость v_x можно придать одному из свариваемых элементов, осуществив на торце электрический взрыв проводника или детонацию шнура.

Разобьем образующую метаемого тела на участки Δl_i с массами Δm_i , размещенными в центрах участков. Центробежная сила, действующая на участки метаемого тела:

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta m_i V_D^2}{r_i},$$

где r_i – расстояние от центра.

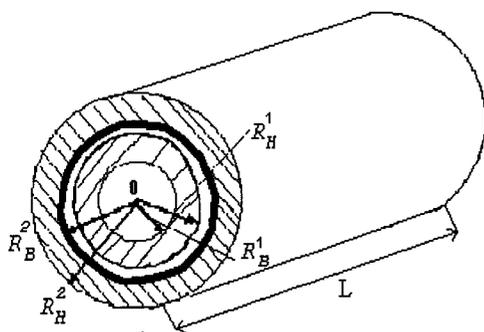


Рис. 2. Схема расположения соударяющихся цилиндрических слоев.

Если для оценки радиальных напряжений всю массу метаемой оболочки сосредоточить в середине оболочки, то нижняя половина будет растягиваться этой массой с силой $F = 14,4 \cdot 10^4$ Н.

По всей длине перед соударением метаемая оболочка в тангенциальном направлении приходит в движение и претерпевает растяжение-сжатие, т.е. в момент начала ударного контактного взаимодействия начальные условия будут:

$$V_r = V_0 \cos \alpha \Rightarrow 1, \quad V_z = V_0 \sin \alpha + V_x,$$

т.е. $V_z = f(t, z, \dot{z})$ в начальный момент расчета контактного взаимодействия. Таким образом, в зоне контакта при сварке взрывом возникает большая сила трения, вызывающая процесс тепловыделения:

$$F_{mp} = \sigma_r f(t, z, \dot{z})$$

Если теперь рассмотреть математическую модель сварки взрывом с уточненными граничными условиями, порожденными центробежной силой, то получим численное решение, дающее значение $f(t, z, \dot{z})$, а значит, и оценку силы трения, и необходимое тепловыделение (в зависимости от заряда ВВ). Значительная часть кинетической энергии метаемой оболочки перейдет в тепло, и если на неподвижном ударяемом элементе зафиксировать тонкий слой припоя, то при определенных условиях можно его расплавить. Для этого составим динамический тепловой баланс:

$$\frac{MV_D^2}{2} = m_1 c (T_\sigma - T_0) + \lambda m_1 T_{пл}, \quad (3)$$

где M – поверхностная масса метаемой оболочки, m_1 – поверхностная масса слоя, толщиной $\delta = 80 \dots 150$ мкм, T_0 – температура метаемой оболочки перед контактным взаимодействием. δ состоит из слоя припоя и двух слоев конструкционного материала, т.е. это толщина конструкционных соударяющихся слоев сильного разогрева.

Рассмотрим систему двух цилиндрических слоев конечной длины (рис. 2).

В цилиндрической системе координат уравнение теплопроводности для внутреннего цилиндра имеет вид [3]

$$\frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{a_r} \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial t^2} = 0, \quad (4)$$

где r, z – цилиндрические координаты, t – время.

Начальное условие: $T(r, z, 0) = T(r, z, t_{ст})$.

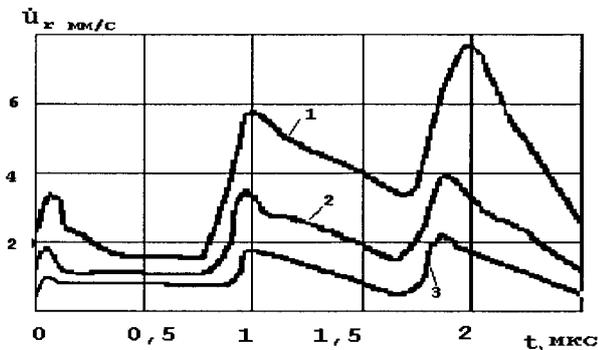


Рис. 3. Влияние максимального давления на фронте ударной волны на скорость разлета внешней стенки цилиндра.

Граничные условия для уравнения (4) берем в виде распределения температуры в конце разгонного участка. Из соотношения (3) определяем скорость разгона при метании за счет ВВ, чтобы кинетической энергии было достаточно для производства сварки-пайки, а из уравнения теплопроводности (4) получим время снижения температуры от $T_{ст}$ до $T_{пл}$.

Температура в зоне контакта оболочки формируется из температуры, выделившейся в результате пластической деформации метаемого тела до соударения, и температуры, выделившейся в тонком слое $\delta = 150$ мкм в результате их столкновения с трением (скольжение вдоль зоны контакта). Температура метаемой оболочки к моменту столкновения (адиабатический нагрев) будет [4]:

$$T(r, t) = T_0 + \frac{f}{c\rho} \int_0^{\delta f} \sigma d\varepsilon,$$

где T_0 – начальная температура цилиндра c – удельная теплоемкость, ρ – плотность, $\sigma(r, t)$ и $\varepsilon(r, t)$ – истинные напряжение и деформация, f – параметр, определяющий часть работы деформации, переходящей в тепловую энергию.

Экспериментальным путем установлено [4] для стали $f = 0.865$, однако часто используются значения $f = 0.9$ или $f = 1$.

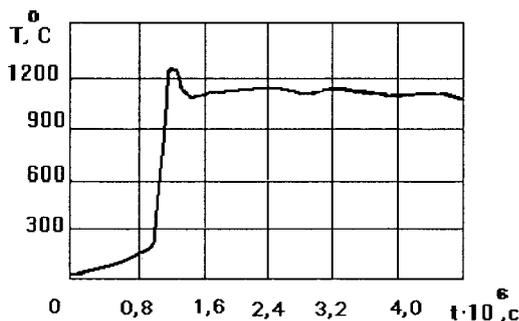


Рис. 4. Температурный скачок.

Расчеты проведены для стального цилиндра длиной $L = 21 \cdot 10^{-2}$ м, наружным и внутренним радиусами $R_H = 4,2 \cdot 10^{-2}$ м, и $R_B = 3,4 \cdot 10^{-2}$ м. Значения параметров материала слоя принимались следующими: модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$; плотность $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³; предел пластичности $\varepsilon^s = 1,43 \cdot 10^{-3}$; параметры учета влияния скорости деформации $\lambda_n = 0,992$; $D = 396$ с⁻¹; $n = 7,14$.

На рис. 3 представлены кривые, отражающие зависимость скорости перемещения точки с координатами $r = 4,15 \cdot 10^{-2}$ м, $z = 10,5 \cdot 10^{-2}$ от времени. Как видно из анализа кривых 1 – 3, скорость радиального перемещения возрастает с увеличением нагрузки. Максимальное давление на

фронте ударной волны соответственно: $P_1 = 1,314 \cdot 10^{10}$ Па, $P_2 = 6,57 \cdot 10^9$ Па, $P_3 = 3,28 \cdot 10^9$ Па. Толщина слоя $h = 0,25 \cdot 10^{-2}$ м.

На рис. 4 для точек наружного радиуса внутреннего цилиндра приведена температура, полученная при расчете адиабатического разогрева при пластическом деформировании до момента контактного взаимодействия ($200 \div 250^\circ\text{C}$) и в процессе соударения цилиндров.

Литература

1. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222с.
2. Крагельский И.В. Виноградова И.Э. Коэффициент трения. М.: Машгиз, 1955. – 188 с.
3. Коваленко А.Д. Термоупругость пластин и оболочек. – Киев: Изд-во Киевского университета. 1971. – 284 с.
4. Харченко В.В. Моделирование процессов высокоскоростного деформирования материалов с учетом вязкопластических эффектов. – Киев: Институт проблем прочности НАН Украины, 1999. – 280с.

УДК 534.232.001. 11:62.

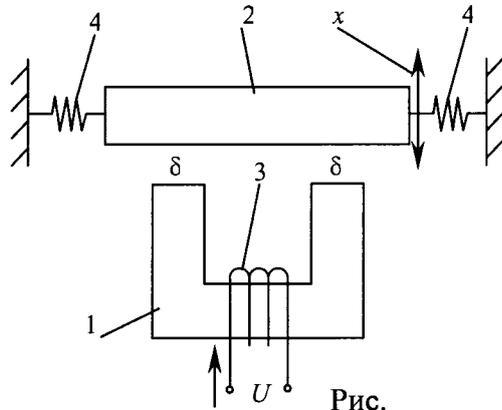
О ПРОЕКТИРОВАНИИ КАЛИБРОВОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ

Божко А.Е., член-корр. НАН Украины, Белых В.И., канд. техн. наук, Мягкохлеб К.Б.

(г. Харьков, Украина)

In the given operation the possibility of a realization of stabilization of vibrational transition in electromagnetic vibration tables is shown through feed-backs, that will allow to apply these stands to calibration of vibrational transformers.

Для определения характеристик вибрационных преобразователей (вибродатчиков) применяется метод их калибровки на вибрационных стендах [1]. К таким стендам относятся электродинамические (ЭДВ) и, на наш взгляд, для низкочастотных датчиков (до 500 Гц) могут относиться электромагнитные вибростенды (ЭМВ).



Электромеханическая схема ЭМВ изображена на рис. 1, где 1 – магнитопровод; 2 – ярмо (платформа); 3 – U, i – электрическая катушка, напряжение, ток соответственно;

δ – воздушные зазоры;

4 – пружины;

x – перемещение ярма.

Уравнения ЭМВ имеют вид [2]

$$\left. \begin{aligned} x(mp^2 + bp + c) &= F \\ p &= \frac{d}{dt} = j\omega; j = \sqrt{-1} \\ F &= \frac{\Phi^2}{\mu_0 S}; iw = \frac{\Phi}{G} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$G = \frac{\mu_0 S}{2(\delta \pm x)}$$

$$U = (Lp + R)i$$

$$L = Gw^2$$

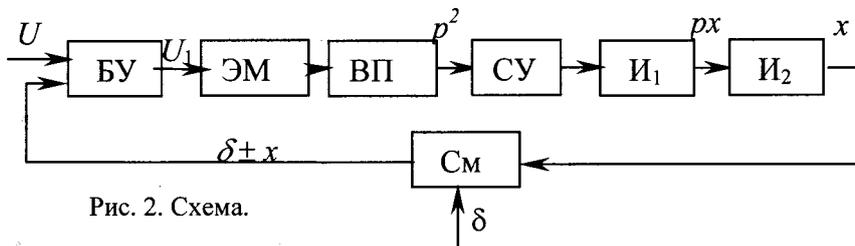


Рис. 2. Схема.

где F – тяговое усилие, ω – круговая частота; m, b, c – масса платформы 2, коэффициенты демпфирования и жесткость соответственно, Φ – магнитный поток в ЭМВ, μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, S – площадь поперечного сечения у полюсов магнитопровода 1, G – магнитная

проводимость в зазорах δ , L, R – индуктивность и активное сопротивление катушки 3, w – число витков катушки

Из уравнений (1) получаем выражение для перемещения x ярма 2 в виде

$$x = \left[\frac{Uw}{2(\delta \pm x)(Lp + R)} \right]^2 \frac{\mu_0 S}{(mp^2 + bp + c)}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что если исключить $(\delta \pm x)$, то при стабильном U будет также стабильным и x , для этого надо в (2) ввести в числитель в квадратных скобках множитель $\delta \pm x$. Данная процедура может быть реализована с помощью схемы, изображенной на рис. 2, где БУ – блок умножения; I_1, I_2 – интеграторы; См – сумматор; δ – сигнал, пропорциональный δ ; ВП – вибропреобразователь (акселерометр); СУ – согласующий усилитель с коэффициентом передачи $k=1$. Для данной схемы $U_1 = U(\delta \pm x)$ и

$$x = \left[\frac{Uw}{2(Lp + R)} \right]^2 \frac{\mu_0 S}{(mp^2 + bp + c)}, \quad (3)$$

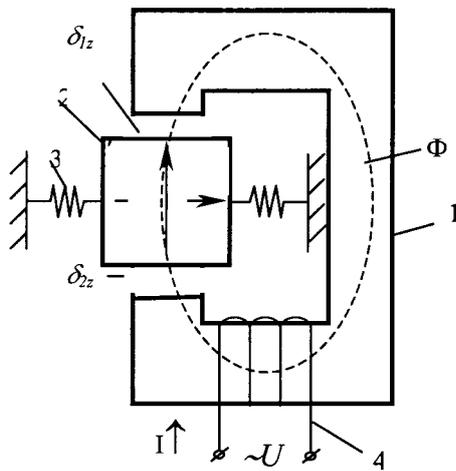


Рис. 3. Конструкция ЭВМ.

напряжения, ток соответственно; z – перемещение якоря.

а это означает, что x – величина перемещения платформы стабильная для каждой частоты. При этом так же подразумевается, что величина напряжения U стабильная.

Таким образом, используя принципы обратных связей, можно осуществлять стабилизацию перемещений платформы ЭВМ и такие вибростенды применять для калибровки вибропреобразователей.

Кроме предложенного схемного решения исключения влияния изменения воздушного зазора на величину формируемых колебаний платформы вибростенда, можно применить конструктивные решения, позволяющие осуществлять работу электромагнитных вибровозбудителей при постоянном воздушном зазоре.

На рис.3 приведена конструкция ЭВМ с постоянным суммарным воздушным зазором.

Здесь: 1 – магнитопровод;

2 – якорь (платформа);

3 – пружины;

U, i – электрическая катушка, напряжение, ток соответственно;

δ – воздушные зазоры; 4 – U, i – электрическая катушка,

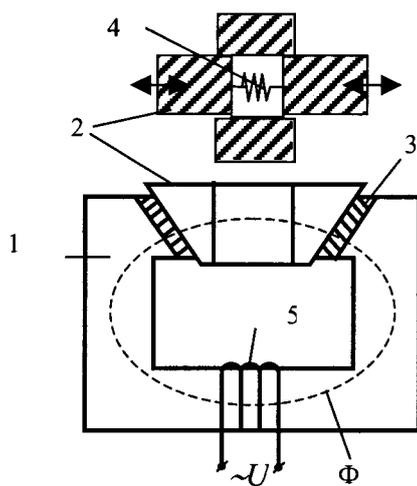


Рис.4

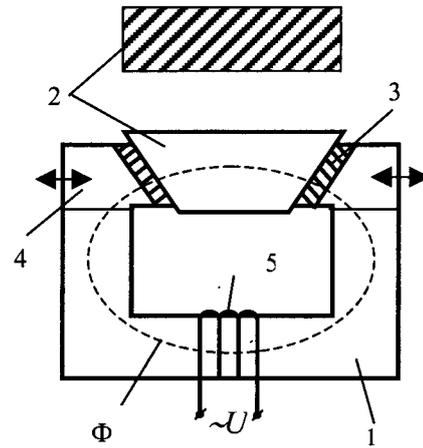


Рис.5

Для данной конструкции величина вынуждающей силы, согласно выражению (1), будет прямопропорциональна потоку Φ и обратно пропорциональна площади воздушного зазора S . В свою очередь, воздушный поток Φ будет равен

$$\Phi = IwG = Iw\mu_0 \frac{S_{min}}{2(\delta_{1z} + \delta_{2z})}. \quad (4)$$

Как видно из выражения (4), воздушный поток Φ не зависит напрямую от перемещения якоря, а будет связан с перемещением z через минимальную площадь воздушного зазора $S_{min} = \left(a + \frac{\delta_{1z} + \delta_{2z}}{2} - z\right)^2$ (где a^2 – площадь поперечного сечения магнитопровода). Поскольку величина a существенно больше z , то влияние z будет незначительно.

Предложенные на рис.4 и 5 конструкции ЭВМ позволяют исключить и изменение площади воздушного зазора за счет использования переменной длины магнитопровода.

На рис .4 приведен ЭВМ с изменяющейся длиной якоря. Здесь:

1 – магнитопровод; 2 – якорь (платформа); 3 – подшипник; 4 – упругий элемент в сложном якоре; 5 – U, i – электрическая катушка, напряжение, ток соответственно;

На рис 5 приведена конструкция ЭВМ с изменяющейся длиной статора магнитопровода.

Здесь: 1 – магнитопровод; 2 – якорь (платформа); 3 – подшипник; 4 – подвижная часть статора магнитопровода (упругие элементы не показаны); 5 – U, i – электрическая катушка, напряжение, ток соответственно.

Недостатком этих конструкций является наличие существенного трения (скольжения или качения, в зависимости от выбора подшипника), однако для калибровочных вибростендов и в задачах активной виброзащиты они могут найти широкое применение.

С целью недопущения большого зазора между якорем (рис.4 и 5) и магнитопроводом подшипники скольжения 3 должны иметь особую миниатюрную конструкцию, например, тонкие немагнитные пластины со смазкой, или просто гидростатическое пространство. Вопрос герметизации зазоров является нетривиальным, но решаемым. Также здесь актуальным является выбор смазочного материала с малой адгезией. Примеры разработок стендов с гидростатическими подшипниками имеется в ИПМаш НАН Украины в работах по пространственным электродинамическим вибростендам [3].

Суммируя вышесказанное можно сделать следующие выводы:

- широкое разнообразие конструктивных исполнений электромагнитных вибровозбудителей позволяют выбрать соответствующую задачам калибровки конструкцию ЭМВ;
- возможность применения для корректировки характеристик ЭМВ обратных связей делает выгодным их использование для калибровки низкочастотных датчиков (до 500 Гц).

Литература

1. А.Е. Божко. Оптимальное управление в системах воспроизведения вибраций. – Киев: Наук. думка, 1977. – 217с.
2. Клименко Б.В. Форсированные электромагнитные системы. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160с.
3. Патент України на винахід №5898. Двокоординатний вібростенд / Божко О.Є., Шпачук В.П., Пучков Є.Ю. Опубл. в бюл.№8-1, 1994р.

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОБСТВЕННЫХ ГИДРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ГЭС

Кантор Б.Я., докт. техн. наук, Ржевская И.Е., канд. техн. наук,
Стрельникова Е.А., канд. физ.-мат. наук
(г.Харьков, Украина)

The method of computing the frequencies and mode shapes of free vibrations of the centrifugal turbines impellers is developed. The construction mode shapes in fluid were represented as series of mode shapes in vacuum. To solve the fluid-elastic problem under consideration the singular integral equation method and finite element method are in use. The numerical analysis is accomplished.

При проектировании рабочих колес гидротурбин одной из актуальных задач является исследование частот и форм их собственных колебаний в жидкости. Подобные исследования проводятся для предотвращения явления резонанса. Исследованию свободных колебаний пластин и оболочек, взаимодействующих с жидкостью, посвящено большое число публикаций [1-5]. В этих работах изучаются колебания отдельных элементов гидротурбины, при этом делаются упрощающие предположения. Так, в [1-3] применяется гипотеза о совпадении форм собственных колебаний в вакууме и жидкости, в [4,5] с помощью гипотезы цилиндрических сечений пространственная задача обтекания сводится к двумерной. В литературе отсутствует решение задачи о собственных гидроупругих колебаниях конструкции гидротурбины в трехмерной постановке.

Уравнение свободных колебаний конструкции, некоторые (или все) поверхности которой контактируют с жидкостью, запишем в матричной форме

$$[K - \omega^2(M_e + M_f)]W = 0, \quad (1)$$

где K , M_e , M_f , матрицы жесткости, масс конструкции и присоединенных масс жидкости, ω – собственная частота, W – матрица, столбцы которой есть собственные векторы. Применительно к методу конечных элементов компоненты векторов W есть амплитудные перемещения узлов конечно-элементной сетки конструкции.

Для определения элементов матрицы M_f необходимо вычислить давление, действующее на контактирующие с жидкостью поверхности конструкции. Будем предполагать, что жидкость идеальная, несжимаемая, движение жидкости считаем безвихревым. Предположим, что скорость жидкости может быть представлена в виде

$$\vec{v}(x, y, z, t) = \vec{v}_0(x, y, z) + \text{grad} \Phi(x, y, z, t) \quad (2)$$

где $\vec{v}_0(x, y, z)$ – вектор скорости невозмущенного потока жидкости, $\Phi(x, y, z, t)$ – потенциал скоростей, индуцированных свободными колебаниями конструкции. Для определения давления жидкости на смоченные поверхности конструкции служит интеграл Коши-Лагранжа [6]

$$p_0(x, y, z) + p(x, y, z, t) = -\rho_f \left[\frac{\partial \Phi(x, y, z, t)}{\partial t} + \frac{|\vec{v}|^2}{2} \right] \quad (3)$$

где ρ_f – плотность жидкости. Подставив (2) в (3), и сохраняя лишь члены первого порядка малости, получим

$$p = -\rho_l \left[\frac{\partial \Phi(x, y, z, t)}{\partial t} + (\text{grad } \Phi(x, y, z, t) \cdot \vec{v}) \right], \quad (4)$$

где точка означает скалярное произведение. В работе [4] указано, что скорость набегающего потока до 30 м/сек не существенно влияет на частоты собственных колебаний конструкции в воде, поэтому вторым слагаемым в формуле (4) пренебрегаем; отсюда

$$p = -\rho_l \frac{\partial \Phi(x, y, z, t)}{\partial t}. \quad (5)$$

Таким образом, для нахождения давления со стороны жидкости на поверхности конструкции необходимо определить функцию $\Phi(x, y, z, t)$, решая уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0$$

при следующих граничных условиях

$$(\text{grad } \Phi \cdot \vec{n})_{S_1} = \frac{\partial w}{\partial t}; \quad (\text{grad } \Phi \cdot \vec{n})_{S_2} = 0,$$

где S_1 —совокупность смоченных упругих поверхностей конструкции, S_2 —совокупность смоченных жестких поверхностей конструкции, \vec{n} —внешняя нормаль к поверхности.

Согласно [7] будем искать $\Phi(x, y, z, t)$ в виде потенциала простого слоя по поверхности S , ограничивающей рассматриваемый объем жидкости ($S = S_1 \cup S_2$)

$$\Phi(X_0) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \gamma(X) \frac{1}{r(X - X_0)} dS(X). \quad (6)$$

Здесь X_0 —точка наблюдения, X —текущая точка на поверхности, $r = r(X, X_0)$ —декартово расстояние от точки X_0 до точки X , $\gamma(X)$ —неизвестная плотность.

Следуя [8], приходим к сингулярному интегральному уравнению относительно $\gamma(X)$.

$$\gamma(X_0) + \frac{1}{4\pi} \iint_S \gamma(X) L(X, X_0) dS(X) = \frac{\partial w(X_0)}{\partial t} \quad (7)$$

Здесь w —нормальное к смоченной поверхности перемещение, ядро интегрального уравнения определяется по формуле

$$L(X, X_0) = \frac{(\vec{n}(X_0) \cdot \vec{e}_r)}{r^3},$$

где \vec{e}_r —орт вектора \vec{r} , направленного из точки X_0 в точку X . Правая часть уравнения (7) представляет собой скорость перемещения деформируемых стенок (поверхностей конструкции); неподвижным стенкам отвечает нулевая правая часть. Решив уравнение (7) и вычислив $\Phi(x, y, z, t)$ по формуле (6), определим давление жидкости на стенки конструкции, используя (5).

Собственные частоты гидроупругих колебаний конструкций находим из уравнения (1). Умножая его слева на матрицу W^T , в силу ортонормированности собственных форм колебаний в вакууме W по матрице масс конструкции, получим

$$a^T [\lambda - \omega^2 (E + M_l)] a = 0,$$

где λ —диагональная матрица, компоненты которой есть квадраты частот колебаний конструкции в вакууме, E —диагональная единичная матрица. Собственные частоты ω гидроупругих колебаний находим методом Якоби, решая задачу на собственные значения

$$|D - \mu E| = 0,$$

где компоненты матрицы D есть

$$d_{ik} = (\delta_{ik} + M_{ik}) / \sqrt{\omega_i \omega_k},$$

причем $\mu = \lambda^{-1}$. Вычисленные при этом собственные векторы a_ν ($\nu = 1, 2, \dots, n_l$) есть коэффициенты при собственных формах свободных колебаний конструкции в вакууме. С их использованием получаем векторы узловых значений собственных гидроупругих колебаний конструкции

$$W = Ua$$

по известным собственным векторам U ее колебаний в вакууме.

Таблица 1.

Значения частот колебаний РК в воздухе и воде.

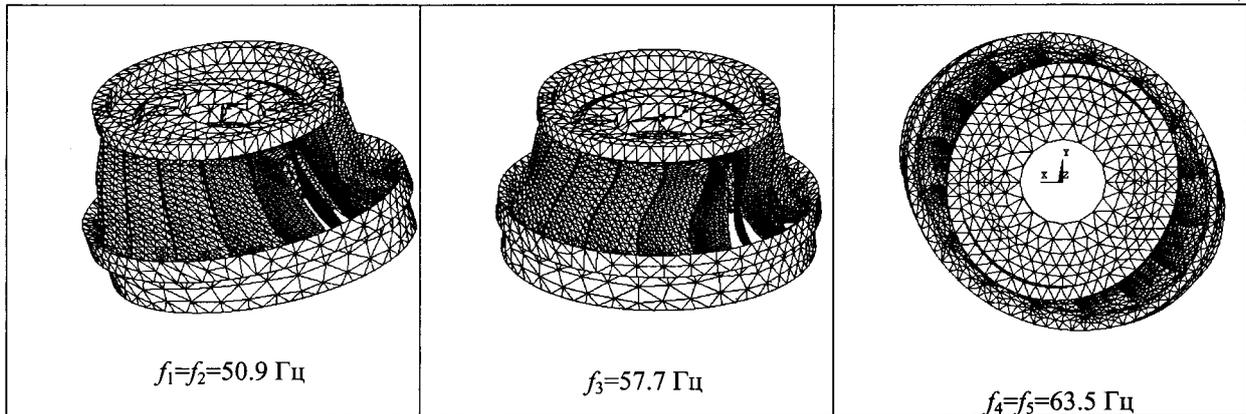
	1	2	3	4	5	6	7
Частоты в вакууме, Гц	50.9	50.9	57.7	63.5	63.6	112.8	112.9
Частоты в воде, Гц	43.4	43.6	48.5	49.7	52.6	72.5	76.0

Выполнены исследования частотных характеристик рабочего колеса ГЭС Ларджи. Диаметр колеса $D_1=3.45$ м, количество лопастей 16. Использовались КЭ в виде тетраэдра с промежуточными узлами.

В табл.1 приведены значения частот колебаний для рабочего колеса в вакууме и воде.

В таблице 2 показаны формы колебаний рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины для первых пяти собственных частот.

Таблица 2



Полученные собственные частоты гидроупругих колебаний гэс ларджи позволили на стадии проектирования выполнять отстройку от основных частот динамической нагрузки.

Литература

1. Гонткевич В.С. Собственные колебания оболочек в жидкости.-Киев: Наук. думка,1964.-102 с.
2. Шейнин Н.С. Колебания конструкций гидросооружений в жидкости.-Л.: Энергия, 1966.-367с.
3. Шульман С.Г. Собственные колебания прямоугольной пластины в жидкости.- Л.: Энергия,1968.-248с.
4. Горелов Д.Н., Гусева Л.А. Колебания лопастей осевых гидротурбин в потоке жидкости//Аэроупругость турбомашин: Матер.6-го Всесоюз. совещ., Киев, 1977.- Киев, 1980.-С. 81-89.
5. Ткачева Л.А. Расчет колебаний лопастей осевых гидротурбин в потоке//Аэроупругость лопаток турбомашин.-1985.-Вып.3.-С. 308-310.
6. Ламб Г. Гидродинамика.- Москва - Ленинград: ОГИЗ.-1947.-928с.
7. Гюнтер Н.М. Теория потенциала и ее применение к основным задачам математической физики. М.:Гостехтеориздат,1953, 416с.
8. Науменко В.В., Стрельникова Е.А. Потенциал двойного слоя в задаче о свободных колебаниях полой оболочки в идеальной несжимаемой жидкости//Исследования по теории пластин и оболочек. Казань, изд-во Казанского университета.-1990.-С.123-133.

УДК 539.4

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДЕФЕКТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Милешкин М.Б., канд. техн. наук, Библик И.В.

(г. Харьков, Украина)

The influence of the basic kinds of defects on acoustic emission, strength and fracture mechanism of cylindrical shells from polymeric composites is investigated by special calculate-experimental method. The expediency of using the computer analysis of acoustic emission information with the purpose of technology improvement of the manufacture of wares from polymeric composites is established.

Ранее проведенные исследования [1] показали, что при нагружении внутренним давлением стекло- и органических цилиндрических оболочек с днами характерным является наличие пика на кривой зависимости активности акустической эмиссии (АЭ) от давления в оболочке (как при ступенчатом, так и при непрерывном нагружении). Однако дальнейший ход кривой (до разрушения оболочки) может существенно отличаться. Возможны три варианта (рис. 1): разрушение на спаде после максимума (кривая 1), разрушение после незначительного подъема (кривая 2) и разрушение после достаточно длительного подъема после максимума (кривая 3). При этом прочность оболочек также существенно отличается.

В задачу настоящей работы входило исследование влияния различных возможных видов дефектов на прочность цилиндрических оболочек из полимерных композитов с помощью разработанного ранее специального расчетно-экспериментального метода (РЭМ) [2].

Вначале исследовалось влияние числа "дефектных" волокон и поверхностей раздела на прочность однонаправленных образцов при одноосном нагружении. Результаты представлены на рис. 2.

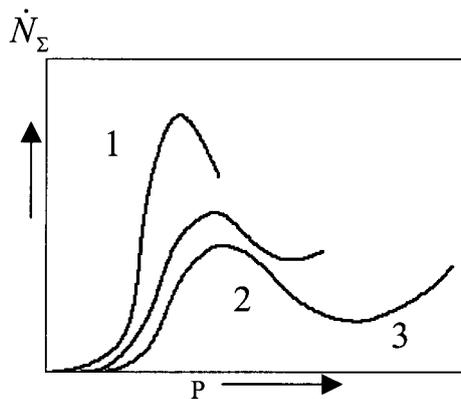


Рис. 1. Изменение активности АЭ при ступенчатом нагружении оболочек.

Оказалось, что при полностью "разрушенных" поверхностях раздела (несвязанный пучок волокон) прочность образца падает приблизительно в 3 раза по сравнению с "бездефектным", а при 60 % "разрушенных" волокон — практически до нуля.

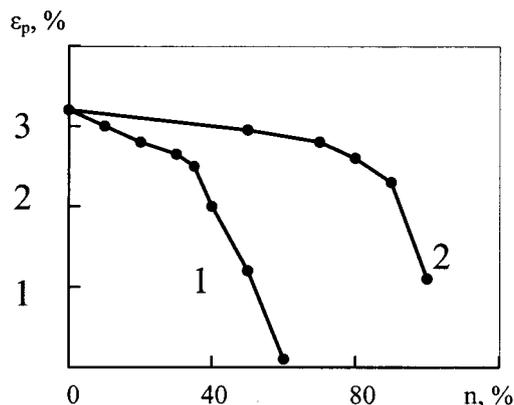


Рис. 2. Зависимость деформации разрушения (ϵ_p) однонаправленного композита от доли "разрушенных" элементов (n) волокон (1) и поверхностей раздела (2).

На рис. 3 представлен характер разрушения для однонаправленных образцов с одинаковой прочностью ($\epsilon_p = 2,5\%$), но различной "дефектностью". Видно, что характер разрушения, представленный на рис. 3,а и соответствующий 35 % "разрушенных" волокон, существенно отличается от представленного на рис. 3,б (82 % "разрушенных" поверхностей раздела).

Перейдем к рассмотрению результатов применения РЭМ для оболочек из полимерных композитов. Исследование проводилось для цилиндрических оболочек, состоящих из 12 слоев (шесть кольцевых и шести спиральных, угол намотки составлял 70°). На рис. 4 представлены зависимости, аналогичные приведенным на рис. 1, но полученные с помощью РЭМ. При этом рассматривались следующие случаи: различное распределение предельных деформаций для матрицы (максимум нормального распределения 0,6 % — кривая 1 и 0,9 % — кривая 2), отклонение от угла намотки спиральных слоев оболочки (кривая 3), увеличение "неэффективной" длины волокон (кривая 4), отсутствие связи на поверхностях раздела во всех слоях оболочки (кривая 5).

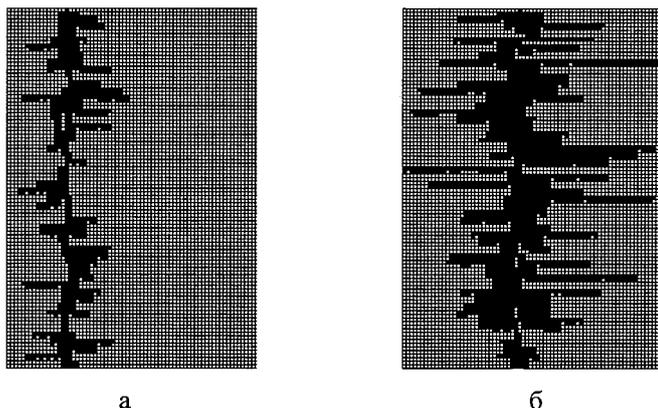


Рис. 3. Характер разрушения образцов с различной "дефектностью".

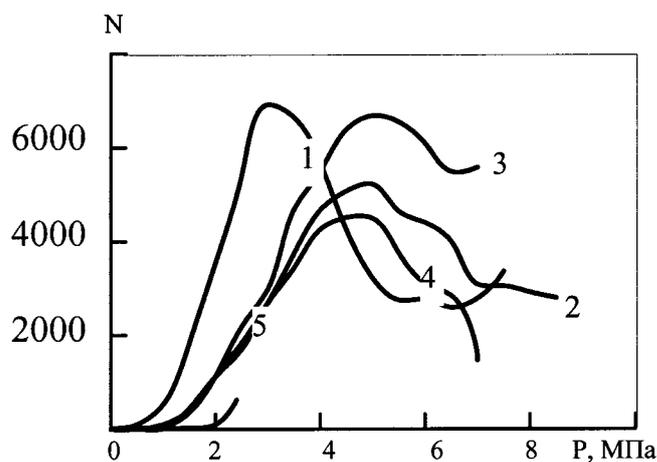


Рис. 4. Зависимость числа разрушенных элементов (N) от давления в оболочке.

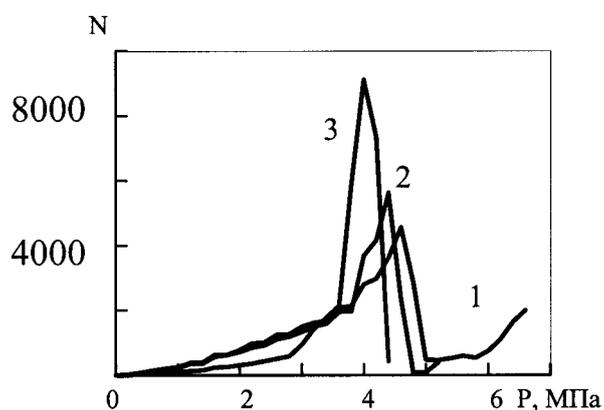


Рис. 5. Зависимость числа разрушенных структурных элементов (N) от давления в оболочке:

- 1 – бездефектная оболочка;
- 2 – в кольцевых слоях оболочки "разрушено" 50 % волокон;
- 3 – в спиральных слоях оболочки "разрушено" 50 % волокон.

Влияние числа "разрушенных" волокон отдельно в кольцевых и в спиральных слоях оболочки показано на рис. 5.

Анализ результатов применения РЭМ показывает, что наблюдаемые при натуральных испытаниях низкие значения прочности оболочек не могут быть объяснены только изменением деформативности матрицы и прочности поверхностей раздела.

Очевидно, что в ряде случаев имеет место и "предварительное" повреждение волокон. Поэтому с целью отработки технологии производства изделий из полимерных композитов целесообразно использовать вышеприведенный компьютерный анализ акустико-эмиссионной информации.

Литература

1. Исследование особенностей разрушения стекло- и органопластиковых цилиндрических оболочек с днищами // И.С. Гузь, М.Б. Милешкин, Е.И. Музыка, С.В. Жученко, Е.В. Каневская, И.В. Библик // Механика композитных материалов.- 1981.- № 4.- С. 631-636.
2. Mileshkin M.B., Biblik I.V. Diagnostics for strength of fibre-epoxy composite material wares using computer modeling of fracture processes // Proceedings 2nd Jnt. Conf. «Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics», Minsk, 1998. - P. 123 – 129.

УДК 539.4

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ

Милешкин М.Б., канд. техн. наук, Библик И.В.

(г. Харьков, Украина)

Results of application of a streamlined calculate-experimental method for an estimation of strength reliability of the different construction materials (composites with metal and polymeric matrix, beryllium with a small content of beryllium oxide and pipe steel) are presented. This estimation can be carried out both at constructing materials, and at their maintenance with different types of damages.

Обычно при проектировании изделий из каких-либо материалов выделяют четыре основных момента: разработку материалов, их оценку, проектирование изделия и прогнозирование его разрушения. В ряде случаев эта схема должна быть дополнена различными видами испытаний материалов, а затем и изделий (контрольно-технологическими, приемо-сдаточными, регламентными в процессе эксплуатации и др.). Основная задача этих испытаний – оценка реального уровня прочностной надежности и ресурса.

Очевидно, что необходимо стремиться к рассмотрению прочностных аспектов поведения материала на всех стадиях его жизненного цикла в рамках единой методологии. Трудности создания единой методологии связаны с несколькими причинами – многообразием материалов, многообразием механизмов деформации и разрушения и такими особенностями реальных материалов, как рассеяние свойств, наличие различных технологических и эксплуатационных дефектов, изменение свойств материала в процессе эксплуатации и др. [1].

Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является применение специального расчетно-экспериментального метода (рэм) [2]. Этот метод реализуется в рамках традиционной модели прочностной надежности, но реализация модели существенно отличается от традиционных подходов и по сути представляет собой имитационное компьютерное моделирование.

Рассмотрим примеры применения этого метода для некоторых классов конструкционных материалов.

1. Оценку прочности при конструировании материала рассмотрим на примере композиции алюминий – бор и технического бериллия с небольшим количеством примеси окиси бериллия, которая располагалась на границах приблизительно 25 % зерен.

Для композиции Al-B размер массива составлял 300x300 элементов. Значения характеристик составляли:

- для бора: модуль упругости - 400 ГПа, диаметр волокна - 100 мкм, объемная доля волокон 50 %, распределение предельных деформаций по нормальному закону с максимумом при 0,9 % деформации;
- для алюминия: модуль упругости 70 ГПа, модуль нормальной пластичности 1,4 ГПа, распределение предельных деформаций по нормальному закону с максимумом при 20 % деформации.

Нагружение – одноосное растяжение. Шаг по деформации в направлении армирования 0,05 %. Диаграмма деформации, хорошо согласующаяся со справочными данными, приведена на рис. 2,а.

Результаты, полученные для системы Be - BeO, приведены на рис. 2,б. При расчетах также использовался массив структурных элементов 300x300, шаг "нагружения" - 0,05 %. Значения характеристик составляли:

- для бериллия: модуль упругости – 300 ГПа, размер зерна – 20 мкм, распределение предельных деформаций - по нормальному закону с максимумом при 1,8 % деформации;
- для окиси бериллия: модуль упругости – 270 ГПа, размер прослоек по границам зерен – 2 мкм, при этом прослойки располагались как параллельно, так и перпендикулярно направлению приложения "нагрузки". Распределение предельных деформаций - по нормальному закону с максимумом при 0,7 % деформации.

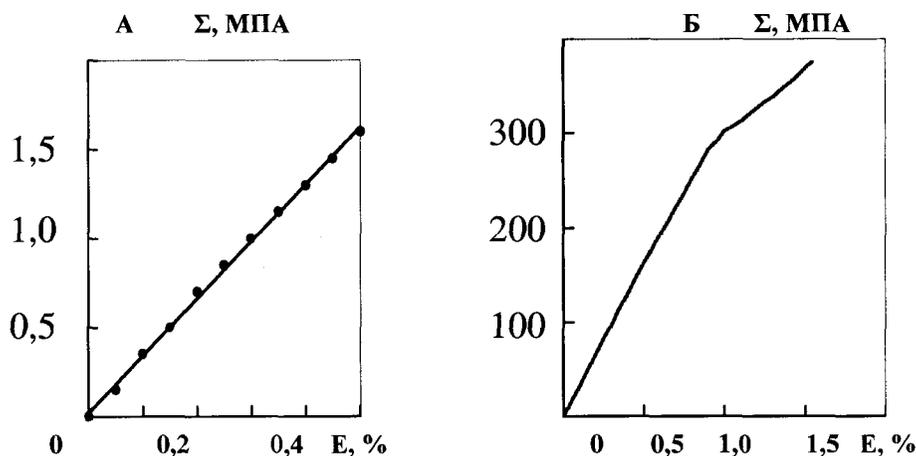


Рис. 2. Диаграммы деформации для систем al-b (а) и be-beo (б).

2. проектирование изделия и анализ путей повышения его прочности рассмотрены на примере стеклопластиковых цилиндрических оболочек с днищами. Оболочки, состоящие из 12 слоев (6 кольцевых и 6 спиральных), нагружались внутренним давлением. Регистрация процесса разрушения при натурных испытаниях осуществлялась методом акустической эмиссии (аэ). После отработки методики моделирования проводилось проектирование новых оболочек на основе результатов испытания образцов-свидетелей также с использованием метода аэ. результаты проектирования показали, что рэм может быть использован также и для исследования влияния исходных свойств компонентов на прочность. Например, увеличение деформативности матрицы (до 4 %) приводит к исчезновению раннего разрушения между волокнами и увеличению прочности (рис. 3).

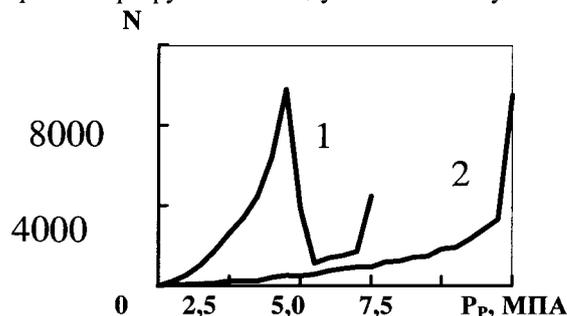


Рис. 3. Изменение числа разрушенных структурных элементов (n) При "нагрузении" оболочек с различной деформативностью Матрицы (кривая 1 – 1 %, кривая 2 – 4 %).

3. Оценка прочностной надежности материала с эксплуатационными дефектами. Материал – трубная сталь. Типы повреждений – коррозия, трещины, "старение" (уменьшение деформации разрушения материала). Модель материала - при толщине трубы 10 мм и размере зерна стали 0,1 мм создавалась модель из 100 слоев. Распределение предельных деформаций по нормальному закону с максимумом при 30 % деформации. Шаг нагружения 1 %, подход к перераспределению напряжений – силовой.

Основным моментом в силовом подходе является выбор коэффициентов концентрации деформаций для различных видов повреждений. Исследования показали [3], что наилучшие результаты дает применение для учета концентрации деформаций ($\varepsilon_{дон}$) зависимости следующего вида

$$\varepsilon_{дон} = \Delta \varepsilon K 1,8 \sqrt{\pi l_{отн}}$$

где $\Delta \varepsilon$ - изменение деформации в структурном элементе, приходящееся на один шаг нагружения;

$l_{отн}$ – относительная длина дефекта; K – коэффициент, зависящий от вида повреждений.

На рис. 4 приведено изменение несущей способности элемента трубопровода при утонении для различных значений K .

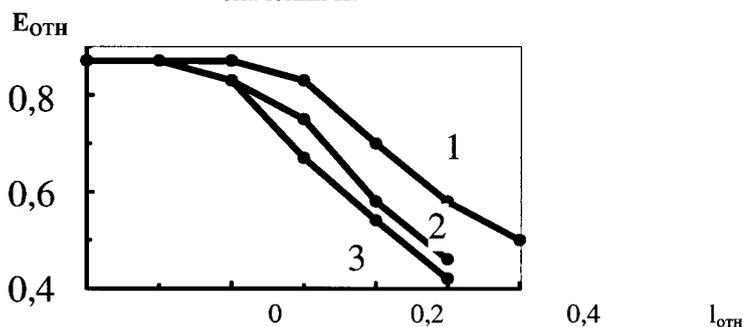


Рис. 4. Изменение несущей способности элемента трубопровода при утонении: 1 – $K = 0,1$; 2 – $K = 0,5$; 3 – $K = 1,0$.

Литература

1. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справочное пособие / В.Т. Трощенко, А.Я. Красовский, В.В. Покровский, Л.А. Сосновский, В.А. Стрижало: В двух частях. - Часть II. - Киев: Наукова думка, 1994.- 702 с.
2. Mileshekin M.B., Biblik I.V. Diagnostics for strength of fibre-epoxy composite material wares using computer modeling of fracture processes // Proceedings 2nd Int. Conf. «Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics», Minsk, 1998.-P.123 – 129.
3. Милешкин М.Б., Библик И.В. Комплексная оценка влияния различных видов повреждений материала на несущую способность элементов конструкций // Сборник научных трудов "Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования".- Харьков, ИПМаш НАНУ.- 2000.- С. 369-374.

УДК 539.3

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ НЕЗАМКНУТОГО СФЕРИЧЕСКОГО СЛОЯ

Янютин Е.Г., докт. техн. наук, Мымка Т.В.

(г. Харьков, Украина)

The research is intense-is deformed a condition of the nonclosed spherical stratum in conditions impulse loading of an boundary surface will be carried out. The expansions on angular coordinate as series on affixed spheroidal harmonics, passage in space of the images are used. The numerical outcomes of research SLAE are obtained.

Рассматривается волновая задача для упругого деформирования незамкнутого сферического слоя с углом полураствора θ_0 , находящегося под внешним нагружением. Поверхность $\theta = \theta_0$ закреплена таким образом, что на ней касательное перемещение и касательное напряжение обращается в нуль.

Движение любой точки деформируемого твердого тела описывается основными уравнениями теории упругости в сферической системе координат (далее с.с.к.) (r, φ, θ) [1]:

$$\frac{\lambda + 2\mu}{r} \frac{\partial \Delta}{\partial \theta} + \frac{2\mu}{r} \frac{\partial (r\omega_\varphi)}{\partial r} = \rho \frac{\partial^2 U_\theta}{\partial t^2}, \quad (\lambda + 2\mu) \frac{\partial \Delta}{\partial r} - 2\mu \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial (\omega_\varphi \sin \theta)}{\partial \theta} = \rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} \quad (1)$$

с учетом симметрии деформирования по углу φ , равенства нулю U_φ и отсутствия зависимости от полярного угла φ всех функций, описывающих движение.

Здесь проекция вектора вращения ω_φ и объемное расширение Δ выражаются через перемещения по формулам:

$$\omega_\varphi = \frac{1}{2r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (rU_\theta) - \frac{\partial U_r}{\partial \theta} \right], \quad \Delta = \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r^2 U_r \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} (rU_\theta \sin \theta) \right] \quad (2)$$

Уравнения системы (1) равносильны системе волновых уравнений:

$$\nabla^2 \Delta = \frac{1}{a_l^2} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2}, \quad \left(\nabla^2 - \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \right) \omega_\varphi = \frac{1}{a_\tau^2} \frac{\partial^2 \omega_\varphi}{\partial t^2} \quad (3)$$

где a_l, a_τ - скорости распространения соответственно продольных и поперечных волн в упругой среде.

Система в начальный момент времени неподвижна, т.е. перемещение и скорость нулевые:

$$\bar{U}(r, \theta, \varphi, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial \bar{U}}{\partial t}(r, \theta, \varphi, t) \Big|_{t=0} = 0 \quad (4)$$

В общем виде на границе задаются перемещения:

$$U_r(R_{1,2}, \theta, t) = f_{1,2}(\theta, t), \quad U_\theta(R_{1,2}, \theta, t) = f_{3,4}(\theta, t) \quad (5)$$

К условиям (5) добавляются условия ограниченности перемещений и деформаций в сечении:

$$U_\theta(r, \theta_0, t) = 0, \quad \sigma_{r\theta}(r, \theta_0, t) = 0. \quad (6)$$

Решение задачи (1)-(6) строится в виде разложений неизвестных функций в ряды по присоединённым функциям Лежандра 1 рода [1]:

$$\Delta = \Delta(r, \theta, t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n(r, t) P_n(\cos \theta), \quad \omega_\varphi = \omega_\varphi(r, \theta, t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n(r, t) P_n^1(\cos \theta) \quad (7)$$

Перемещения точек среды в случае осесимметричного деформирования в общем виде могут быть выражены аналогичным разложениями:

$$U_r = \sum_{n=0}^{\infty} \Psi_n(r, t) P_n(\cos \theta), \quad U_\theta = \sum_{n=1}^{\infty} \Theta_n(r, t) P_n^1(\cos \theta) \quad (8)$$

Зависимость между коэффициентами разложений функций U_r, U_θ и Δ, ω_φ , т.е. между A_n, B_n и Θ_n, Ψ_n в следующей форме:

$$a_l^2 A_n + 2a_\tau^2 \frac{\partial (rB_n)}{\partial r} = r \frac{\partial^2 \Theta_n}{\partial t^2}, \quad a_l^2 \frac{\partial A_n}{\partial r} + \frac{2a_\tau^2}{r} n(n+1) B_n = \frac{\partial^2 \Psi_n}{\partial t^2} \quad (9)$$

Для решения системы (9) используется интегральное преобразование Лапласа по времени применительно ко всем функциям, имеющим временную зависимость, и на его основе переход в пространство изображений.

Имеем следующую систему уравнений в изображениях:

$$\frac{\partial^2 A_n^L}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial A_n^L}{\partial r} - \left(\frac{n(n+1)}{r^2} + \frac{s^2}{a_l^2} \right) A_n^L = 0, \quad \frac{\partial^2 B_n^L}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial B_n^L}{\partial r} - \left(\frac{n(n+1)}{r^2} + \frac{s^2}{a_\tau^2} \right) B_n^L = 0 \quad (10)$$

где s -параметр преобразования. Каждое из уравнений (10) представляет собой модифицированное уравнение Бесселя.

Получена связь между функциями A_n^L, B_n^L и Θ_n^L, Ψ_n^L :

$$\begin{aligned} \Theta_n^L(r, s) &= \frac{1}{rs^2} \left[\frac{a_l^2}{\sqrt{r}} \left(M_1^{nL}(s) \mathcal{I}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_l} \right) + M_2^{nL}(s) \mathcal{K}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_l} \right) \right) + \right. \\ &+ \left. 2a_\tau^2 \frac{\partial}{\partial r} \left(\sqrt{r} N_1^{nL}(s) \mathcal{I}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_\tau} \right) + \sqrt{r} N_2^{nL}(s) \mathcal{K}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_\tau} \right) \right) \right] \\ \Psi_n^L(r, s) &= \frac{1}{s^2} \left[a_l^2 \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\sqrt{r}} M_1^{nL}(s) \mathcal{I}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_l} \right) + \frac{1}{\sqrt{r}} M_2^{nL}(s) \mathcal{K}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_l} \right) \right) + \right. \\ &+ \left. \frac{2a_\tau^2}{r} n(n+1) \left(\frac{1}{\sqrt{r}} N_1^{nL}(s) \mathcal{I}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_\tau} \right) + \frac{1}{\sqrt{r}} N_2^{nL}(s) \mathcal{K}_{n+1/2} \left(\frac{sr}{a_\tau} \right) \right) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

и введены обозначения $\omega_1(r) = \frac{R_2 - r}{a_l}, \omega_2(r) = \frac{r - R_1}{a_l}, \omega_3(r) = \frac{R_2 - r}{a_\tau}, \omega_4(r) = \frac{r - R_1}{a_\tau}$.

Используя известные правила операционного исчисления с помощью обратного преобразования Лапласа [3], осуществляется переход в пространство оригиналов. В оригиналах имеем выражения для коэффициентов разложений перемещений:

$$\begin{aligned} \Psi_n(r, t) &= \sum_{i=1}^4 H(t - \omega_i(r)) \int_0^{t - \omega_i(r)} V_i^n(\tau) L_i^n(r, t - \omega_i(r) - \tau) d\tau, \\ \Theta_n(r, t) &= \sum_{i=1}^4 H(t - \omega_i(r)) \int_0^{t - \omega_i(r)} V_i^n(\tau) Q_i^n(r, t - \omega_i(r) - \tau) d\tau \end{aligned}$$

Здесь не приведены выражения для подынтегральных функций $L_i^n(r, t), Q_i^n(r, t)$ из-за громоздкости. Удовлетворяя граничными условиями на сферических поверхностях для перемещений и учитывая ортогональность присоединенных функций Лежандра $P_n(\cos\theta), P_n^1(\cos\theta)$ на отрезке $[\cos\theta_0, 1]$, имеем систему четырех интегральных уравнений:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^4 H(t - \omega_i(R_{1,2})) \int_0^{t - \omega_i(R_{1,2})} V_i^n(\tau) L_i^n(R_{1,2}, t - \omega_i(R_{1,2}) - \tau) d\tau &= f_{1,2}^n(t), \\ \sum_{i=1}^4 H(t - \omega_i(R_{1,2})) \int_0^{t - \omega_i(R_{1,2})} V_i^n(\tau) Q_i^n(R_{1,2}, t - \omega_i(R_{1,2}) - \tau) d\tau &= f_{3,4}^n(t). \end{aligned} \quad (12)$$

Граничное условие (6) для окружных перемещений в сечении $\theta = \theta_0$ эквивалентно $U_{\theta_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(r, t) P_n^1(\cos\theta_0) = 0$. Определение индексов разложения ($n \in \square$), обращающих $P_n^1(\cos\theta_0)$ в нуль, основывается на асимптотическом методе [4], рассматривающем асимптотическое выражение для гипергеометрического ряда Ватсона:

$$\begin{aligned} P_n^m(\cos\theta) &= \frac{\Pi(n)}{\Pi(n-m)} \left(\frac{2}{n\pi \sin\theta} \right)^{1/2} \cdot \left[\cos \left\{ \left(n + \frac{1}{2} \right) \theta + \frac{m\pi}{2} - \frac{\pi}{4} \right\} \cdot \left\{ 1 + \frac{m^2 - 1/2}{2n} + \frac{3C_2}{(2n)^2} + \dots \right\} + \right. \\ &+ \left. \sin \left\{ \left(n + \frac{1}{2} \right) \theta + \frac{m\pi}{2} - \frac{\pi}{4} \right\} \cdot \left\{ -\frac{m^2 - 1/4}{(2n)} C_{1g\theta} - \frac{3C_2'}{(2n)^2} - \dots \right\} \right], \end{aligned}$$

С помощью разложения в ряды Лагранжа получена асимптотическая формула для отыскания n . В нашем случае для $m = 1$ имеем соответствующее разложение для n :

$$n = \xi + \frac{1}{\theta} \left[-\frac{3C_{1g\theta}}{8\xi} + \frac{C_{1g\theta}}{8} - 3C_2' + \frac{9}{4} \frac{C_2' C_{1g\theta}}{(2\xi)^2} + \frac{9C_{1g\theta}^2}{(8\xi)^2} + \dots \right] + \frac{1}{\theta} \left[-\frac{9C_{1g\theta}^2}{2\xi^3} - \frac{(3C_{1g\theta} - 3C_2')^2}{8\xi^5} - \dots \right],$$

где $\xi = \frac{\pi}{2\theta_0} \left[2k + \frac{1}{2} - \frac{\theta_0}{\pi} \right]$, $k \in \mathbb{Z}$, $C_2 = \frac{1}{\theta} \frac{3}{2} C_{1g\theta}^2$, $C_2' = -\frac{1}{\theta} C_{1g\theta}$.

Система интегральных уравнений Вольтерра 1 рода, полученная из удовлетворения граничным условиям, сводится численным решением к системе алгебраических уравнений. Численный метод решения предполагает разбиение интервала интегрирования на N равных отрезков длиной $\Delta t = T/N$, Δt – "шаг" по времени, T –

характерное время исследуемого процесса. В области изменения переменной t вводятся аппроксимирующие выражения вида:

$$V_i^n(\tau) = \sum_{p=1}^m V_{ip}^n \Delta_p H, \quad \Delta_p H = H(t - t_{p-1}) - H(t - t_p), \quad V_{ip}^n = V_i^n(p\Delta t), \quad t_p = p\Delta t,$$

$H(t)$ – функция Хевисайда.

Результирующая система алгебраических уравнений, полученная после подстановки данных аппроксимаций в интегральные уравнения, является рекуррентной по индексу m . Из нее последовательно определяются коэффициенты $v_m^n(\tau)$, $m = 1, 2, \dots, N$. Эта система разрешается численно.

Ядра интегральных уравнений, рассмотренных в настоящей работе, удовлетворяют всем условиям теоремы об устойчивости используемой вычислительной процедуры решения интегральных уравнений.

Литература

1. Поручиков В.Б. Методы динамической теории упругости. - Москва: Наука, 1986.
2. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. - Москва: Высшая школа, 1965.
3. Гобсон Е.В. Теория сферических и эллипсоидальных функций. М., Изд-во иностр. лит., 1952.

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ПЛАСТИНАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Сметанкина Н.В., канд. техн. наук, Свет Е.В., Шуников А.Н., докт. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

On the basis of the variation equation of thermal balance the equation and boundary conditions for a stationary problem of thermal conduction of plates with the complex contour in the plan are obtained. The thermal state of plates with different conditions of heat transfer on the top and bottom surfaces is investigated numerically.

В большинстве работ, посвященных решению задач теплопроводности, получены решения для областей простой формы [1]. Отыскание решения для областей неклассической формы связано с математическими сложностями, вызванными решением систем интегральных уравнений [2]. В настоящей работе предлагается обобщение ранее предложенного метода решения задач теплопроводности для прямоугольных пластин [3] на случай пластин сложной формы в плане.

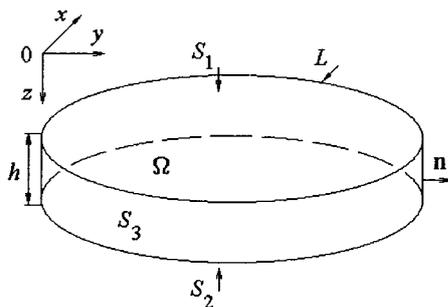


Рис. 1. Пластина.

Рассматривается пластина постоянной толщины h , отнесенная к декартовой системе координат, которая связана с верхней поверхностью пластины. В координатной плоскости пластина занимает область Ω , ограниченную контуром L : $x_L = x(\varphi)$,

$y_L = y(\varphi)$ (рис. 1). На верхней, нижней и боковой поверхностях пластины происходит конвективный теплообмен

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} + H_1(T - T_0^1) = 0, \quad (x, y, z) \in S_1,$$

$$k \frac{\partial T}{\partial z} + H_2(T - T_0^2) = 0, \quad (x, y, z) \in S_2, \quad (1)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial n} + H_3(T - T_0^3) = 0, \quad (x, y, z) \in S_3. \quad (2)$$

Здесь $T = T(x, y, z)$ – температура, k – коэффициент теплопроводности материала пластины, T_0^i и H_i ($i = 1, 2, 3$) – температура среды и коэффициенты конвективного теплообмена на верхней S_1 , нижней S_2 и боковой S_3 поверхностях соответственно, $n = n(x, y)$ – внешняя нормаль к боковой поверхности S_3 .

Распределение температуры T в пластине и на боковой поверхности, а также плотность внутренних тепловых источников q представим в виде

$$T(x, y, z) = \sum_{r=0}^R T_r(x, y) f_r, \quad (x, y) \in \Omega; \quad T_0^3(x, y, z) = \sum_{r=0}^R T_{0r}^3(x, y) f_r, \quad (x, y) \in L,$$

$$q(x, y, z) = \sum_{r=0}^R q_r(x, y) f_r, \quad (x, y) \in L, \quad (3)$$

где f_r – полином Лежандра степени r ,

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{h}}, \quad f_1 = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{h}}(2\bar{z}-1), \quad f_2 = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{h}}(6\bar{z}^2 - 6\bar{z} + 1) \dots; \quad \bar{z} = \frac{z}{h}.$$

Тогда граничные условия (1) принимают вид

$$\sum_{r=1}^R (H_1 f_r - k \frac{\partial f_r}{\partial z}) T_r = H_1 (T_0^1 - T_0 f_0), \quad z = 0,$$

$$\sum_{r=1}^R (H_2 f_r + k \frac{\partial f_r}{\partial z}) T_r = H_2 (T_0^2 - T_0 f_0), \quad z = h. \quad (4)$$

В разложениях (4) учтены первые три члена ряда, что обеспечивает достаточную точность решения. Из условий (1) коэффициенты разложения (3) T_1 и T_2 выражаются через T_0

$$T_1 = \chi_1 T_0 + \psi_1, \quad T_2 = \chi_2 T_0 + \psi_2, \quad (5)$$

где $\chi_1, \chi_2, \psi_1, \psi_2$ – константы, полученные в результате преобразований.

Представление для температуры получается путем подстановки выражения (5) в разложение (3)

$$T(x, y, z) = (f_0 + \chi_1 f_1 + \chi_2 f_2) T_0(x, y) + (\psi_1 f_1 + \psi_2 f_2). \quad (6)$$

На основе вариационного уравнения теплового баланса [4] и формулы Грина с учетом (2) и (6) формируется уравнение теплопроводности и граничные условия на боковой поверхности

$$-k \left((1 + \chi_1^2 + \chi_2^2) \Delta T_0(x, y) + k \left(\frac{12}{h^2} \chi_1^2 + \frac{60}{h^2} \chi_2^2 \right) T_0(x, y) + k \left(\frac{12}{h^2} \chi_1 \psi_1 + \frac{60}{h^2} \chi_2 \psi_2 \right) - (q_0(x, y) + \chi_1 q_1(x, y) + \chi_2 q_2(x, y)) \right) = 0, \quad (x, y) \in \Omega, \quad (7)$$

$$k \left((1 + \chi_1^2 + \chi_2^2) \frac{\partial T_0(x, y)}{\partial n} + H_3 (1 + \chi_1^2 + \chi_2^2) T_0(x, y) + H_3 (\chi_1 \psi_1 + \chi_2 \psi_2) - H_3 (T_{00}^3(x, y) + \chi_1 T_{01}^3(x, y) + \chi_2 T_{02}^3(x, y)) \right) = 0, \quad (x, y) \in L. \quad (8)$$

Для решения поставленной задачи (7)-(8) применяется подход, аналогичный методу упругого погружения [5]. Согласно этому подходу исходная пластина погружается во вспомогательную охватывающую пластину той же толщины. Роль охватывающей пластины выполняет прямоугольная пластина с нулевыми условиями на контуре. Условия конвективного теплообмена на верхней и нижней поверхностях вспомогательной пластины совпадают с условиями теплообмена на поверхностях исходной пластины.

Чтобы обеспечить выполнение реальных граничных условий к вспомогательной пластине по следу границы L прилагаются дополнительные компенсирующие источники $Q(x, y, z)$, $(x, y, z) \in S_3$, которые входят в уравнение теплопроводности в виде криволинейных распределений

$$q_r(x, y) = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} Q_r(x_L, y_L) \delta(x - x_L, y - y_L) dl, \quad r = 0, 1, 2, \quad (9)$$

где $\delta(x - x_L, y - y_L)$ – двумерная δ -функция Дирака,

Путем удовлетворения исходным граничным условиям на следе контура L формируется интегральное уравнение для определения распределений компенсирующих источников. Метод решения этой системы состоит в следующем. Функции T_0 и q_r разлагаются в тригонометрические ряды по функциям, удовлетворяющим граничным условиям охватывающей прямоугольной пластины

$$T_0 = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T_{0mn} \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B}, \quad q_r = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N q_{r mn} \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B},$$

где A и B – длины сторон охватывающей прямоугольной пластины.

Кроме того, функции T_0 и q_r , входящие в граничные условия исходной пластины, разлагаются в ряд вдоль следа контура L [5], в результате чего получается система линейных алгебраических уравнений для определения коэффициентов разложения в ряд функций компенсирующих источников.

В качестве иллюстрации работоспособности изложенного метода рассматривается тепловое состояние пластины, контур которой описан уравнением кривой Ламе ($L: x_L = a \cos^{2/c} \varphi, y_L = b \sin^{2/c} \varphi$). Пластина имеет следующие теплофизические и геометрические характеристики: $a = b = 0,2$ м, $c = 8$, $k = 1,61$ Вт/(м·°С); $h = 10^{-2}$ м. На боковой поверхности пластины поддерживается нулевая температура.

Сравнение с аналитическим решением [3] показало, что максимальная погрешность решения задачи не превысила 0,03 %, что подтверждает точность разработанного численного метода и достоверность полученных результатов.

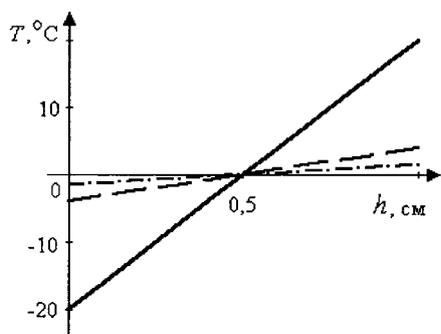


Рис. 2. Распределение температуры

На рис. 2 представлены распределения температуры по толщине пластины в центральной точке для $T_0^1 = -20 \text{ °C}$ и $T_0^2 = 20 \text{ °C}$. Сплошной ли-нией показаны результаты при отсутствии кон-вективного теплообмена на поверхностях пластины, штриховой линией – при $H_1 = H_2 = 80 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, штрихпунктирной – при $H_1 = H_2 = 25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Таким образом, предложенный метод решения задач теплопроводности пластин позволяет достоверно описывать тепловое состояние пластин сложной формы в плане.

Литература

1. Tanigawa Y., Ootao Y., Kawamura R. Thermal bending of laminated composite rectangular plates and nonhomogeneous plates due to partial heating // J. Thermal Stresses.– 1991.– V. 14, N. 3.– P. 285-308.
2. Рвачев В.Л., Слесаренко А.П. Алгебро-логические и проекционные методы в задачах теплообмена.– К.: Наук. думка, 1978.– 137 с.
3. Kantor B.Ya., Smetankina N.V., Shupikov A.N. Analysis of non-stationary temperature fields in laminated strips and plates // Int. J. Solids Structures.– 2001.– V. 38., N 48/49.– P. 8673-8684.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности.– М.: Высшая школа, 1967.– 599 с.
5. Shupikov A.N., Smetankina N.V. Non-stationary vibration of multilayer plates of an uncanonical form. The elastic immersion method // Int. J. Solids Structures.– 2001.– V. 38, N 14.– P. 2271-2290

УДК 539.3

УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА КОНСТРУКЦИЙ ПРОТОЧНОГО ТРАКТА ГИДРОТУРБИНЫ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

Медведовская Т.Ф., канд. техн. наук, Медведовский А.В.,
Стрельникова Е.А., канд. физ.-мат. наук
(г. Харьков, Украина)

The design-experimental technique of an estimation of a dynamic stress mortgage parts of water-wheels is developed. The physical and mathematical model of a design takes into account its actual condition, and also character of loadings. By results of research volume of modernization is defined(determined) and the between-repairs period is nominated.

В связи с выработкой расчетного ресурса многими гидротурбинами (г/т) при модернизации агрегатов возникает вопрос о возможности их дальнейшей эксплуатации при обеспечении межремонтного срока службы. Отказы закладных конструкций проточного тракта в зоне рабочего колеса (РК) и за РК связаны с наличием трещин технологического и эксплуатационного характера, фактической разнотолщиной облицовки, состоянием бетонного блока и связью его с облицовкой [1-3]. Оценка долговечности конструкции проводится с учетом трещиностойкости материала на базе теоретических разработок [4, 5]. Для реальной конструкции строятся графики, по которым определяется время до разрушения при известном уровне и частоте амплитудных напряжений в зависимости от длины и глубины зафиксированных трещин. Дополнительно проводится статистический анализ времени до разрушения

Напряжения определяются по двум методикам в связи со сложностью, как самой конструкции, так и характера приложенной нагрузки (рис. 1), что способствует повышению надежности результатов. Первая из них - численно-аналитический метод, сочетающий конечно-элементное представление искомых функций в меридиональном сечении с разложением Фурье по окружной координате [3], вторая - метод конечных элементов (МКЭ) для пространственных конструкций в целом [6]. Для экономии вычислительных затрат применяется схема в виде циклически симметричной. пространственной полосы (рис. 2а), вырезанной из конструкции двумя рядом стоящими меридиональными сечениями.

Первый подход [2, 3] – квазистатический, на конечные элементы разбивается двухмерное меридиональное сечение конструкции (рис.1). Используя разложения векторов перемещений (u) и (v), а также векторов нагрузки (q_i) в ряды Фурье, приходим к вариационному уравнению относительно амплитудных значений ($u^{(k)}$), ($v^{(k)}$) в виде

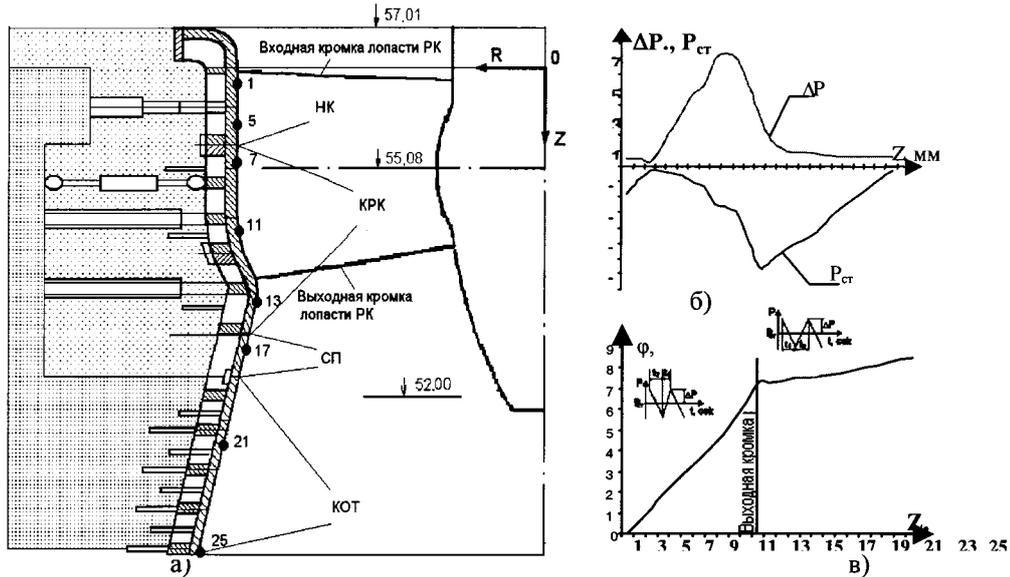


Рис. 1. а - расчетный узел; б - распределение $P_{ст}$ и ΔP ; в - относительный сдвиг фаз φ динамических нагрузок.

$$\iint_F (\delta u^{(k)})^T (d^{(k)})^T (N) (d^{(k)}) (u^{(k)}) r dr dz + \frac{H}{2\pi} \iint_{F_{II}} (\delta v^{(k)})^T (D_{II})^T (N_{II}) (D_{II}) (v^{(k)}) dr dz - \int (\delta u^{(k)}) (q^{(k)}) d\Gamma - (\delta u^{(k)}) (p_i^{(k)}) = 0, \quad k=0,1,2,\dots,$$

где $[D] = \begin{bmatrix} (D_{11}) & (d_{12}^{(k)}) \\ (d_{21}^{(k)}) & (D_{22}) \end{bmatrix}, \quad (d_{12}^{(k)}) = \frac{k}{r} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (d_{21}^{(k)}) = -\frac{k}{r} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$

Так как при $k=0$ $(d_{12}^{(k)}) = (d_{21}^{(k)}) = 0$, то $\delta A_T^{(k)}|_{k=0} = \delta A_T^{(0)}/2$. Условия непрерывности перемещений на

границах подобластей $u_r^{(k)} = v_r^{(k)}, u_z^{(k)} = v_z^{(k)}$.

Сформулированная вариационная задача решается МКЭ.

Задача динамики конструкций гидротурбин решается, исходя из матричного уравнения свободных колебаний

$$K(U) - p^2 M(U) = 0,$$

где K и M - матрицы жесткости и масс конструкции соответственно. При расчете по второй методике оболочка моделируется четырехузловыми четырехугольными КЭ, ребра - балочными двухузловыми КЭ, анkers - двухузловыми стержневыми КЭ, внешние концы анкеров упруго связаны с бетоном. Взаимодействие оболочки с бетоном учитывается введением стержневых КЭ с жесткостью, эквивалентной жесткости бетона.

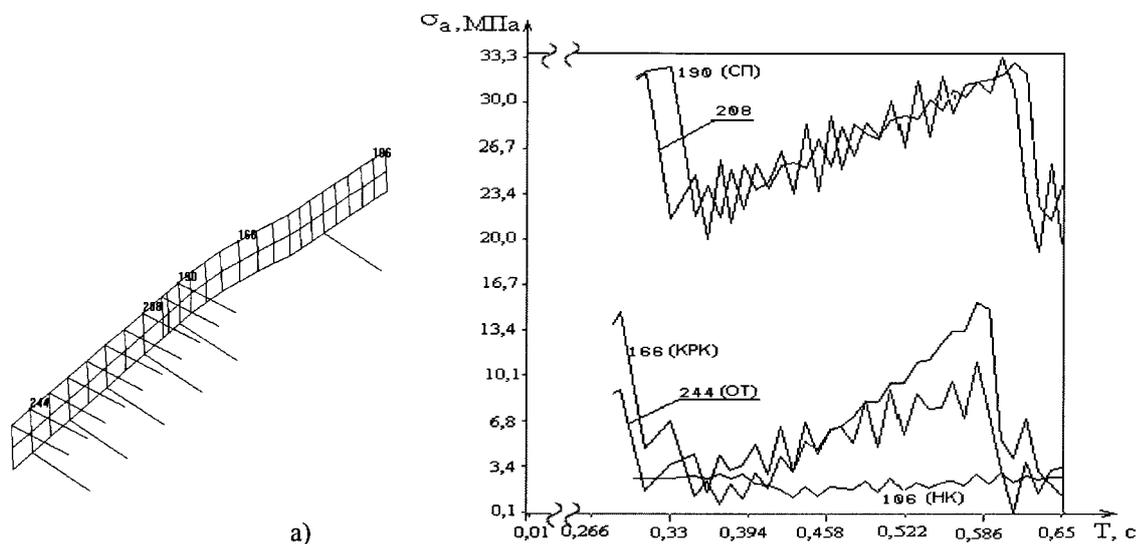


Рис. 2. а - циклически симметричная полоса; б - динамические напряжения.

Ниже приведена оценка межремонтного периода закладных частей модернизируемой г/т (см. рис.1). При исследовании объекта зафиксирована разнотолщинность облицовки и трещины. Для сегмента сечения $\pi/2$ определены собственные частоты f_i ($f_1=49,57$ Гц) и НДС от ΔP (рис.1,б) в квазистатической постановке. Динамическая задача с учетом сдвига фаз нагрузки по высоте конструкции решена для циклически симметричного участка охватом $\pi/14$ (рис. 2а), результаты расчета для режима 1 – рис. 2б. Определены значения максимальных $\sigma_{i \max}$, минимальных $\sigma_{i \min}$, и амплитудных σ_{ia} значений интенсивностей напряжений в указанных узлах. Наиболее нагруженный элемент конструкции – КРК: (для режима 1: $\sigma_{i \max}=15.6$ МПа, $\sigma_{i \min}=0.2$ МПа, $\sigma_{ia}=7.8$ МПа; режима 2: $\sigma_{i \max}=16.1$ МПа, $\sigma_{i \min}=1.5$ МПа, $\sigma_{ia}=7.3$ МПа; режима 3: $\sigma_{i \max}=12.3$ МПа, $\sigma_{i \min}=3.8$ МПа, $\sigma_{ia}=4.2$ МПа). По результатам квазистатического расчета $\sigma_{ia}=11.1$ МПа. Уточнение уровня σ_{ia} позволяет откорректировать прогнозируемую долговечность (рис.3 а,б).

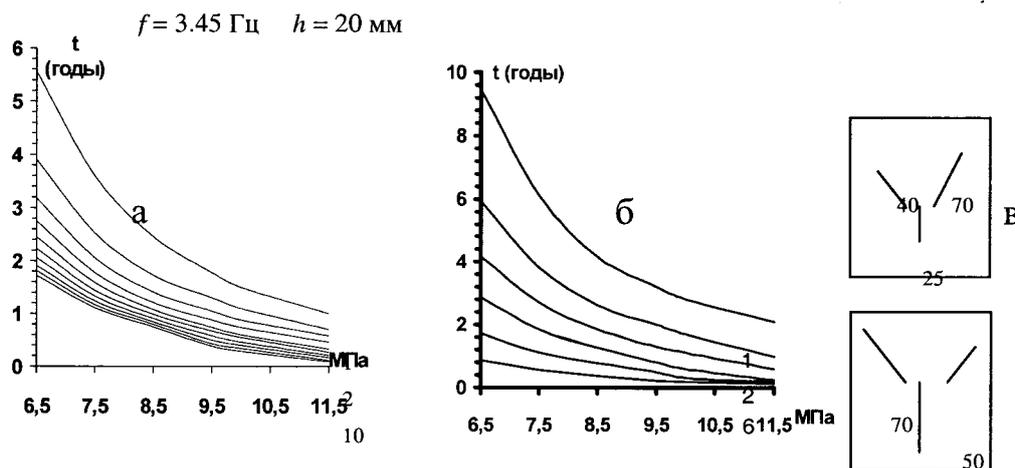


Рис. 3. Зависимость долговечности от: а - длины; б - глубины трещины; в - характерные размеры обнаруженных трещин.

На рисунке показана зависимость долговечности от длин и глубин трещин, построенная для Ст3 (средняя толщина облицовки $h=20$ мм). Цифры 1÷10 на рис 3а отвечают длинам трещин 1÷10 см, цифры 1÷6 на рис. 3б соответствуют глубинам трещин 0.125, 0.250, 0.375, 0.5, 0.625, 0.750 см. Для характерных размеров трещин, обнаруженных при осмотре объекта, расчетное время до разрушения составляет 3-5 лет. Заказчику даны соответствующие рекомендации по объему модернизации.

Литература

1. Дзюбанов Е.М., Дмитриев Н.Ю., Климович В.И., Левина С.М., Штильман В.Б. О прогнозировании надежности камер рабочих колес диагональных и поворотнo-лопастных гидротурбин// Гидротехническое строительство.–1996.–№ 2.– С.8 –15.

2. Веремеенко И.С., Кантор Б.Я., Медведовская Т.Ф., Усик Т.П. Исследование прочности камеры рабочего колеса и отсасывающей трубы гидротурбины // Пробл. машиностроения. – 1998. – № 3 - 4. – С. 4 – 8.
3. Медведовская Т.Ф., Медведовский А.В., Еселева Е.В., Зеленская О.Н. Метод конечных элементов в задаче определения радиальной жесткости циклически симметричных несущих конструкций гидротурбин // Пробл. машиностроения. – 1999. – № 1-2. – С.58-63.
4. Андрейкив А.Е., Дарчук А.И. Усталостное разрушение и долговечность конструкций. – Киев: Наук. думка, 1987. – 404 с.
5. Пэрис П., Эрдоган Ф., Критерии усталостного распространения трещин // Техн. механика. Серия Д. – 1987. – № 4. – С.60-68.
6. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ И ПОСТРОЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ткачук Н.А., канд. техн. наук, Ткачук А.В., Назарова О.П.

(г. Харьков, Украина)

It is proposed experimental methods on the basis of the new original numerical and experimental methods and CAD/CAE/CAM technique for making numerical models with aim to determinate geometric form and stress-strain state of complicated mechanical systems elements by means of the finite element method.

При исследовании напряженно-деформированного состояния элементов сложных механических систем наиболее достоверные результаты получаются при использовании расчетно-экспериментального метода [1,2]. При этом задача многовариантных расчетов прочностных и жесткостных характеристик исследуемых объектов в большинстве случаев упирается в проблему создания их достоверных конечно-элементных моделей (КЭМ). Это достигается путем корректировки параметров КЭМ по результатам сравнения данных расчета и эксперимента.

Однако и первая стадия расчетного этапа – моделирование формы и конечно-элементная разбивка - представляет собой достаточно трудную задачу, особенно при создании множества моделей (а именно это и требуется при автоматизированном многовариантном исследовании с варьированием тех или иных параметров). Существующие в настоящее время универсальные программные продукты позволяют решать данную задачу (рис. 1), однако их формат труднодоступен (при работе, например, в интегрированном режиме Pro/ENGINEER-Pro/Mechanica) или неудобен при взаимном множественном импорте-экспорте (между этапами CAD, CAE). Использование оригинальных разработок (рис. 2), генерирующих геометрию, конечно-элементную разбивку и даже осуществляющих решение задач анализа и оптимизации, неоправданно с точки зрения громоздкости этой задачи. В связи с этим предлагается интегрированный подход к решению задачи моделирования формы и создания КЭМ исследуемых объектов (рис. 3).



Рис. 1. Структурная схема моделирования формы тел сложной формы с использованием универсальных программных комплексов.



Рис. 2. Структурная схема моделирования формы тел сложной формы с использованием специализированных программных модулей.



Рис. 3. Структурная схема моделирования формы тел и КЭМ сложной формы с использованием интегрированных подходов.



Рис. 4. Структура системы класса CAD/CAM/CAE.

мы в определенных пределах).

Таблично заданные сложнопрофильные поверхности представляют значительные трудности при их модели-



Рис. 5. Основные этапы формирования твердотельной модели детали.

рование. В то же время поверхности переходной формы (например, участки поверхности между сложнопрофильными участками, получаемыми при решении задач гидро- или газодинамики, и аналитически заданными участками поверхности) предполагают неоправданно большие затраты времени и ресурсов как при моделировании, так и при обработке на станках с ЧПУ. Предлагаемый интегрированный подход устраняет указанные несоответствия. Подход, интегрирующий возможности системы Pro/ENGINEER и методов, предложенных ранее в работах [3-5], предоставляет широкие возможности для решения поставленных задач. В частности, одним из основных этапов построения произвольной точки моделируемой кривой с заданной точностью является дискретная интерполяция. В отличие от непрерывной интерполяции, где определяется уравнение моделируемой кривой, включающей заданный исходный точечный ряд, дискретная интерполяция определяет плотный дискретный ряд. При использовании дискретной интерполяции наиболее эффективно решаются задачи нахождения нулевых и экстремальных значений дискретно представленных кривых, ординат её точек перегиба и т.д.

В настоящее время существует много систем класса CAD/CAM/CAE, которые обеспечивают построение моделей деталей, их анализ (прочностные характеристики и др.) и обработку на станках с ЧПУ. Среди них наибольшими возможностями обладают следующие зарубежные системы: CADD5, Pro/ENGINEER, SolidWorks, EuclidQuantum, Unigraphics, Cimatron, AutoCAD.

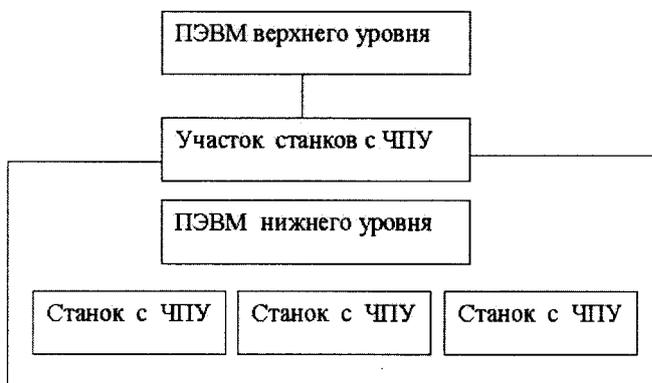


Рис. 6. Общая структура программно-аппаратного комплекса.

Однако цена лицензионных копий этих систем довольно большая даже для крупных предприятий и практически недоступна для средних и малых предприятий. Период обучения работе с данными системами является длительным и дорогостоящим. Коллективы предприятий попадают в зависимость от специалистов, которые освоили работу с системами.

Уход такого специалиста с предприятия оборачивается существенными убытками. Кроме того, отсутствие отечественных CAD/CAM/CAE систем влечет за собой потерю независимости от зарубежных фирм. Таким образом, разработка отечественной CAD/CAM/CAE-системы является актуальной задачей. Численные методы описания геометрии деталей составляют фундамент в построении этой системы.

На рис. 4 приведена структурная схема такой системы, главное отличие которой от других аналогичных систем – возможность обмена данными с другими системами, а также использование оригинальных методов

Кроме того, при описании формы элементов механических систем с поверхностями сложной формы возникает еще один аспект: создание методов, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих эффективно моделировать форму деталей для создания программ их обработки на станках с ЧПУ. Для решения этой задачи предлагается использовать интегрированный подход, соединяющий преимущества универсальных программных продуктов и специализированных модулей. В частности, поверхности данных деталей могут быть:

- Аналитически заданными;
- Заданными таблично;
- Кинематически заданными;
- Переходной формы с некоторой степенью произвола (т.е. возможностью варьирования формы).

В то же время поверхности переходной формы (например, участки поверхности между сложнопрофильными участками, получаемыми при решении задач гидро- или газодинамики, и аналитически заданными участками поверхности) предполагают неоправданно большие затраты времени и ресурсов как при моделировании, так и при обработке на станках с ЧПУ. Предлагаемый интегрированный подход устраняет указанные несоответствия. Подход, интегрирующий возможности системы Pro/ENGINEER и методов, предложенных ранее в работах [3-5], предоставляет широкие возможности для решения поставленных задач. В частности, одним из основных этапов построения произвольной точки моделируемой кривой с заданной точностью является дискретная интерполяция. В отличие от непрерывной интерполяции, где определяется уравнение моделируемой кривой, включающей заданный исходный точечный ряд, дискретная интерполяция определяет плотный дискретный ряд. При использовании дискретной интерполяции наиболее эффективно решаются задачи нахождения нулевых и экстремальных значений дискретно представленных кривых, ординат её точек перегиба и т.д.

Однако цена лицензионных копий этих систем довольно большая даже для крупных предприятий и практически недоступна для средних и малых предприятий. Период обучения работе с данными системами является длительным и дорогостоящим. Коллективы предприятий попадают в зависимость от специалистов, которые освоили работу с системами.

Уход такого специалиста с предприятия оборачивается существенными убытками. Кроме того, отсутствие отечественных CAD/CAM/CAE систем влечет за собой потерю независимости от зарубежных фирм. Таким образом, разработка отечественной CAD/CAM/CAE-системы является актуальной задачей. Численные методы описания геометрии деталей составляют фундамент в построении этой системы.

На рис. 4 приведена структурная схема такой системы, главное отличие которой от других аналогичных систем – возможность обмена данными с другими системами, а также использование оригинальных методов

описания геометрии. Подсистема автоматизированной подготовки программ и управления обработкой на станках с ЧПУ в данной системе состоит из прикладного программного обеспечения верхнего и нижнего уровней, а также аппаратной и программной поддержки связи между ЭВМ верхнего уровня, управляющей ЭВМ и станками с ЧПУ (рис. 5,6).

Предложенные интегрированные подходы к моделированию формы элементов сложных механических систем дают возможность оперативного и гибкого решения задач описания геометрической информации на всех этапах создания новых изделий: проектирование, анализ, синтез, автоматизированное изготовление. Это достигается за счет соединения преимуществ мощных универсальных CAD/CAE/CAM систем и специализированных модулей.

Литература

1. Ткачук Н.А. Методы исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем. В сб.: Динамика и прочность машин. - Харьков: ХГПУ, 1997, вып.55, с. 194-204.
2. Капустин А.А., Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальный метод исследования деформаций элементов механических систем. - Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Вып. 53. - Харьков: ХГПУ, 1999, с. 148-155.
3. Назарова О.П. Разностные схемы дискретной интерполяции. // Прикладная геометрия и инженерная графика. 1994. Вып.57, с.159-161.
4. Назарова О.П. Восполнение дискретной информации. // Прикладная геометрия и инженерная графика. 1995. Вып.58, с.160-161. 5. Назарова О.П. Дискретное дифференцирование на основе тождеств высшего порядка. // Прикладная геометрия и инженерная графика. 1996. Вып.60, с.199-200.

УДК 621.01

ОБ УСТРАНЕНИИ СУБГАРМОНИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСОВ В МАШИННОМ АГРЕГАТЕ С ДВУХВАЛЬНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ ДИЗЕЛЕМ

Шатохин В. М., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In this paper the method of research of the established dynamic processes in nonlinear models of machine aggregates is offered, in which dimension of linear boundaries often exceeds number of nonlinear conjunctions. Outcomes of subharmonic oscillations settlement - experimental researches of an explosion engine aggregate are reduced.

Введение. Изучение динамических процессов в машинных агрегатах с ДВС часто требует учета технологических и конструктивных нелинейностей. Даже при гармоническом возбуждении указанные факторы могут порождать периодические движения, значительно отличающиеся от гармонических, в частности, субгармонические колебания, которые нередко определяют прочность и надежность конструкции.

В статье излагаются результаты расчетно-экспериментальных исследований по устранению опасных субгармонических колебаний в валопроводах двухвального транспортного дизеля, обнаруженных при его доводке на наиболее вероятных эксплуатационных режимах работы.

1. Уравнения движения, метод и алгоритм их решения. Характерной особенностью моделей машинных агрегатов с ДВС является то, что их число степеней свободы превосходит число нелинейных элементов. В этом случае уравнения движения целесообразно записывать в интегральной форме [1,2] с помощью импульсно-частотных характеристик (ИЧХ) линейных частей моделей [3, 4]. Их количество оказывается равным числу нелинейностей, а трудоемкость решения задачи практически не зависит от размерности линейных контуров модели.

В матричной форме нелинейные интегральные уравнения типа Гаммерштейна записываются в виде [1]

$$y(t) = \int_0^T \Phi(t-\tau) f(y) d\tau + g(t), \quad (1)$$

где $y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_s(t)]^T$ - вектор углов закручивания нелинейных соединений (τ - знак транспонирования); s - число нелинейностей; $\Phi(t-\tau) = [\varphi_{i,j}(t-\tau)]$ ($i, j = \overline{1, s}$) - матрица ИЧХ; $f(y) = [f_1(y_1), \dots, f_s(y_s)]^T$ - нелинейная вектор-функция, причем $f_j(y_j) = c_j y_j - F_j(y_j)$; $F_j(y_j)$ - нелинейная характеристика j -го нелинейного соединения; c_j и $c_j y_j$ - соответственно коэффициент жесткости и упругий момент в линеаризованном соединении; $g(t) = [g_1(t), g_2(t), \dots, g_s(t)]^T$ - вектор-функция реакций линеаризованных нелинейных соединений на внешнее возбуждение, причем $g_j(t) = \sum_{i=1}^k \int_0^T \psi_{j,i}(t-\tau) M_i(\tau) d\tau$; $M_i(\tau)$ ($i = \overline{1, k}$) - возмущающие моменты;

$\psi_{j,i}(t-\tau)$ - ИЧХ от i -ой массы к j -му линеаризованному нелинейному соединению; k - число возмущающих моментов; T - период колебаний.

При расчете свободных колебаний T в уравнении (1) будет предполагаемым периодом колебаний и, кроме того, в нем будет отсутствовать член, обусловленный внешним возмущением. В случае исследования субгармонических колебаний период колебаний будет кратен периоду возмущения [5].

При решении интегральных уравнений колебаний хорошо зарекомендовал себя итерационный алгоритм метода Ньютона-Канторовича решения операторных уравнений, который для уравнения (1) имеет вид [1]

$$y_{n+1}(t) = y_n(t) - z_n(t), \quad (2)$$

$$z_n(t) - \int_0^T \Phi(t-\tau) f'_y(y_n) z_n(\tau) d\tau = -l_n(t), \quad (3)$$

$$l_n(t) = \int_0^T \Phi(t-\tau) f(y_n) d\tau + g(t) - y_n(t), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где $f'_y = \text{diag}\{f'_{y_1}, f'_{y_2}, \dots, f'_{y_s}\}$ - диагональная матрица.

Гибким инструментом реализации этих формул является алгоритм [6], базирующийся на идее метода гармонического баланса, применяемого для решения уравнений движения, записанных в дифференциальной форме [5]. Главное достоинство такого подхода - возможность использования резонансных и фильтрующих свойств ИЧХ для рационального выбора небольшого числа базисных функций, позволяющих с достаточной точностью представить искомое решение. На начальном этапе решения нелинейной задачи это может быть просто поиск подходящих начальных приближений.

2. Модель машинного агрегата и ее параметры. Для снижения динамической нагруженности валопроводов двухвального транспортного дизеля на переходных режимах работы в зубчатую передачу, связывающую коленчатые валы, введена упругая муфта с податливым участком. При доводке двигателей обнаружено, что применение муфты имеет неблагоприятные последствия на эксплуатационных режимах их работы. В силовой цепи двигателя выявлены сильные субгармонические резонансы, порождающие чрезмерные динамические нагрузки.

На рис. 1. представлена крутильная схема дизеля, связанного с потребителями эластичными муфтами с упругими втулками. Кроме нелинейной упругой муфты между коленчатыми валами, показаны нелинейности к потребителям, обусловленные наличием зазоров в шлицевых соединениях. Приняты следующие обозначения:

$I_1 - I_6, I_7 - I_{12}$ - соответственно цилиндрические массы выхлопного и продувочного валов; $I_{13} - I_{17}$ - шестерни главной передачи; I_{18} - компрессор; I_{19} - турбина; I_{20}, I_{21} - гидротормоза. Их моменты инерции указаны в таблице 1, причем для компрессора и турбины даны значения моментов инерции, приведенные к коленчатым валам.

Таблица 1

k	1-12	13	14	15	16	17	18	19	20,21
$I_k, \text{кгм}^2$	0,073	0,023	0,072	0,036	0,033	0,038	1,81	2,078	2,5

Таблица 2

k	$c_k, \text{Нм}$
1-10	$2,604 \cdot 10^6$
11	$1,252 \cdot 10^7$
12	$4,64 \cdot 10^4$
13	$2,39 \cdot 10^6$
14	$1,68 \cdot 10^6$
15	$1,299 \cdot 10^6$
16	$1,252 \cdot 10^7$
17	$4,453 \cdot 10^4$
18	$1,999 \cdot 10^4$
19-20	$1,7 \cdot 10^6$

Коэффициенты жесткостей соединений расчетной модели приведены в таблице 2; c_{12} соответствует жесткости податливого участка c'_{12} упругой муфты с предварительным натягом (см. рис. 1), в которой жесткость упоров $c'_{12} = 2 \cdot 10^6 \text{ Нм}$. Остальные параметры нелинейности: $d'_{12} = 7,538 \cdot 10^{-5} \text{ рад}$, $d''_{12} = 0,018 \text{ рад}$. Экспериментально установлено, что зазоры к потребителям Δ_{19}, Δ_{20} могут меняться в пределах $0 \div 0,026 \text{ рад}$ ($1,5^\circ$).

В расчетах использовалось эквивалентное линеаризованное демпфирование, которое определялось из совпадения расчетных и экспериментальных данных на резонансных колебаниях. В результате этого получено $\beta_1 = \dots = \beta_{12} = 23,5 \text{ Нмс}$.

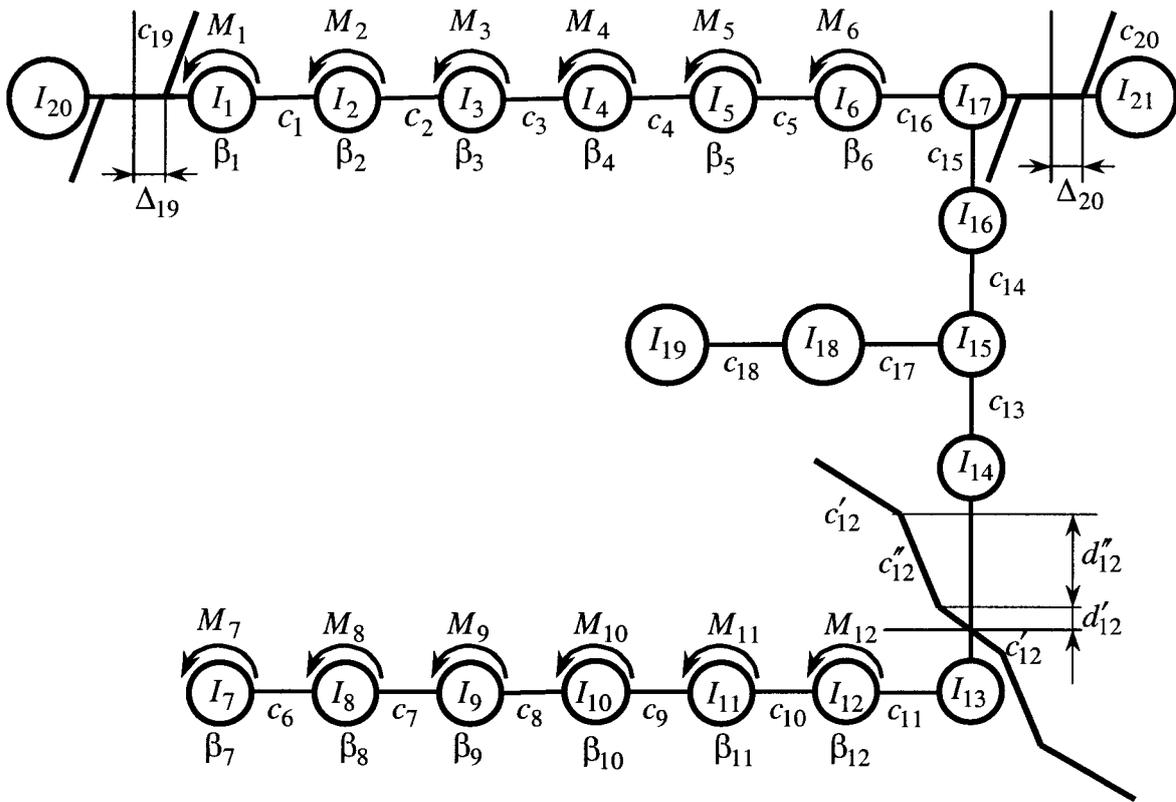


Рис. 1. Механическая модель машинного агрегата с ДВС

$n = 1667 \text{ об / мин}$	$n = 2234 \text{ об / мин}$	$n = 2283 \text{ об / мин}$	$n = 2408 \text{ об / мин}$	$n = 2500 \text{ об / мин}$
$(\omega = 1047 \text{ рад / с})$	$(\omega = 1404 \text{ рад / с})$	$(\omega = 1434 \text{ рад / с})$	$(\omega = 1513 \text{ рад / с})$	$(\omega = 1571 \text{ рад / с})$

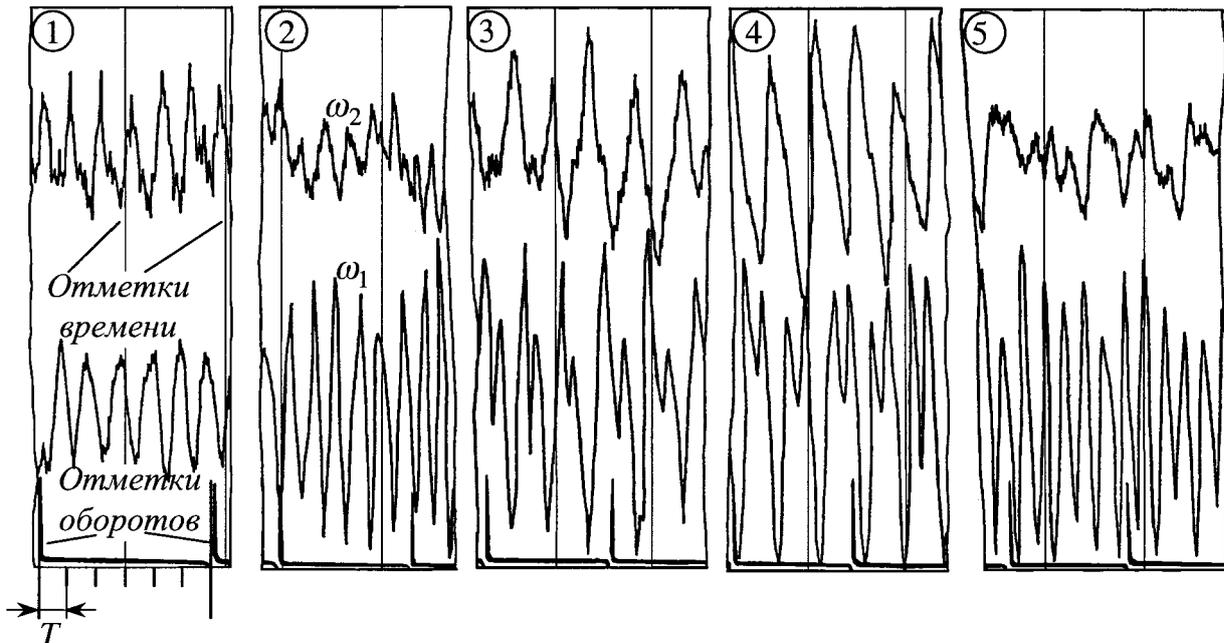


Рис. 2. Осциллограмма угловых скоростей выхлопного (ω_1) и продувочного (ω_2) валов на разных оборотах двигателя (кадры 1, 2, 5 – основные колебания; 3, 4 – субгармонические колебания)

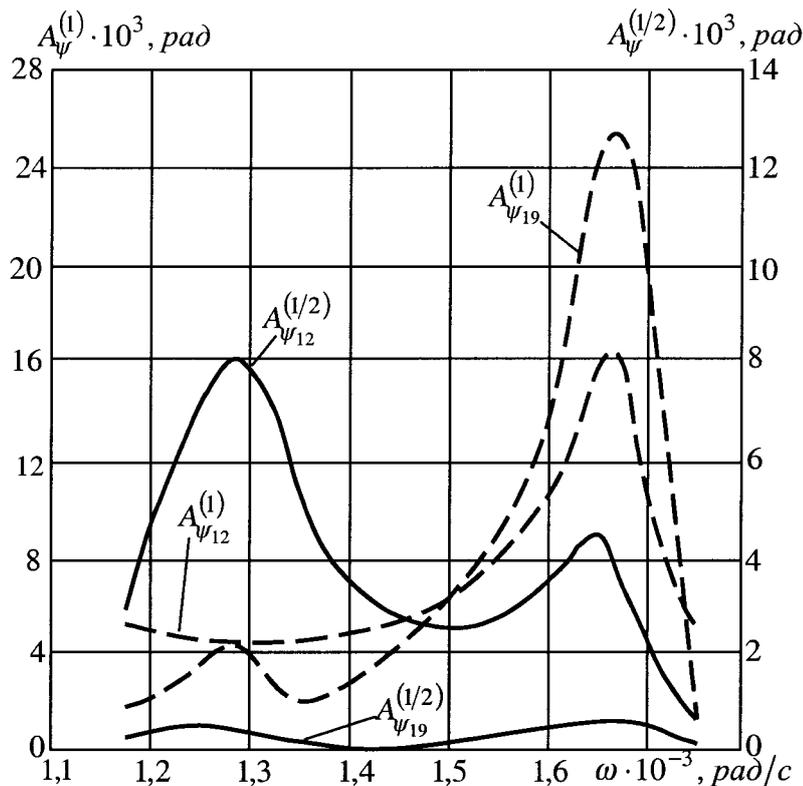


Рис. 3. Зависимости амплитуд основной гармоники и субгармоники для нелинейных соединений от частоты.

Опасные колебания порождены главной – шестой гармоникой; поэтому возмущение на цилиндрических массах задавалось в виде

Средние моменты, передаваемые упругой муфтой и нелинейными соединениями, соответственно равны 1480 Нм и 1850 Нм.

3. Результаты расчетно-экспериментальных исследований. В процессе доводки двигателя в интервале 2280÷2460 об/мин были выявлены опасные, ярко выраженные субгармонические колебания второго порядка. Наиболее интенсивный характер эти колебания имеют на продувочном валу, на выхлопном валу они также существуют в указанном частотном диапазоне, однако, проявляются они не столь ярко. Увеличение частоты возбуждения приводит к достаточно плавному уменьшению и последующему исчезновению субгармонических колебаний на продувочном валу, но при этом усиливаются основные колебания с частотой главной гармоники возбуждения. Описанные качественные результаты иллюстрируют фрагменты осциллограммы (рис. 2) с записями угловых скоростей валов. В скобках на рисунке даны частота главной – шестой гармоники возмущения, соответствующие указанным оборотам; T обозначает период главной гармоники.

С целью ослабления или устранения опасных колебаний были проведены расчетные исследования с использованием разработанного алгоритма [6] и соответствующих программ.

Расчетные кривые субгармонических колебаний приведены на рис. 3, где построены зависимости от частоты возбуждения амплитуд основной гармоники и субгармоники для участка с упругой муфтой и соединения к потребителю. Сильные субгармонические колебания с преобладанием субгармоники в угле закручивания нелинейного соединения, сформировались вблизи частоты $\omega = 1300 \text{ рад/с}$, причем наблюдается некоторое усиление основной гармоники в угле закручивания соединения к потребителю. Особенность рассчитанных колебаний состоит в том, что при увеличении частоты возбуждения вторая собственная частота контура “выпускной вал – потребитель” попадает в резонанс. Это приводит к резкому усилению основных гармоник в рассматриваемых углах закручивания, а также к увеличению субгармонических составляющих в результирующих движениях. Наблюдается своеобразное затягивание субгармонических колебаний основными резонансными колебаниями, которое, как видно из рис. 3, может быть значительным. Таким образом, экспериментально обнаруженное явление взаимодействия контуров многомассовой нелинейной модели, совершающих колебания с преобладающей субгармонической составляющей и основной гармоникой в результирующих движениях, подтверждается расчетами.

Выводы. 1. Главная причина возникновения и значительного затягивания субгармонических колебаний в машинном агрегате с двухвальным дизелем - наличие контуров с частотами близкими к кратным. 2. Устранение

опасных динамических процессов в валопроводах двигателя достигается уменьшением диаметров проволоки и самих пружин упругой муфты и увеличением ее рабочего хода.

Литература

1. Карабин В.Н., Шатохин В.М., Штейнвольф Л.И. К вопросу применения итерационного метода для расчетов колебаний существенно нелинейных систем // Динамика и прочность машин. - 1991. - Вып. 33. - С. 54-63.
2. Шатохин В.М. Решение нелинейных интегро-дифференциальных уравнений периодических колебаний силовых передач машин с использованием ДПФ // Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1998. - Вып. 29. - С. 15-26.
3. Розенвассер Е. Н. Нелинейные колебания. - М.: Наука, 1969. - 576 с.
4. Бабицкий В. И., Крупенин В. Л. Колебания в сильно нелинейных системах. - М.: Наука, 1985. - 320 с.
5. Вульфсон И. И., Коловский М. З. Нелинейные задачи динамики машин. - Л.: Машиностроение, 1968. - 282 с.

УДК 621

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КИНЕТОСТАТИКИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Андреев Ю.М., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Description of the universal algorithm for solution of problem of kinetostatic (first dynamics problem) and special medium for input data of discrete dynamically systems. Building of motion's equation in matrix form formation by means of analytical calculation system in the computer and algorithms for numerical and symbol analysis of dynamically systems.

Небольшая доработка универсального алгоритма построения уравнений динамики дискретных моделей, реализованная в программном комплексе КИДИМ [1, 2], позволяет получить алгоритм решения задач кинетостатики для довольно широкого класса систем. Ввиду ограниченности объема статьи рассмотрим этот алгоритм в применении к плоским механизмам. В соответствии с принципом Лагранжа-Даламбера, если обозначить

\vec{J} , \vec{D} , \vec{C} , \vec{P} - вектора, содержащие в качестве своих компонент инерционные параметры (массы и моменты инерции), коэффициенты диссипации, коэффициенты жесткости и проекции активных сил и пар, соответственно; $\vec{\alpha}$, $\vec{\beta}$, $\vec{\gamma}$, $\vec{\delta}$ - вектора, содержащие в качестве своих компонент координаты - параметры, изменение которых приводит к появлению виртуальных работ, соответственно, сил инерции, сил диссипации, упругих сил и активных внешних сил механической системы, можно построить уравнения движения таких механизмов в виде [1, 2, 3]

$$\vec{U} = S_J^T [\vec{J}] \ddot{\vec{\alpha}} + S_D^T [\vec{D}] \dot{\vec{\beta}} + S_C^T [\vec{C}] \vec{\gamma} - S_P^T \vec{P} = 0 \quad (1).$$

Здесь $[\vec{J}]$, $[\vec{D}]$, $[\vec{C}]$ - квадратные диагональные матрицы, составленные из компонентов вышеуказанных векторов; S_J^T , S_D^T , S_C^T , S_P^T - транспонированные структурные матрицы системы [3], определяемые как производные векторов координат элементов модели $\vec{\alpha}$, $\vec{\beta}$, $\vec{\gamma}$, $\vec{\delta}$ по вектору обобщенных координат \vec{q}

$$S_J = \frac{\partial \vec{\alpha}}{\partial \vec{q}}, S_D = \frac{\partial \vec{\beta}}{\partial \vec{q}}, S_C = \frac{\partial \vec{\gamma}}{\partial \vec{q}}, S_P = \frac{\partial \vec{\delta}}{\partial \vec{q}}; \text{ вектора } \ddot{\vec{\alpha}}, \dot{\vec{\beta}} \text{ и } \vec{\gamma}, \text{ как и предыдущие выражения,}$$

вычисляются в программном комплексе КИДИМ через явно заданные зависимости координат $\vec{\alpha}$, $\vec{\beta}$, $\vec{\gamma}$, $\vec{\delta}$ от обобщенных координат и времени

$$\vec{\alpha} = \vec{\alpha}(\vec{q}, t), \vec{\beta} = \vec{\beta}(\vec{q}, t), \vec{\gamma} = \vec{\gamma}(\vec{q}, t), \vec{\delta} = \vec{\delta}(\vec{q}, t) \quad (2),$$

называемые, соответственно инерционными, диссипативными, упругими и силовыми *структурами* [3].

Уравнения (1) можно рассматривать как уравнения для определения закона изменения во времени активных сил – компонент вектора \vec{P} (всех или части) по известным упруго-инерционно-диссипативным параметрам и законам изменения обобщенных координат системы. В то же время, применяя традиционный для аналитической механики подход, связанный с освобождением части связей и введением в рассмотрение соответствующих реакций, появляющихся на виртуальных перемещениях, допускаемых освобожденными связями, можно трактовать уравнения (1), как кинестатические уравнения. В любом случае, уравнения (1) дают возможность решать первую задачу динамики для указанных систем.

Чтобы максимально использовать возможности программного комплекса КИДИМ, в котором реализован аналитический блок построения уравнений динамики систем в виде (1), надо построить алгоритм разрешения их относительно искомого вектора \vec{P} (или части его компонент) и нахождения искомых величин.

Обозначим вектором \vec{R} искомые компоненты вектора \vec{P} . Размерность этого вектора должна быть не больше, чем число обобщенных координат, определяющее число уравнений (1). В частном случае эти вектора совпадают $\vec{R} = \vec{P}$. Привести уравнения (1) к уравнениям вида

$$\mathbf{A}\vec{R} = \vec{B} \quad (3)$$

можно за два оригинальных действия (возможные, ввиду линейности уравнений (1) относительно \vec{P} , а, значит, и \vec{R})

1. подставить в (1) $\vec{R} = \mathbf{0}$, тогда $\vec{B} = -\vec{U}(\vec{R} = \mathbf{0})$; (4)

2. продифференцировать вектор уравнений (1) \vec{U} по вектору неизвестных \vec{R} , получить квадратную матрицу

$$\mathbf{A} = \frac{\partial \vec{U}}{\partial \vec{R}} = \frac{\partial \vec{U}}{\partial \vec{P}} \frac{\partial \vec{P}}{\partial \vec{R}} = S_P^T \frac{\partial \vec{P}}{\partial \vec{R}} \quad (5).$$

Матрица \mathbf{A} будет зависеть от обобщенных координат, так как от них зависят элементы структурной матрицы активных сил S_P , а матрица $\frac{\partial \vec{P}}{\partial \vec{R}}$ состоит из нулей и единиц. Вектор \vec{B} будет зависеть от обобщенных координат, их скоростей и ускорений, а также от инерционных, диссипативных и упругих параметров дискретной модели системы (от них зависят три первых слагаемых в (1)).

Таким образом, по заданному закону изменения во времени обобщенных координат $\vec{q} = \vec{q}(t)$ можно вычислить структуры (2), по ним – структурные матрицы $S_J^T, S_D^T, S_C^T, S_P^T$ и вектора $\vec{\alpha}, \vec{\beta}$ и $\vec{\gamma}$, затем с помощью (4) и (5) построить линейные алгебраические уравнения (3), которые при неособенной матрице \mathbf{A} разрешаются относительно неизвестных

$$\vec{R} = \mathbf{A}^{-1}\vec{B} \quad (6).$$

В этом и состоит предлагаемый универсальный способ решения задач кинестатики. Безусловно, реализовать такой алгоритм полностью на аналитическом уровне нельзя, ввиду сколь угодно сложных зависимостей (2) и отсутствия приемлемых аналитических алгоритмов решения систем линейных уравнений (5). Однако легко организовать цикл в заданном временном диапазоне, в котором вычислять числовые значения элементов матрицы \mathbf{A} и вектора \vec{B} и получать значения функции $\vec{R} = \vec{R}(t)$, решая систему линейных уравнений (6) с числовыми коэффициентами.

В качестве примера применения предлагаемого алгоритма рассмотрим схему стрелового устройства портального крана (см. рис.1).

Здесь показано: FED – «хобот», EL – оттяжка, NLP – коромысло, P – противовес, \vec{Q} – груз, AD – стрела, O – приводная шестерня, CO – зубчатая рейка.

Путем вращения приводной шестерни O зубчатая рейка CO перемещается, это заставляет изменяться геометрии стрелового механизма, что приводит к изменению вылета стрелы крана.

В простейшем случае может быть поставлена задача: для различных законов движения длины рабочей части рейки ее от точки В до точки касания рейки и шестерни - $s(t)$, инерционных и весовых параметрах стержневой модели стрелового устройства, найти закон изменения усилия между рейкой и шестерней $S_P(t)$.

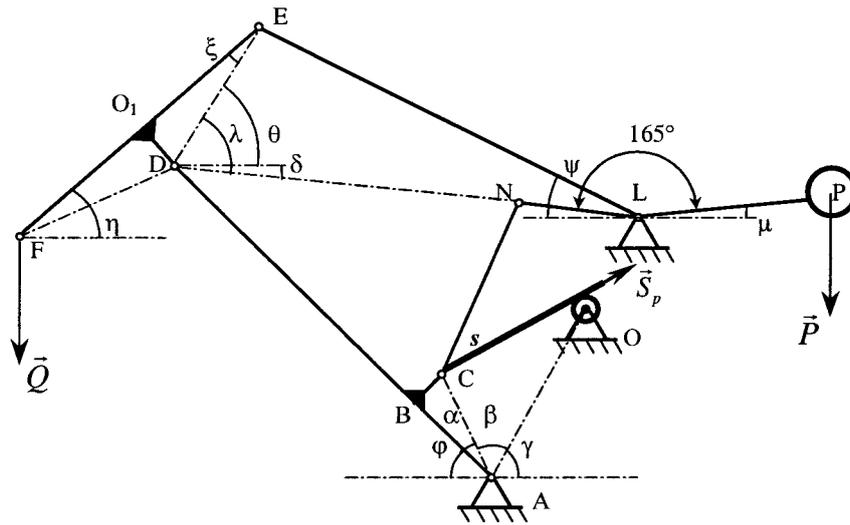


Рис. 1.

Покажем, как следует подготовить исходные данные для решения задачи с помощью предлагаемого алгоритма.

Запишем инерционную и силовую структуру:

$$\vec{\alpha} = \{x_{C_{FE}}, y_{C_{FE}}, \eta, x_{C_{EL}}, y_{C_{EL}}, \psi, x_{C_{AD}}, y_{C_{AD}}, \varphi, x_P, y_P, \mu\},$$

$$\vec{\delta} = \{y_Q, y_{C_{FE}}, y_{C_{EL}}, y_{C_{AD}}, y_P, s\}.$$

Затем - инерционные и силовые параметры, отвечающие указанным структурам:

$$\vec{J} = \{m_{FE}, m_{FE}, J_{FE}, m_{EL}, m_{EL}, J_{EL}, m_{AD}, m_{AD}, J_{AD}, m_P, m_P, J_P\},$$

$$\vec{P} = \{-Q, -P_{FE}, -P_{EL}, -P_{AD}, -P, S_P\},$$

где $m_{FE}, m_{EL}, m_{AD}, m_P$ - массы соответствующих звеньев, $J_{FE}, J_{EL}, J_{AD}, J_P$ - их моменты инерции относительно их центральных осей, перпендикулярных плоскости чертежа, $Q, P_{FE}, P_{EL}, P_{AD}, P, S_P$ - соответственно веса груза, хобота, оттяжки, стрелы и противовеса, усилие на рейке со стороны шестерни.

Обобщенной координатой выберем $s(t)$. Покажем, как можно выразить элементы векторов инерционной $\vec{\alpha}$ и силовой $\vec{\delta}$ структуры через обобщенную координату.

Считаем радиус шестерни R , длины стержней $AB, BC, AD, EF, EL, DO_1, EO_1, LP$ и координаты неподвижных точек $x_A, y_A, x_O, y_O, x_L, y_L$ постоянными и известными. Тогда

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}, AO = \sqrt{(x_O - x_A)^2 + (y_O - y_A)^2}, CO = \sqrt{s^2 + R^2}$$

$$DE = \sqrt{EO_1^2 + DO_1^2}, DL = \sqrt{(x_D - x_L)^2 + (y_D - y_L)^2}; \alpha = \arcsin(BC / AC),$$

$$\beta = \arccos \frac{AO^2 + AC^2 - CO^2}{2AC \cdot AO}, \gamma = \arcsin(zO / AO), \varphi = \pi - \alpha - \beta - \gamma,$$

$$\lambda = \arccos \frac{DL^2 + DE^2 - EL^2}{2DL \cdot DE}, \quad \delta = \arcsin \frac{y_D - y_L}{DL}, \quad \theta = \lambda - \delta, \quad \xi = \arcsin(DO_1 / DE),$$

$$\eta = \lambda - \delta - \xi, \quad \psi = \arcsin \frac{y_E - y_L}{EL}, \quad \mu = \pi / 12 - \delta;$$

$$x_D = x_A - AD \cos \varphi, \quad y_D = y_A + AD \sin \varphi, \quad x_P = x_L + LP \cos \mu, \quad y_P = y_L + LP \sin \mu,$$

$$x_E = x_D + DE \cos \theta, \quad y_E = y_D + DE \sin \theta, \quad x_F = x_E - EF \cos \eta, \quad y_F = y_E - EF \sin \eta,$$

$$x_{C_{FE}} = (x_F + x_E) / 2, \quad y_{C_{FE}} = (y_F + y_E) / 2, \quad x_{C_{EL}} = (x_L + x_E) / 2, \quad y_{C_{EL}} = (y_L + y_E) / 2,$$

$$x_{C_{AD}} = (x_A + x_D) / 2, \quad y_{C_{AD}} = (y_A + y_D) / 2.$$

Практика использования такого алгоритма для решения задач типа приведенной и задач силового расчета показала высокую его эффективность и удобство, заключающееся, прежде всего, в быстрой перенастройке расчетной модели для целей структурного синтеза и анализа механизмов.

Литература

1. Андреев Ю.М., Штейнвольф Л.И. Компьютерное моделирование задач механики голономных систем твердых тел со стационарными и нестационарными связями// Динамика и прочность машин - 1993.- Вып.53 - С.96-102.
2. Андреев Ю.М., Штейнвольф Л.И. Компьютерное построение дифференциальных уравнений движения неголономных систем// Динамика и прочность машин -1993.- Вып.53 - С.93-98.
3. Митин В.Н., Штейнвольф Л.И. Структуры дискретных механических моделей конструкций// Динамика и прочность машин -1982.- Вып.35 - С.3-6.

УДК 539.3

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПРИБЛИЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ УПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТЕЛ С НАЧАЛЬНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Ромашов Ю.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The integral estimations of the approximate solutions of the strain-stress analyses of the elastic deformable bodies with initial deformations are obtained. It is proposed to use these estimations for the predicting of the accuracy of the numerical stress-strain analyses.

Для определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций часто используют различные приближенные методы на основе вариационных постановок краевых задач теории упругости. При этих обстоятельствах желательно располагать оценками, позволяющими определить насколько полученное приближенное решение близко к точному решению. Сопоставление значений частных функционалов теории упругости позволяет определить насколько приближенное решение близко к точному решению [1], что позволяет рассматривать значения соответствующих функционалов, как интегральные оценки приближенных решений. В работе [2] в качестве интегральных оценок приближенных решений задач теории упругости предлагается использовать значения функционалов Лагранжа, Кастильяно и Рейсснера. В этом случае, чем меньше будет разница между значениями функционалов Лагранжа, Кастильяно и Рейсснера, подсчитанных на приближенном решении, тем меньше приближенное решение будет отличаться от точного решения. Такой подход, который можно обосновать, применяя методы выпуклого анализа для исследования вариационных задач [3], оказался весьма эффективным для практического использования при решении краевых задач на ЭВМ [2]. В данной работе рассматривается обобщение этого подхода на случай задач об упругом деформировании тел при наличии начальных деформаций.

Рассмотрим математическую постановку задач о деформировании тел с начальными деформациями. Будем считать, что тело, занимающее объем V , ограниченный поверхностью S , находится в поле объемных сил $\vec{f} = f^i \vec{e}_i$, где $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$ - векторы основного базиса. На части S_u поверхности S тела заданы перемещения точек тела, а на части S_p поверхности S тела действуют поверхностные нагрузки $\vec{p} = p^i \vec{e}_i$. Предполагаем, что при деформировании тела деформации ε_{ij} в его точках остаются малыми и складываются из двух составляющих:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^0, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{ij}^e = c_{ijkl}\sigma^{kl}$ - упругие деформации, ε_{ij}^0 - начальные деформации, обусловленные какими-либо внешними воздействиями на тело.

Рассматриваемую задачу можно формулировать как задачу минимизации функционала Лагранжа [4]:

$$J_L = \iiint_V \left[\frac{1}{2} c^{ijkl} \varepsilon_{ij}(\bar{u}) \varepsilon_{kl}(\bar{u}) - c^{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 \varepsilon_{kl}(\bar{u}) - u_i f^i \right] dv - \iint_{S_p} u_i p^i ds, \quad (2)$$

$$\text{где } \varepsilon_{ij}(\bar{u}) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial \alpha^j} + \frac{\partial u_j}{\partial \alpha^i} \right) - \Gamma_{ij}^s u_s.$$

Задачу об упругом деформировании тел при наличии начальных деформаций также можно формулировать как задачу максимизации функционала Кастильяно [4]:

$$J_C = \iint_{S_u} \sigma^{ij} n_j u_i^* ds - \iiint_V \left(\frac{1}{2} d_{ijkl} \sigma^{ij} \sigma^{kl} + \sigma^{ij} \varepsilon_{ij}^0 \right) dv, \quad (3)$$

и как задачу поиска стационарного значения функционала Рейсснера [4]:

$$J_R = \iiint_V \left[\sigma^{ij} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial \alpha^j} + \frac{\partial u_j}{\partial \alpha^i} \right) - \Gamma_{ij}^k u_k \right\} - \frac{1}{2} d_{ijkl} \sigma^{ij} \sigma^{kl} - \sigma^{ij} \varepsilon_{ij}^0 - u_i f^i \right] dv - \iint_{S_p} u_i p^i ds - \iint_{S_u} \sigma^{ij} n_j (u_i - u_i^*) ds. \quad (4)$$

Для построения интегральных оценок приближенных решений задач упругого деформирования тел при наличии начальных деформаций воспользуемся подходом, предложенным в работе [3]. В качестве основной задачи рассмотрим задачу минимизации функционала Лагранжа (2) на множестве K_u кинематически возможных полей вектора перемещений:

$$J_L^* = \min_{\bar{u} \in K_u} \{J_L(\bar{u})\}. \quad (5)$$

Возмущение задачи (5) введем в следующем виде:

$$\Phi = \iiint_V \left[\frac{1}{2} c^{ijkl} (\varepsilon_{ij} + p_{ij}) (\varepsilon_{kl} + p_{kl}) - c^{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 (\varepsilon_{kl} + p_{kl}) - u_i f^i \right] dv - \iint_{S_p} u_i p^i ds, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}(\bar{u})$.

Установлено, что двойственная задача и лагранжиан основной задачи (5) относительно возмущения (6) будут иметь вид соответственно

$$\Phi^* = \max_{\sigma^{ij} \in M} \left\{ \iint_{S_u} \sigma^{ij} n_j u_i^* ds - \iiint_V \left(\frac{1}{2} d_{ijkl} \sigma^{ij} \sigma^{kl} + \sigma^{ij} \varepsilon_{ij}^0 \right) dv - \frac{1}{2} \iiint_V c^{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 \varepsilon_{kl}^0 \right\}, \quad (7)$$

где M - множество статически возможных полей тензора напряжений;

$$L^* = \max_{\sigma^{ij}} \min_{\bar{u} \in K_u} \{L(u_i, \sigma^{ij})\}, \quad (8)$$

где

$$L(u_i, \sigma^{ij}) = \iiint_V \left[\sigma^{ij} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial \alpha^j} + \frac{\partial u_j}{\partial \alpha^i} \right) - \Gamma_{ij}^k u_k \right\} - \frac{1}{2} d_{ijkl} \sigma^{ij} \sigma^{kl} - \sigma^{ij} \varepsilon_{ij}^0 - u_i f^i \right] dv - \iint_{S_p} u_i p^i ds - \frac{1}{2} \iiint_V c^{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 \varepsilon_{kl}^0 dv.$$

Сопоставление выражений (2)-(4), (7), (8) позволяет рекомендовать в качестве интегральных оценок приближенных решений задач об упругом деформировании тел при наличии начальных деформаций три величины:

$$\left\{ J_L; J_R - \frac{1}{2} \iiint_V c^{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 \varepsilon_{kl}^0 dv; J_C - \frac{1}{2} \iiint_V c^{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 \varepsilon_{kl}^0 dv \right\}. \quad (9)$$

Чем меньше будет разница между величинами (9), подсчитанными на приближенном решении задачи, тем это приближенное решение будет меньше отличаться от точного решения. Видно, что при отсутствии начальных деформаций ε_{ij}^0 получаем интегральные оценки, которые представляют собой значения функционалов Ла-

гранжа, Кастильяно и Рейсснера. Рассмотрим интегральные оценки (9) для частной задачи о растяжении однородного стержня длиной a постоянного поперечного сечения площадью F . Ось x направим вдоль оси стержня. Будем считать, что точки стержня, у которых $x = 0$, жестко закреплены, а в точках стержня, у которых $x = a$ действуют распределенные нагрузки, статически эквивалентные силе N . Стержень предполагается нагретым так, что разница температур в исходном и нагретом состоянии $\Delta T(x) = t \frac{x}{a}$, где t - некоторая постоянная; начальная деформация стержня вследствие его температурного расширения $\varepsilon^0 = \alpha \Delta T(x)$, где α - коэффициент температурного расширения. Рассматриваемую задачу можно сформулировать в вариационной постановке. Функционалы (2)-(4) в этом случае примут вид:

$$J_L = F \int_0^a \left[\frac{1}{2} E \left(\frac{du}{dx} \right)^2 - E \alpha \Delta T \frac{du}{dx} \right] dx - Nu|_{x=a}, J_C = -F \int_0^a \left(\frac{\sigma^2}{2E} + \sigma \alpha \Delta T \right) dx, \quad (10)$$

$$J_R = F \int_0^a \left(\sigma \frac{du}{dx} - \frac{\sigma^2}{2E} - \sigma \alpha \Delta T \right) dx - Nu|_{x=a} + F(\sigma u)|_{x=0}.$$

Интегральные оценки (9) при этом запишутся так:

$$\left\{ J_L; J_R - \frac{1}{2} F \int_0^a E (\alpha \Delta T)^2 dx; J_C - \frac{1}{2} F \int_0^a E (\alpha \Delta T)^2 dx \right\}. \quad (11)$$

Проверим, будут ли совпадать интегральные оценки (11), подсчитанные на точном решении рассматриваемой задачи о растяжении стержня при наличии температурной деформации, которое можно легко получить аналитически:

$$u(x) = \frac{\alpha t}{2a} x^2 + \frac{N}{EF} x, \varepsilon(x) = \frac{\alpha t}{a} x + \frac{N}{EF}, \sigma(x) = \frac{N}{EF}. \quad (12)$$

Для этого вычислим стационарные значения функционалов (10). Подставляя решение (12) в функционалы (10), после интегрирования получим:

$$J_L^* = -\frac{EFa\alpha^2 t^2}{6} - \frac{\alpha t a N}{2} - \frac{N^2 a}{2EF}, J_C^* = -\frac{\alpha t a N}{2} - \frac{N^2 a}{2EF}, J_R^* = -\frac{\alpha t a N}{2} - \frac{N^2 a}{2EF}. \quad (13)$$

Из выражений (13) видно, что стационарные значения функционалов Лагранжа, Кастильяно и Рейсснера не совпадают, как это имеет место в задачах упругого деформирования тел при отсутствии начальных деформаций. В тоже время, вычисления интегральных оценок (11) на точном решении (12) приводят к следующему результату:

$$J_R^* - \frac{1}{2} F \int_0^a E (\alpha \Delta T)^2 dx = -\frac{EFa\alpha^2 t^2}{6} - \frac{\alpha t a N}{2} - \frac{N^2 a}{2EF}, \quad (14)$$

$$J_C^* - \frac{1}{2} F \int_0^a E (\alpha \Delta T)^2 dx = -\frac{EFa\alpha^2 t^2}{6} - \frac{\alpha t a N}{2} - \frac{N^2 a}{2EF}. \quad (15)$$

Как видно из равенств (13)-(15) интегральные оценки (11), подсчитанные на точном решении (12), совпадают.

В качестве заключения отметим, что при помощи известных методов исследования вариационных задач [3], построены новые интегральные оценки приближенных решений задач упругого деформирования тел с начальными деформациями. Полученные новые результаты не противоречат результатам работы [2], поскольку, при отсутствии начальных деформаций полученные интегральные оценки будут представлять собой значения функционалов Лагранжа, Кастильяно и Рейсснера.

Литература

1. Абовский Н.П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек. - М: Наука, 1978. - 287 с.
2. Морачковский О.К., Ромашов Ю.В., Сало В.А. Метод R-функций в решении задач теории упругости на основе смешанного вариационного принципа Рейсснера // Прикладная механика. - 2002. - Т.38, № 2. - С. 65-71.
3. Экланд И., Темам Р. Выпуклый анализ и вариационные проблемы: Пер. с англ. - М: Мир, 1979. - 400 с.
4. Розин Л.А. Вариационные постановки задач для упругих систем. - Л: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1978. - 224 с.

УДК 621.833

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ЭВОЛЮТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Кириченко А.Ф., докт. техн. наук, Павлов А.И., канд.техн.наук,
Чайка Э.Г., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

In clause the method of construction of gearing for power gear transfers with convexo-concave contact to the help evolute of a working surface of a tooth tool rack on the personal computer is considered. The accounts of the characteristics of transfer with a new kind of gearing are carried out.

Аналитические исследования теории зубчатых зацеплений, проведенные Х.Гохманом и О.Оливье [1], оказались не востребовавшими, т.к. являются громоздкими, ненаглядными и слабо поддающимися коррек-тировке. Создание зацеплений весьма удобно производить с помощью построения Бобилье. Этим способом можно получить любое зацепление, а также определить его характеристики.

Задавшись условием, что линией зацепления является прямая линия, получим эвольвентное зацепление. Если задаться линией зацепления в виде дуги окружности, то будем иметь циклоидальное зацепление. Если контакт точечный, то имеет место зацепление Новикова. Другим методом построения зацепления является задание эволюты профиля зуба инструмента. Эволюта для эвольвентного зацепления – несобственная точка. Для зацепления Новикова – точка С, являющаяся центром дуги окружности. Для циклоидального зацепления зуб инструмента описывается циклоидой, а эволютой является такая же циклоида, смещенная по высоте на величину амплитуды и на величину полупериода по длине. Для получения зацепления, названного далее эволютным, воспользуемся следующим. Из построения Бобилье для зуба инструментальной рейки при условии нахождения мгновенного центра скоростей шатуна четырехзвенного механизма в постоянной точке D центры кривизны будут находиться на прямой C₁D, т.е. эволютой профиля зуба инструмента должна быть прямая, параллельная межцентровой линии. Тогда профиль зуба будет описан инволютой этой прямой. Переход от координат точки эволюты к координатам точки инволюты осуществляется с помощью формул [2]

$$\begin{cases} y = y_y - \frac{1 + y'^2}{y''}, \\ x = x_y + \frac{1 + y'^2}{y''}, \end{cases} \quad (1)$$

где x_y, y_y – координаты точек эволюты, x, y – координаты точек инволюты, y', y'' – производные функции $y(x)$.

Из треугольника C₁KD (рис.1) гипотенуза C₁K, являющаяся радиусом кривизны боковой поверхности зуба инструмента, равна катету C₁D, деленному на синус текущего угла зацепления α_1 , т.е.

$$\rho = \frac{x - x'_c}{\sin \alpha_1}, \quad (2)$$

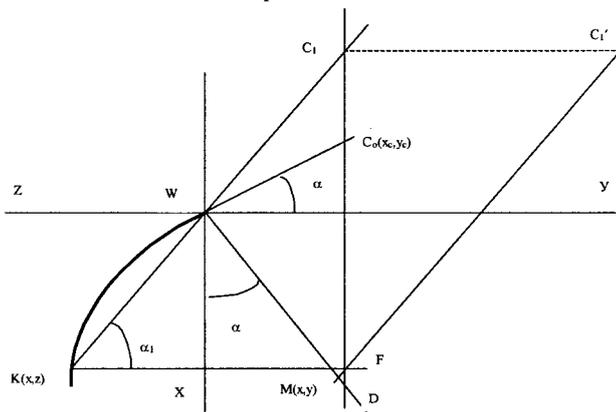


Рис. 1 К построению эволютного зацепления

т.к. упомянутый катет равен сумме абсцисс точек К и C₁, при этом абсцисса точки C₁ отрицательна, а ее модуль определяется через расстояние $h=WD$ от мгновенного центра скоростей до полюса зацепления, угол зацепления в полюсе α и текущий угол зацепления

$$x'_c = h \sin \alpha / \cos \alpha_1. \quad (3)$$

Поскольку

$$\dot{\alpha} \cos \alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + y'^2}} \quad (4)$$

и

$$\rho = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{y''}, \quad (5)$$

то подставляя эти значения в (2), имеем

$$\frac{x - h \sin \alpha}{y'} = \frac{1 + y'^2}{y''} \quad (6)$$

Вывод уравнения (6) можно получить и из формул (1), при этом надо учесть, что

$$x = z y', \quad (7)$$

а координата y , равна

$$y = h \sin \alpha \quad (8)$$

После несложных преобразований уравнения (6) имеем

$$y'' = \frac{y'(1 + y'^2)}{y' h \sin \alpha - x}. \quad (9)$$

Полученное уравнение (9) записано в форме, удобной для решения с помощью программного комплекса VISSIM [3]. За начальные условия принято: $x_0=0$; $y_0=0$; $y'_0=f$, т.е. профиль зуба проходит через полюс зацепления, в котором помещено начало координат, а тангенс угла зацепления в полюсе равен коэффициенту трения скольжения. Пределы интегрирования от -1 до $+1$, т.к. решение выполнялось для модуля $m=1$. Полученный график функции, описывающий боковую поверхность зуба инструмента, представлен в виде полинома. Головка зуба инструмента описывается уравнением кубической параболы $y=0,2x+0,25x^2+0,32x^3$, а ножка – $y=0,2x+0,2x^2+0,02x^3$. Если этим инструментом нарезать, например, шестерню, то для нарезания колеса потребуется инструмент, у которого головка будет описываться уравнением $y=0,2x+0,2x^2+0,02x^3$, а ножка – уравнением $y=0,2x+0,25x^2+0,32x^3$. На схеме решения (рис. 2) приведен вид головки зуба инструмента для нарезания, например, зуба шестерни, расположенного горизонтально, т.е. головка выпуклая. Вид ножки не приведен, но она – вогнутая. Следовательно, в контакте всегда будут находиться выпуклая и вогнутая поверхности. Расчеты характеристик зубчатой передачи с параметрами $u=4$, $z_1=21$, $z_2=84$, $m=1$, $f=0,1$ приведены в таблице. Здесь следует отметить такую особенность: коэффициент полезного действия передачи определяется не заложенным значением коэффициента трения, а реальной его величиной при условии, что она не превышает заложенную.

По результатам расчета можно заключить следующее: характеристики зубчатой передачи с эвольвентным зацеплением значительно выше аналогичных для передачи с эвольвентным зацеплением. Следовательно, применение нового зацепления после соответствующих испытаний экономически целесообразно. Передача с эвольвентным зацеплением будет служить дольше, так как в зацеплении будут значительно меньшими напряжения и менее интенсивный износ рабочих поверхностей.

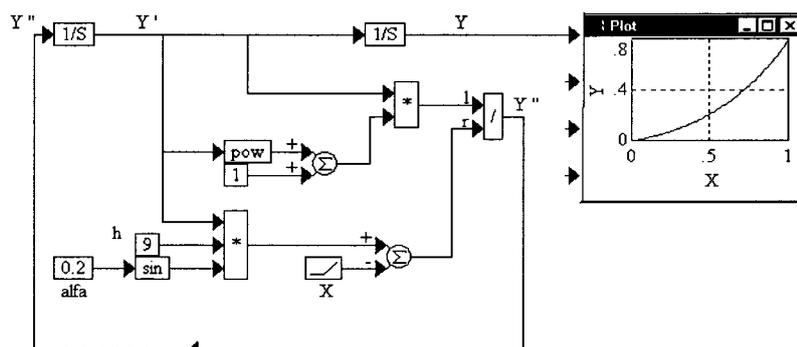


Рис. 2. Схема решения уравнения (9)

Таблица

Характеристики зубчатой передачи

Тип зацепления	Приведенный радиус кривизны в полюсе зацепления	Коэффициент перекрытия	Коэффициент полезного действия	Максимальное значение коэффициента удельного скольжения
Эвольвентное	3,2	2,3	0,98	1,82
Эвольвентное	2,1	1,1	0,97	6,2

Литература

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М., Наука.-1968.-584с.
2. Бронштейн И.Н. и Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука.-1967.- С.241.
3. Кириченко А.Ф., Федченко А.В. Методика компьютерной реализации динамической модели зубчатой передачи Новикова ДЛЗ // Вестник ХГПУ.-Харьков,1999.-Вып.54.- С.80-84.

УДК 621.396

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГИРОКОМПАСИРОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ДРЕЙФОВ ГИРОСКОПОВ

Успенский В. Б., канд. техн. наук, Багмут И. А.

(г. Харьков, Украина)

Different algorithms of calculation relative bearing are considered. Analysis of influence gyro regular drifts on the accuracy of the gyrocompassing is made.

Одной из составляющих алгоритмического обеспечения (АО) бесплатформенной инерциальной системы (БИНС) является алгоритм начальной выставки. Ключевым моментом выставки является задача определения начального курса подвижного объекта (ПО) в пространстве. Одним из методов решения данной задачи является метод гироскопирования [1]. Суть данного метода состоит в измерении векторов угловой скорости вращения земли Ω и ускорения силы тяжести g в связанной с ПО системой координат (СК) и согласования их с векторами Ω и g , известными в географическом трехграннике. Вектор g измеряется акселерометрами. Полученная о нем информация используется для горизонтирования связанной СК. Вектор Ω измеряется датчиками угловой скорости и используется для оценки угла курса.

Целью данной работы является исследование влияния систематических дрейфов гироскопов на точность гироскопирования.

Предположим, что СК связанная с ПО горизонтирована. Тогда значения проекций угловой скорости земли на оси связанной с ПО СК, измеренные соответственно X и Z гироскопами, имеют вид:

$$\hat{\Omega}_X = \Omega_X + \delta\Omega_X, \quad (1)$$

$$\hat{\Omega}_Z = -\Omega_Z + \delta\Omega_Z, \quad (2)$$

где $\hat{\Omega}_X, \hat{\Omega}_Z$ - оценки проекций угловой скорости земли на оси X и Z связанной с ПО СК, измеренные гироскопами; $\delta\Omega_X, \delta\Omega_Z$ - постоянные в запуске неизвестные дрейфы X и Z гироскопов, возможные значения которых лежат в известных диапазонах; $\Omega_X = \Omega \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\Psi)$, $\Omega_Z = -\Omega \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\Psi)$ - истинные значения проекций угловой скорости земли на оси X и Z связанной с ПО СК; φ - значение географической широты положения объекта; Ψ - истинное значение угла курса. Из-за наличия дрейфов датчиков угловой скорости (ДУС) с помощью метода гироскопирования можно получить оценку угла курса, но не его истинное значение.

Оценка угла курса $\hat{\Psi}$ связана со своим истинным значением Ψ :

$$\hat{\Psi} = \Psi + \delta\Psi,$$

где $\delta\Psi$ - ошибка определения угла курса.

Рассмотрим несколько возможных алгоритмов вычисления оценки угла курса, полученных на основе (1),(2):

$$\hat{\Psi} = \arccos\left(\frac{\hat{\Omega}_X}{\Omega \cdot \cos(\varphi)}\right) \cdot \text{sign}(\hat{\Omega}_Z), \quad (3)$$

$$\hat{\Psi} = \arcsin\left(\frac{-\hat{\Omega}_Z}{\Omega \cdot \cos(\varphi)}\right) \cdot \text{sign}(\hat{\Omega}_X), \quad (4)$$

$$\hat{\Psi} = \text{arctg}\left(\frac{-\hat{\Omega}_Z}{\hat{\Omega}_X}\right) \cdot \text{sign}(\hat{\Omega}_Z). \quad (5)$$

Основным отличием алгоритмов (3),(4) от (5) является использование информации о географической широте положения объекта φ . Поэтому нельзя сказать однозначно, какой из алгоритмов может дать более точную оценку угла курса, и, следовательно, представляет практический интерес получение для алгоритмов (3)-(5) гарантированных ошибок определения угла курса с целью выбора наилучшего.

Для получения выражений гарантированных ошибок можно использовать как линейную, так и нелинейную модели ошибок. В данной работе рассматривается нелинейная модель как более точная.

Зависимости ошибок определения угла курса для формул (3)-(5) соответственно имеют следующий вид:

$$\delta\Psi = \arccos\left(\frac{\Omega_X + \delta\Omega_X}{\Omega \cdot \cos(\varphi)}\right) \cdot \text{sign}(-\Omega_Z + \delta\Omega_Z) - \Psi, \quad (6)$$

$$\delta\Psi = \arcsin\left(\frac{\Omega_Z - \delta\Omega_Z}{\Omega \cdot \cos(\varphi)}\right) \cdot \text{sign}(\Omega_X + \delta\Omega_X) - \Psi, \quad (7)$$

$$\delta\Psi = \text{arctg}\left(\frac{-\Omega_Z + \delta\Omega_Z}{\Omega_X + \delta\Omega_X}\right) \cdot \text{sign}(-\Omega_Z + \delta\Omega_Z) - \Psi, \quad (8)$$

Формулы (6)-(8) в общем виде можно записать в виде функции:

$$\delta\Psi = \delta\Psi(\delta\Omega_X, \delta\Omega_Z, \Omega, \varphi, \Psi),$$

где $\delta\Omega_X$ и $\delta\Omega_Z$ являются переменными, а Ω , φ и Ψ - параметрами.

Таким образом, зная диапазоны изменения $\delta\Omega_X$ и $\delta\Omega_Z$ для заданных значений φ и Ψ можно найти значение гарантированной ошибки определения угла курса, найдя максимум:

$$\delta\Psi_{max} = \max_{\substack{|\delta\Omega_X| \leq \delta\Omega_{Xmax}, \\ |\delta\Omega_Z| \leq \delta\Omega_{Zmax}}} \{|\delta\Psi|\},$$

где $\delta\Psi_{max}$ - гарантированная ошибка определения угла курса, $\delta\Omega_{Xmax}$, $\delta\Omega_{Zmax}$ - граничные значения дрейфов $\delta\Omega_X$ и $\delta\Omega_Z$.

Получить аналитические выражения для вычисления $\delta\Omega_X$ и $\delta\Omega_Z$, которым будет соответствовать максимум $\delta\Psi_{max}$ довольно сложно, поэтому поиск максимума осуществлялся при помощи численных методов.

На рис.1 показаны графики гарантированных ошибок определения угла курса для формул (6)-(8) при $\varphi = 55$, $\delta\Omega_{Xmax} = \delta\Omega_{Zmax} = 1$ град/час.

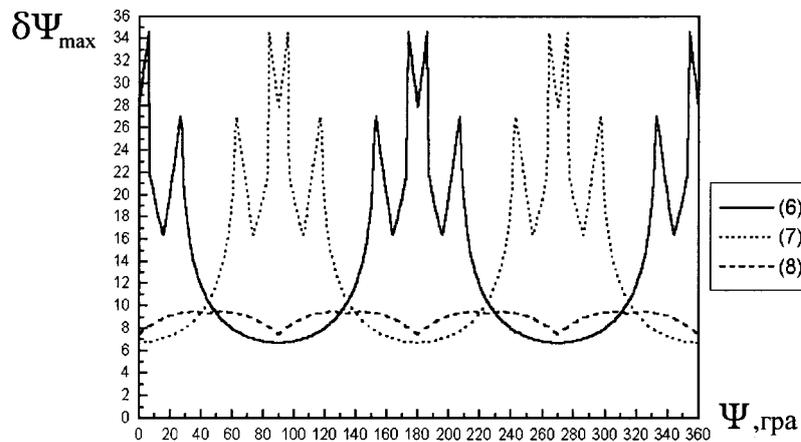


Рис. 1.

Как видно из рисунка 1, при одинаковых границах изменения дрейфов по осям X и Z, наилучшим оказался алгоритм (8) во всем диапазоне истинного угла курса. Рассмотрим случай, когда вдоль одной из осей (X или Z), расположен более точный датчик. На рис.2 показаны графики гарантированных ошибок определения угла курса для формул (6)-(8) при $\varphi = 55$, $\delta\Omega_{Xmax} = 1$ град/час, $\delta\Omega_{Zmax} = 0,1$ град/час.

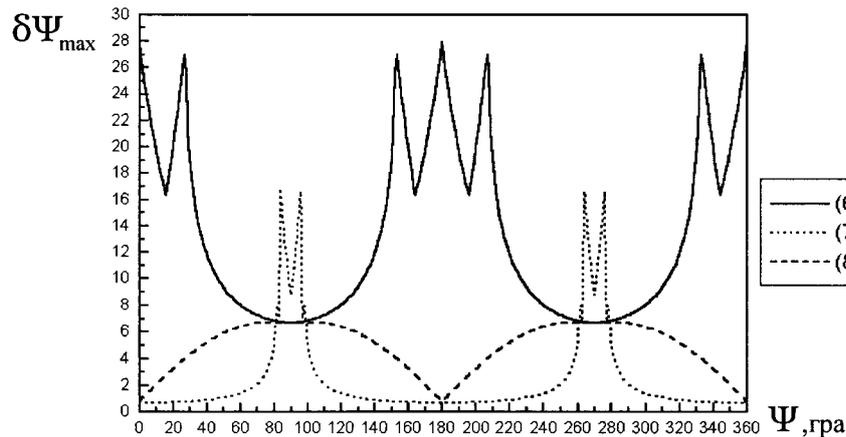


Рис. 2.

Из рисунка 2 видно, что в среднем более точным оказался алгоритм (7). Однако в окрестности значений угла курса – 90 и 270 градусов алгоритм (8) дает более точную оценку.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при одинаковой точности гироскопов для определения угла курса следует применять алгоритм (8). Если же один из гироскопов априори точнее (в данном случае по координате Z), целесообразно использовать комбинацию двух алгоритмов (7) и (8).

Литература

1. Степанов о. А. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации // гироскопия и навигация. – 2002. -№1(36).- с. 23-45.

УДК 539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕТОНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ОСЛАБЛЕННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Сало В.А., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The problem about the stressed state of cylindrical shells with rectangular holes under axial compression is solved by variational method. R-functions theory, reissner's variational principle, the common equations of the three-dimensional theory of an elasticity and i.n.vekuia's method are used in method. Efficiency of method is shown on examples.

Ответственные оболочечные элементы машиностроительных конструкций нередко по технологическим или конструктивным соображениям ослаблены отверстиями различных размеров и формы. Концентрация напряжений вблизи отверстий существенно влияет на несущую способность конструкций и должна учитываться при расчете их прочности и жесткости.

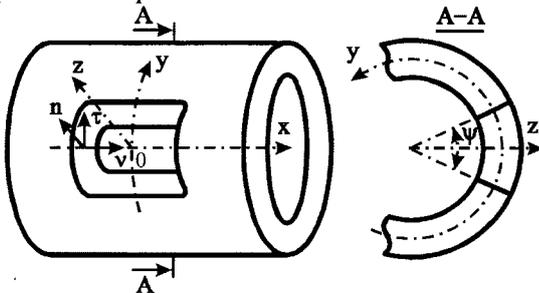


Рис.1. Цилиндр с прямоугольным отверстием.

Рассмотрим полый цилиндр длины $2L$ и произвольной толщины h (рис.1). Введем в его срединной поверхности радиуса R ортогональную систему координат (x, y, z) с началом в центре прямоугольного отверстия с закругленными углами радиуса r . Координатные линии x и y совпадают с его линиями главных кривизн. Цилиндр находится под действием приложенных к его торцам сжимающих усилий P , интенсивность которых $p = P/2\pi Rh$. В виду симметрии формы отверстия и вида нагружения относительно плоскостей $x=0$ и $y=0$ определение напряженно-

деформированного состояния оболочки сводится к расчету (в плане) упругой области Ω - периодической цилиндрической панели $ABCDEFG$ (рис.2).

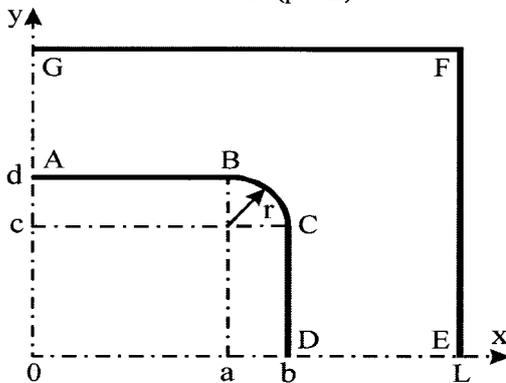


Рис.2. Расчетная область.

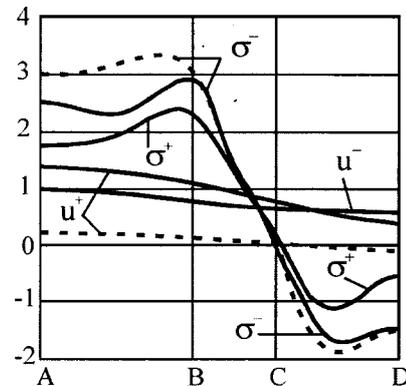


Рис.3. Графики искомых величин.

Введем обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{01} &= x^2/a^2 - 1; \omega_{02} = x^2/b^2 - 1; \omega_{03} = y^2/c^2 - 1; \omega_{04} = y^2/d^2 - 1; \\ \omega_{ij} &= [x + (-1)^i a]^2 / r^2 + [y + (-1)^j c]^2 / r^2 - 1; \text{ при } i, j = 1, 2. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Уравнения граничных поверхностей $\partial\Omega_0, \partial\Omega_1$ и $\partial\Omega_2$ исследуемой области Ω определяются функциями ω_0, ω_1 и ω_2 :

$$\left. \begin{aligned} \omega_0 &= ((\omega_{01} \wedge_0 \omega_{03}) \vee_0 (\omega_{02} \vee_0 \omega_{04})) \wedge_0 (\omega_{11} \vee_0 \omega_{12} \vee_0 \omega_{21} \vee_0 \omega_{22}); \\ \omega_1 &= 1 - x^2/L^2; \quad \omega_2 = 1 - y^2/(\pi R/N)^2, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где \wedge_0, \vee_0 - символы R-операций, N - число отверстий вдоль линии y .

Пусть поверхность $\partial\Omega_0$ и лицевые поверхности цилиндра свободны от внешних усилий и моментов, а на $\partial\Omega_2$ выполнены условия периодичности. Тогда сформулированные через компоненты вектора перемещений u и тензора напряжений σ краевые условия имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{vv} = 0, \sigma_{v\tau} = 0, \sigma_{vn} = 0 \text{ на } \partial\Omega_0; \quad \sigma_{11} = -p, \sigma_{12} = 0, \sigma_{13} = 0 \text{ на } \partial\Omega_1; \\ u_2 = 0, \sigma_{12} = 0, \sigma_{23} = 0 \text{ на } \partial\Omega_2; \quad \sigma_{13} = 0, \sigma_{23} = 0, \sigma_{33} = 0 \text{ при } |z| = h/2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для решения исследуемой краевой задачи воспользуемся методом [1], основанным на применении вариаци-

онного принципа Рейсснера, общих уравнений трехмерной теории упругости, метода И.Н.Векуа, теории R-функций и алгоритма двусторонней оценки точности решений смешанных вариационных задач [2]. Размеры отверстия считаются произвольными.

Представим независимые между собой и точно удовлетворяющие условиям (3) искомые компоненты u и σ в виде рядов:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \sum_{i=0}^{l_x} \sum_{j=0}^{l_y} \sum_{k=0}^{l_z-1} u_1^{ijk} S_i(x) C_j(y) P_k(\zeta); & u_2 &= \sum_{i=0}^{l_x} \sum_{j=0}^{l_y} \sum_{k=0}^{l_z-1} u_2^{ijk} C_i(x) S_j(y) P_k(\zeta); \\ u_3 &= \sum_{i=0}^{l_x} \sum_{j=0}^{l_y} \sum_{k=0}^{l_z-1} u_3^{ijk} C_i(x) C_j(y) P_k(\zeta); \\ \sigma_{11} &= -\omega_4 p + f_2^2 \omega_5 T_1 + \omega_0 \omega_1 \sum_{i=0}^{m_x} \sum_{j=0}^{m_y} \sum_{k=0}^{l_{11}-1} \sigma_{11}^{ijk} C_i(x) C_j(y) P_k(\zeta); \\ \sigma_{22} &= f_1^2 \omega_5 T_1 + \omega_0 \sum_{i=0}^{m_x} \sum_{j=0}^{m_y} \sum_{k=0}^{l_{22}-1} \sigma_{22}^{ijk} C_i(x) C_j(y) P_k(\zeta); \\ \sigma_{12} &= -f_1 f_2 \omega_5 T_1 + \omega_0 \omega_1 \sum_{i=0}^{m_x} \sum_{j=0}^{m_y} \sum_{k=0}^{l_{12}-1} \sigma_{12}^{ijk} S_i(x) S_j(y) P_k(\zeta); \\ \sigma_{13} &= f_2 \omega_5 T_2 + \omega_0 \omega_1 \omega_3 \sum_{i=0}^{m_x} \sum_{j=0}^{m_y} \sum_{k=0}^{l_{13}-1} \sigma_{13}^{ijk} S_i(x) C_j(y) P_k(\zeta); \\ \sigma_{23} &= -f_1 \omega_5 T_2 + \omega_0 \omega_3 \sum_{i=0}^{m_x} \sum_{j=0}^{m_y} \sum_{k=0}^{l_{23}-1} \sigma_{23}^{ijk} C_i(x) S_j(y) P_k(\zeta); \\ \sigma_{33} &= \omega_3 \sum_{i=0}^{m_x} \sum_{j=0}^{m_y} \sum_{k=0}^{l_{33}-1} \sigma_{33}^{ijk} C_i(x) C_j(y) P_k(\zeta), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $C_i(x), C_j(y)$ и $S_i(x), S_j(y)$ - четные и нечетные функции x и y ;

$$\left. \begin{aligned} \zeta &= 2z/h; T_g = \sum_{i=0}^{l_x} \sum_{j=0}^{l_y} \sum_{k=0}^{2-g} T_g^{ijk} C_i(x) C_j(y) P_k(\zeta) \text{ при } g=1,2; \\ \omega_3 &= 1 - \zeta^2; \omega_4 = \omega_0 / (\omega_0 + \omega_1); \omega_5 = \omega_1 \omega_2 / (\omega_0 + \omega_1 \omega_2). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь $P_k(\zeta)$ - полиномы Лежандра; $u_p^{ijk}, \sigma_{ps}^{ijk}, T_g^{ijk}$ ($p, s=1,2,3; g=1,2$) - искомые постоянные, а числа l_i, l_{ij} ($i, j=1,2$) аппроксимаций компонент u и σ по толщине оболочки определяют ее сдвиговую модель, выбор которой соответствует заданию комбинации величин $(l_1, l_3, l_{ij}, l_{i3}, l_{33})$. Так, вариант (2,1,2,1,0) соответствует теории типа Тимошенко, а (4,3,4,1,2) - теории [3]. Направляющие косинусы f_1 и f_2 нормали ν (рис.1) необходимы для выполнения краевых условий (3) на поверхности $\partial\Omega_0$ отверстия.

После подстановки (4) в вариационное уравнение Рейсснера I_R задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно постоянных $u_p^{ijk}, \sigma_{ps}^{ijk}, T_g^{ijk}$, по значениям которых вычисляются все характеристики напряженно-деформированного состояния упругой области.

Численная реализация задачи выполнена для не тонкого цилиндра с параметрами (размеры в мм): $h=9$; $R=27$; $L=50$; $b=12.5$; $r=3$. Расчеты выполнены как для изотропного материала (модель 2 [4]: $\psi=\pi/4$; $N=2$; $E_{ii}=26.18 \text{ МПа}$; $\nu_{ij}=0.5$), так и ортотропного стеклопластика АСТТ(σ)-С₂-О и ПН-3 ($E_{11}=1.79 E_0$; $E_{22}=1.31 E_0$; $E_{33}=0.43 E_0$; $G_{12}=0.28 E_0$; $G_{23}=G_{31}=0.24 E_0$; $E_0=9.81 \text{ ГПа}$; $\nu_{12}=0.15$; $\nu_{23}=0.31$; $\nu_{31}=0.08$).

На рис.3 (сплошными линиями для изотропной оболочки, а штриховыми - ортотропной) показано распределение перемещений $u = u_3 E/pR$ и напряжений $\sigma = \sigma_{\tau\tau} / \sigma_H$ ($\sigma_H = -p$) на контуре отверстия при $z = -h/2$ и $z = h/2$ (соответственно u^-, σ^- и u^+, σ^+) в случае применения модели [3].

Графики рис.3 показывают, что максимальные напряжения σ_{\max} возникают в окрестности точки B угловой зоны отверстия и для изотропного цилиндра принимают по его толщине значения: $\sigma_{\max}^- = 2.939$;

$\sigma_{max}^0 = 2.674$ и $\sigma_{max}^+ = 2.383$ (данные эксперимента [4]: 2.9; 2.7 и 2.4). Отметим, что программно реализованный метод [2] двусторонней оценки точности численных результатов приводит к устойчивому характеру сходимости решений.

Анализ результатов подтверждает использование теории [3] для оболочек средней толщины, а также эффективность предложенного метода.

Литература

1. Сало В.А. Вариационно-структурный метод расчета ортотропных оболочек вращения с конечной сдвиговой жесткостью // Вестник ХГПУ. - 2000. - Вып.116. - С.113-117..
2. Морачковский О.К., Ромашов Ю.В., Сало В.А. О методе двусторонней оценки решений смешанных вариационных задач теории упругости // Информ. технологии. Сб. науч. трудов ХГПУ. - 1999. - Вып. 7. Ч.1. - С. 322-326.
3. Родионова В.А., Титаев Б.Ф., Черных К.Ф. Прикладная теория анизотропных пластин и оболочек. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-т, 1996. - 278 с.
4. Зирка А.И., Чернопиский Д.И. Экспериментальные исследования концентрации напряжений в толстых цилиндрических оболочках с прямоугольными отверстиями при осевом сжатии// Прикл. механика. - 2001. – 37, № 5. - С. 133-135.

УДК 621.833 : 515.2

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ НОВИКОВА ДЛЗ С АРОЧНОЙ ФОРМОЙ ЗУБЬЕВ

Матюшенко Н.В., канд. техн. наук, Зинченко А.В.

(г. Харьков, Украина)

Question of deciding the geometrical and kinematics parameters of the two action lines cylindrical Novikov gears with the arched form of tooth by means of duplex spread blade method is considered.

Не смотря на ряд бесспорных преимуществ, передачи Новикова имеют существенные недостатки. Главный из них заключается в том, что эти передачи не обкатные, следовательно, их зубья обязательно должны располагаться под определенным углом к образующей, отличным от 0 и 90 градусов. Наличие этого угла автоматически приводит к осевой составляющей нагрузки в контакте.

В эвольвентных передачах ранее этот недостаток устраняли за счет применения шевронных колес. В настоящее время появились новые зубчатые передачи, сочетающие в себе признаки шевронных и обычных. Это достигается за счет того, что форма зуба по длине изменяется и образует кривой зуб, типа арки, что позволяет более эффективно использовать зацепление Новикова.

Нарезание зубьев арочной формы в настоящее время производится с помощью резцовых головок радиуса R_u и поэтому шаг зацепления в осевом направлении носит переменный, круговинтовой характер. Конфигурация зуба по высоте в определенной мере формируется исходным контуром инструментальной рейки в обкаточном движении.

Как известно, параметры движения точек контакта взаимодействующих поверхностей зубьев являются характеристиками, необходимыми при определении кривизны поверхностей, условий подрезания, удельных скольжений и т.п.

В [1] решен вопрос о геометрии рабочих поверхностей арочных зубьев для передач, нарезаемых резцовой головкой.

В работе [2] рассмотрен вопрос об определении составляющих скоростей точки зацепления при движении ее вдоль контактных линий- одного из основных кинематических показателей для цилиндрических передач Новикова ДЛЗ с арочной формой зубьев, где вводят в рассмотрение две неподвижные ортогональные правые системы осей координат $O_1x_1y_1z_1$ и $O_2x_2y_2z_2$. Оси z_1 и z_2 в этих системах совпадают с осями вращения зубчатых колес, оси y_1 и y_2 совпадают между собой по направлению и лежат в плоскости, проходящей через оси вращения колес. Плоскости $x_1O_1y_1$ и $x_2O_2y_2$ - срединные, т.е. расположены на расстоянии $0.5b_w$ от торцов колес. Здесь b_w – ширина зубчатого венца. Исходя из вида уравнения рабочих поверхностей контактируемых зубьев, а также геометро-кинематической схемы зацепления для цилиндрических передач Новикова ДЛЗ с арочной формой зубьев получаем, что:

уравнения движения точек контакта на линиях зацепления:

-на доплюсной линии зацепления

в системе $O_1x_1y_1z_1$,

$$x_1 = -l \cos \alpha_k$$

$$y_1 = R_1 - l \sin \alpha_k$$

$$z_1 = \pm \sqrt{(2R_u - R_f \varphi_1) R_f \varphi_1 + q_{21}(\varphi_1)}$$

в системе $O_2x_2y_2$

$$x_1 = -l \cos \alpha_k$$

$$y_1 = -R_2 - l \sin \alpha_k$$

$$z_1 = \pm \sqrt{(2R_u - R_f \varphi_1) R_f \varphi_1 + q_{21}(\varphi_1)}$$

-на заплотной линии зацепления

в системе $O_1x_1y_1z_1$,

$$x_1 = l \cos \alpha_k$$

$$y_1 = R_1 + l \sin \alpha_k$$

$$z_1 = \pm \sqrt{(2R_u - R_a \varphi_1) R_a \varphi_1}$$

в системе $O_2x_2y_2z_2$

$$x_1 = l \cos \alpha_k$$

$$y_1 = -R_2 + l \sin \alpha_k$$

$$z_1 = \pm \sqrt{(2R_u - R_a \varphi_1) R_a \varphi_1}$$

где φ_1 - угол поворота шестерни; R_1, R_2 - радиусы начальных цилиндров шестерни и колеса, соответственно;

$l = \frac{h_3}{\sin \alpha_k}$ - расстояние между мгновенной осью вращения и линией зацепления; α_k - угол давления на исходном

контуре (ИК) инструментальной рейки, повторяющей профиль резца резцовой головки; h_3 - расстояние от номинальной точки контакта на ИК до начальной прямой; $q_{21}(\varphi_1)$ - осевое смещение между точками контакта, принадлежащими одному зубу на различных линиях зацепления, которое находится, согласно [3]; R_a, R_f - радиусы заплотного и доплотного контактных цилиндров;

Здесь имеется в виду, что при $\varphi_1=0$ точка зацепления имеет аппликату $z_1=z_2=0$.

Имея уравнения кантатных линий легко получить составляющие векторов движения точки контакта вдоль контактной линии.

В приведенных выражениях знак «+» выбирается, если рассматриваются точки прямой, расположенные над срединной плоскостью $x_1O_1y_1$, а знак «-»- в противоположном случае.

$$V_{x_1}^{\text{don}}(u) = -R_1 + l \sin \alpha_k$$

$$V_{x_1}^{\text{zan}}(u) = -(R_1 + l \sin \alpha_k)$$

$$V_{y_1}^{\text{don}}(u) = -l \cos \alpha_k$$

$$V_{y_1}^{\text{zan}}(u) = l \cos \alpha_k$$

$$V_{z_1}^{\text{don}}(u) = \pm \frac{R_f(R_u - R_f \varphi_1)}{\sqrt{(2R_u - R_f \varphi_1) R_f \varphi_1}} + \frac{\partial}{\partial \varphi_1}(q_{21}(\varphi_1))$$

$$V_{z_1}^{\text{zan}}(u) = \pm \frac{R_a(R_u - R_a \varphi_1)}{\sqrt{(2R_u - R_a \varphi_1) R_a \varphi_1}}$$

$$V_{x_2}^{\text{zan}}(\kappa) = -u_{12}(R_2 + l \sin \alpha_k)$$

$$V_{x_2}^{\text{don}}(\kappa) = u_{12}(-R_2 + l \sin \alpha_k)$$

$$V_{y_2}^{\text{zan}}(\kappa) = u_{12} l \cos \alpha_k$$

$$V_{y_2}^{\text{don}}(\kappa) = -u_{12} l \cos \alpha_k$$

$$V_{z_2}^{\text{zan}}(\kappa) = \pm \frac{R_f(R_u - R_f \varphi_1)}{\sqrt{(2R_u - R_f \varphi_1) R_f \varphi_1}} + \frac{\partial}{\partial \varphi_1}(q_{21}(\varphi_1))$$

$$V_{z_2}^{\text{don}}(\kappa) = V_{z_1}^{\text{zan}}(u)$$

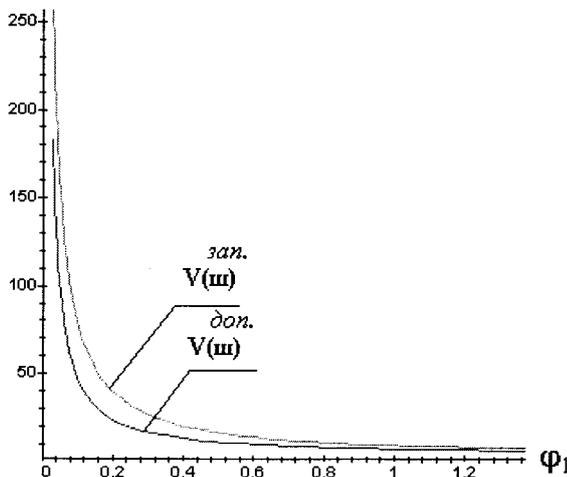
где u_{12} - передаточное число.

Аббревиатура $V_{x_1}^{\text{don}}(u)$ означает, что вычисляется проекция вектора скорости (на ось x_1) точки зацепления

при движении ее по доплотной контактной линии шестерни. Аналогично расшифровываются другие аббревиатуры. Отсюда получим выражения для абсолютных скоростей:

$$V^{\text{zan}}(\kappa) = \sqrt{u_{12}^2 R_a^2 + (V_{z_2}^{\text{zan}}(\kappa))^2}$$

$$V^{\text{don}}(\kappa) = \sqrt{R_f^2 + (V_{z_2}^{\text{don}}(\kappa))^2}$$



а) для шестерни

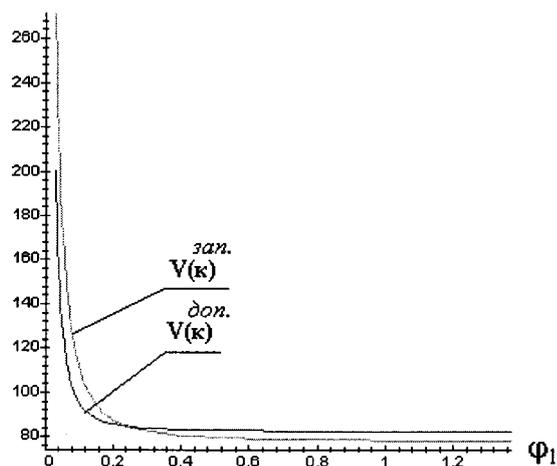


Рис.1.

б) для колеса

На основании компьютерной реализации вышеизложенных зависимостей получена графическая интерпретация (рис.1). Ее анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. В связи с пространственным характером кинематика относительного движения рабочих поверхностей арочных зубьев в зацеплении Новикова ДЛЗ качественно отличается от кинематики плоских систем зацепления, так как точка контакта перемещается только по длине зубьев и со скоростью значительно превышающей окружную скорость зубчатых колес. Следовательно, основным видом относительного движения рабочих поверхностей зубьев является качение.

2. Возникающее скольжение в зоне срединной плоскости значительно больше по величине, чем качение, в указанных условиях и оказывает заметное влияние на потери в зацеплении и износ зубьев. При изготовлении зубчатых колес Новикова ДЛЗ с арочной формой зуба рекомендуется эту зону удалять.

3. Высокая скорость движения точек контакта для арочных зубьев оказывает существенное влияние на размеры мгновенного пятна контакта пятна контакта. Этот факт необходимо учитывать в расчетах напряженно-деформированного состояния, а именно при выборе граничных условий, которые включают в себя распределение нагрузки по пятну. Поэтому методики предложенные в [4, 5] требуют уточнения.

4. Сочетание большой скорости качения и больших радиусов кривизны в направлении качения [1] создает благоприятные условия для образования масляной прослойки, толщина которой, как следствие, в несколько раз больше чем, например, в эвольвентном зацеплении.

Литература

1. Кириченко А.Ф., Матюшенко Н.В. Уравнение поверхности арочных зубьев цилиндрических передач Новикова ДЛЗ, нарезанных резцовой головкой.// Вестник ХГПУ.-1999. - №50. - С.118-127.
2. Кириченко А.Ф., Матюшенко Н.В. Основные кинематические характеристики цилиндрических передач Новикова ДЛЗ с арочной формой зубьев.// Вестник ХГПУ.-2000. - №109. - С.119-127.
3. Кириченко А.Ф., Матюшенко Н.В. Разработка методики определения степени перекрытия в цилиндрических передачах Новикова ДЛЗ с арочной формой зубьев.// Вестник ХГПУ.-1999. - №85. - С.89-95.
4. Коваленко Г.Д. Экспериментальное исследование контактной прочности цилиндрических зубчатых передач Новикова. М.:ЦИНТИАМ, 1964, вып.2, с.70-81
5. Краснощеков Н.Н., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Теория зацепления Новикова. М.:Наука, 1976, 174с.

УДК 621.664:621.833.62

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭПИЦИКЛОИДАЛЬНЫХ НАСОСОВ

Горбатюк Р.Н.

(г. Харьков, Украина)

In a paper is reduced an automatized procedure of development of pump with a epicycloid rotors shape. The problems of build-up of epicycloids, profiling of gears of the pump, selection of parameters of a profiling are surveyed.

Насосы с эпициклоидной формой ротора (героторные насосы) перед другими типами насосов имеют значительные преимущества: высокую износостойкость, малый вес, конструктивно относительно просты. Внешний ротор (колесо) размещается в расточке корпуса насоса, а ось вращения внутреннего ротора (шестерни) по отношению к оси вращения внешнего ротора смещена на величину эксцентриситета e . Профиль зубьев внешнего ротора составлен из дуг окружностей, а профиль зубьев внутреннего ротора является эквидистантой укороченной эпициклоиды (рис.1), образованную режущим инструментом диаметром Rt , ось которого перемещается по укороченной эпициклоиде L . Используя обозначения, приведенные на рис.1, запишем уравнение укороченной эпициклоиды L в параметрическом виде

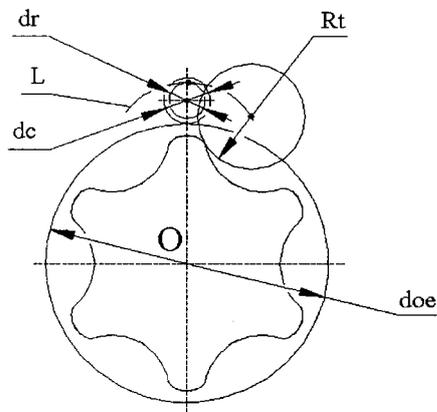


Рис. 1. Построение профиля шестерни.

$$\begin{cases} x_2 = \frac{doe + dc}{2} \cdot \cos \varphi - \lambda \cdot \frac{dc}{2} \cdot \cos \left(\frac{\varphi \cdot (doe + dc)}{dc} \right) \\ y_2 = \frac{doe + dc}{2} \cdot \sin \varphi - \lambda \cdot \frac{dc}{2} \cdot \sin \left(\frac{\varphi \cdot (doe + dc)}{dc} \right) \end{cases},$$

где φ – угол, которому будут соответствовать точки абсциссы x_2 и ординаты y_2 кривой L ; λ – коэффициент укорочения эпициклоиды.

Координаты точек профиля шестерни находятся как координаты точки (x_4, y_4) пересечения прямой, касательной к эпициклоиде, и производящей окружности, для чего необходимо решить систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} y_4 &= y_2 - \frac{\dot{x}_2}{\dot{y}_2} (x_4 - x_2) \\ x_4 &= x_2 \pm \frac{Rt}{\sqrt{1 + \left(\frac{\dot{x}_2}{\dot{y}_2}\right)^2}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

задавшись последовательностью угла φ от 0 до 2π .

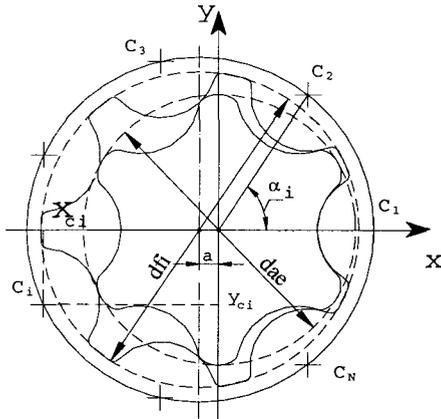


Рис. 2. Профиль колеса.

Для построения профиля колеса необходимо определить координаты центров окружностей зубьев колеса (точки C_i с координатами x_{ci}, y_{ci} на рис.2) и диаметр впадин зубьев колеса df_i . Зубья колеса представляют собой дуги окружностей с радиусом R_i , центры которых расположены на эписцилоиде L с шагом по углу α_i . Радиус R_i равен радиусу образующей окружности Rt . Координаты x_{ci} и y_{ci} определяются по формулам:

$$x_{ci} = x_2(\psi_i) = \frac{doe}{2 \cdot Ze} \cdot [(1 + Ze) \cdot \cos \psi_i - \lambda \cdot \cos(\psi_i \cdot (1 + Ze))],$$

$$y_{ci} = y_2(\psi_i) = \frac{doe}{2 \cdot Ze} \cdot [(1 + Ze) \cdot \sin \psi_i - \lambda \cdot \sin(\psi_i \cdot (1 + Ze))],$$

где ψ_i – угол для i -го зуба колеса.

Для определения диаметра df_i введем понятие минимального радиального зазора. Минимальный радиальный зазор – расстояние между вершиной шестерни и впадиной колеса в положении, когда точки центра колеса, центра шестерни и вершины лежат на одной прямой. Точка середины впадины колеса при этом также лежит на этой же прямой.

Задавшись величиной минимального радиального зазора, определяем диаметр впадин зубьев колеса df_i

$$df_i = dae + 2 \cdot (\delta_{dra} + e),$$

где dae – диаметр окружности вершин шестерни;

δ_{rad} – заданная величина минимального радиального зазора.

Диаметр окружности вершин шестерни dae определяется по формуле

$$dae = doe + dc + dr - 2 \cdot Rt.$$

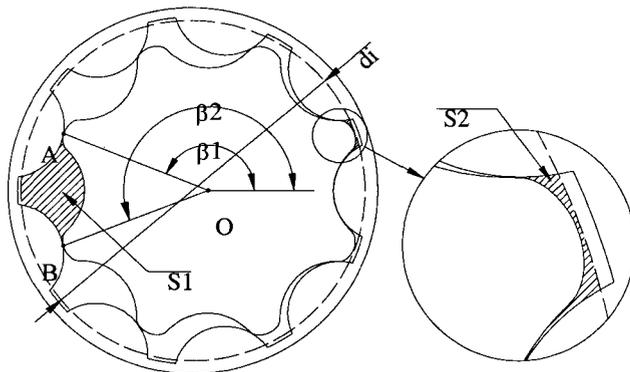


Рис. 3. Определение удельного объема насоса.

Для исключения заклинивания роторов и сведения к минимуму объемных утечек необходимо обеспечить требуемый зазор в зацеплении δ_{mp} . Зазором в зацеплении δ_i для i -го зуба колеса будем называть наименьшее расстояние между i -м зубом колеса и профилем шестерни при условии, что колесо сдвинуто влево относительно центра шестерни до полного контакта первого зуба колеса с шестерней. Задавшись требуемым значением зазора δ_{mp} для i -го зуба колеса можно подобрать такой допуск si для радиуса дуги Ri^{-si} и радиуса производящей окружности Rt^{+si} , округленный до микрон, чтобы полученное значение δ_i максимально соответствовало δ_{mp} .

Варьирование значения si целесообразно осуществлять, используя один из алгоритмов одномерной оптимизации. Целевой функцией при этом будет

$$Get\delta_i(si) = |\delta_i - \delta_{rad}|.$$

В общем виде задача определения допуска si для получения зазора δ_{mp} для i -го зуба имеет вид

$$\begin{cases} si = \arg \min_{si \in [0; 0.05 \cdot Rt]} Get\delta_i(si); \\ Rt = Rt^* + si; \\ Ri = Rt^* - si. \end{cases}$$

Вычисление зазора δ_i осуществляется с использованием алгоритма оптимизации функции двух переменных методом покоординатного спуска.

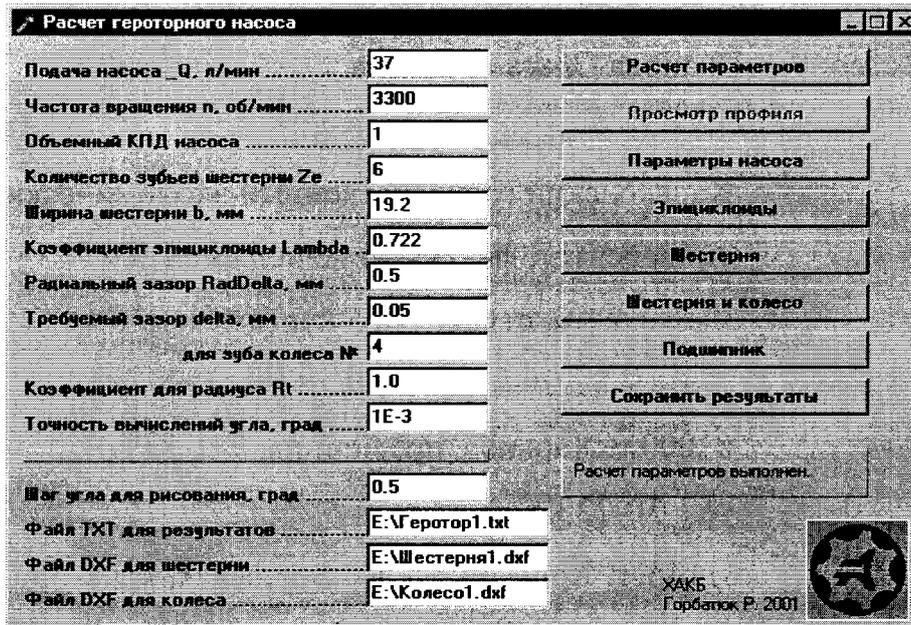


Рис. 4. Главная форма программного средства Gerotor.

Решив задачу расчета зазора δ_i между зубом колеса и шестерней для всех зубьев колеса, получим значение зазора для всех зубьев, а также набор значений углов φ_e и φ_i , идентифицирующих точки «касания» шестерни и зубьев колеса.

Геометрическая подача Q спрофилированного насоса с внеэциклоидальным зацеплением является функцией эксцентриситета расположения шестерен e . Для проектирования насоса на требуемую подачу Q_{mp} необходимо выполнить оптимизацию функции одной переменной. При этом варьирование эксцентриситета e осуществляется по методу золотого сечения, а целевая функция будет

$$GetQ(e) = |Q - Q_{mp}|.$$

В общем виде задача оптимизации запишется следующим образом

$$l = \arg \min_{0 \leq l \leq l_{max}} GetQ(l),$$

где e_{max} – максимальное значение эксцентриситета.

Удельный объем (геометрическая подача) героторного насоса определяется по формуле

$$q = Ze \cdot S \cdot b,$$

где S – площадь между шестерней и колесом насоса, определяющая удельный объем насоса; b – ширина.

Площадь S равна разности общей площади $S1$ и площади "мертвого" объема $S2$ (рис. 3). Для вычисления площади $S1$ определяется площадь $S1_i$, фигуры, ограниченной отрезками OA , OB , а также профилем зубьев колеса между этими отрезками и окружностью d_i , равной диаметру окружности впадин зубьев колеса без учета радиального зазора. Далее вычисляется площадь $S1_e$, фигуры, ограниченной отрезками OA , OB , а также профилем шестерни между этими отрезками. Площадь $S1$ будет равна $S1 = S1_i - S1_e$. При этом точки $A(x_a, y_a)$ и $B(x_b, y_b)$ (рисунок 3) на отрезках OA и OB представляют собой места касания зубьев колеса и шестерни, координаты которых определяются по зависимостям (1) для углов φ_e , полученных при определении зазора в зацеплении. Значения углов β_1 и β_2 определяются по координатам точек A и B . Разбив фигуры, площадь которых необходимо вычислить, на треугольники с вершинами в точке O определяем методом численного интегрирования площади $S1_i$ и $S1_e$, а следовательно и площадь $S1$. Значение площади $S2$ находим аналогично площади $S1$.

Следует отметить, что расчет производительности по описанной выше методике будет некорректным при нечетном количестве зубьев шестерни Z_e , так как площадь $S1$ не достигнет своего максимального значения. Для корректного определения площади $S1$ шестерню необходимо повернуть по часовой стрелке на половину угла между зубьями шестерни. Колесо при этом повернется на половину угла между зубьями колеса.

По предложенной в алгоритмическом виде методике в среде Delphi разработано и внедрено в производство программное средство Gerotor для автоматизированного расчета героторного насоса. Программное средство (рис. 4) в процессе расчета насоса позволяет визуально проследить влияние различных параметров профилирования на роторы насоса, а также сгенерировать файлы формата DXF с чертежами профилей роторов для последующего их импортирования в системы AutoCAD, SolidWorks и др.

УДК 62-82

АНАЛИЗ БЕЗОТКАЗНОСТИ НАСОСА-ДОЗАТОРА НД-450

Горбатюк Н.В., канд. техн. наук, Горбатюк Р.Н.

(г. Харьков, Украина)

Software tool of reliability analysis of engineering systems using table method is described. Results of automatized quantitative analysis of dosing pump НД-450 are produced.

В настоящее время современные системы автоматического управления ГТД выполняются в электронном профиле с полной ответственностью. Переход к архитектуре системы управления без гидромеханического резерва следует рассматривать как стратегическую цель, позволяющую достичь максимальную массо-габаритную эффективность, улучшить точность регулирования и повысить надежность. Например, наработка на выключение зарубежных ГТД в полете составляет около 10^6 часов. При определении тактики такого перехода целесообразно учитывать накопленный опыт и реальное состояние отечественной промышленности, исходить из назначения и типа двигателя. Для выполнения этого требования с позиции безопасности эксплуатации необходимо пройти промежуточный этап в развитии структуры системы. В его качестве предлагается, разработанный в Харьковском агрегатном конструкторском бюро (рисунок 1), вариант насоса-дозатора НД-450. Он является гидромеханической частью системы управления расходом топлива ГТД АИ-450, выполнен с упрощенным гидромеханическим резервом и минимизированным объемом реализуемых им функций. В предложенной схеме насоса-дозатора основной канал построен на плоском дозаторе с непосредственным приводом от двухканального электромеханического преобразователя, а резервный выполнен на базе временного автомата приемистости, который обеспечивает дроссельную характеристику, а также характеристики приемистости и сброса газа двигателя.

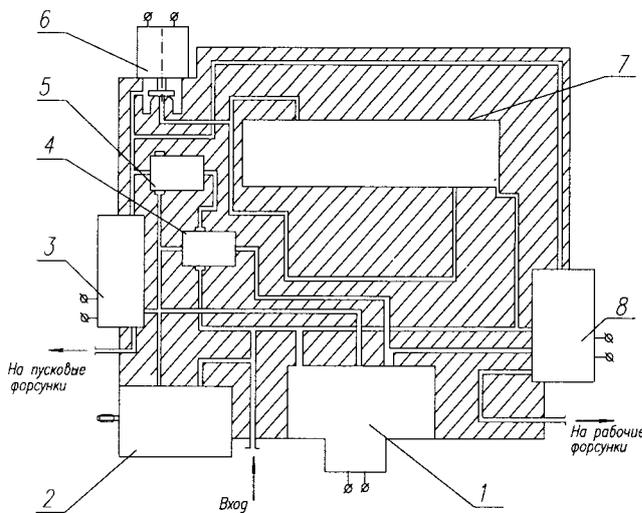


Рис. 1. Схема насоса-дозатора НД-450:

- 1-ПЭМ с узлом дозирования; 2-насос; 3-дозатор пускового топлива; 4-клапан постоянного перепада; 5-клапан постоянного давления; 6-электромагнитный клапан; 7-резервный канал; 8-узел останова.

Для количественного анализа безотказности схемного решения насоса – дозатора применяется матричный метод расчета безотказности [1], позволяющий оценить надежность узлов НД-450 с учетом различных комбинаций отказов элементов. С этой целью введем следующие обозначения состояний НД-450, возникающих в результате отказов элементов агрегата: R_1 – отказ дозатора пускового топлива; R_2 – отказ блока останова; R_3 – отказ основного канала управления; R_4 – отказ гидромеханического резерва; R_5 – отказ насоса-дозатора; R_6 – отказы R_1, R_2, R_3 одновременно; R_7 – отказы R_1, R_3 одновременно; R_8 – отказы R_1, R_4 одновременно; R_9 – отказы R_2, R_3 одновременно; R_{10} – отказы R_2, R_4 одновременно; R_{11} – отказы R_1, R_2 одновременно;

Обозначим отказ s_m -го и s_n -го элементов системы $H(s_m; s_n)$. Тогда целью матричного метода является определение вероятностей возникновения различных состояний системы R_i , определяемых совокупностью отказов $H(s_m; s_n)$. Для этого составляется квадратная матрица несовместных состояний A , в которой каждый элемент $A_{m,n}$ обозначает отказ $H(s_m; s_n)$ и содержит соответствующее этому отказу обозначение состояния системы R_i . Если последовательность отказов элементов в одной паре независима, матрица несовместных состояний симметрична относительно главной диагонали, поэтому при расчете достаточно рассмотреть одну ее половины.

Вероятность перехода системы в состояние R_i (вероятность соответствующих отказов) за 1 час полета $P(R_i)$ определяется по формуле

$$P(R_i) = \sum_{b=1}^{k_i} (Q_m \cdot Q_n), \quad (1)$$

где k_i – количество сочетаний отказов, приводящих к R_i состоянию;

m, n – номера элемента s_m (соответствует строке m матрицы несовместных состояний) и элемента s_n (соответствует столбцу n матрицы), совместный отказ которых приводит систему в состояние R_i ;

Q_m, Q_n – вероятности отказов соответственно элементов s_m и s_n , определяются по формуле

$$Q_{m(n)} = n_{m(n)} \cdot \lambda_{m(n)}, \quad (2)$$

где $n_{m(n)}$ – количество расчетных элементов $s_{m(n)}$;
 $\lambda_{m(n)}$ – базовая интенсивность отказов $m(n)$ -го элемента.

Для главной диагонали матрицы (единичные отказы) формула (1) переписывается в виде

$$P(R_i) = n_m \cdot Q_m, \quad (3)$$

Таким образом, даже при небольшом количестве элементов в системе матрица несовместных состояний будет содержать значительное число элементов. Помимо матрицы необходимо обрабатывать большой объем других числовых данных, имеющих сложную внутреннюю организацию. Поэтому для оценки функциональной надежности насоса-дозатора НД-450 были разработаны алгоритм [2] и программное средство Schemes (рис. 2), в котором реализована методика анализа безотказности технических систем табличным методом. Программа написана на языке программирования Object Pascal в среде Delphi 4.0 и функционирует в операционной системе Windows.

Обмен информацией с пользователем осуществляется в диалоговом режиме. Используемые программой данные могут быть классифицированы в 3 вида:

- а) общие данные – файлы для хранения исходных данных и результатов расчета, сведения о режимах функционирования системы, перечень возможных состояний системы при отказах элементов (R_i);
- б) данные об элементах системы;
- в) матрица несовместных состояний.

Работа с данными из первых двух пунктов реализуется с использованием стандартных элементов интерфейса для программ, работающих под Windows: диалоговые окна открытия файлов, окна, поля ввода, списки и др. Пользователю предоставляется возможность свободно корректировать числовые данные, добавлять и удалять элементы системы, изменять имена файлов.

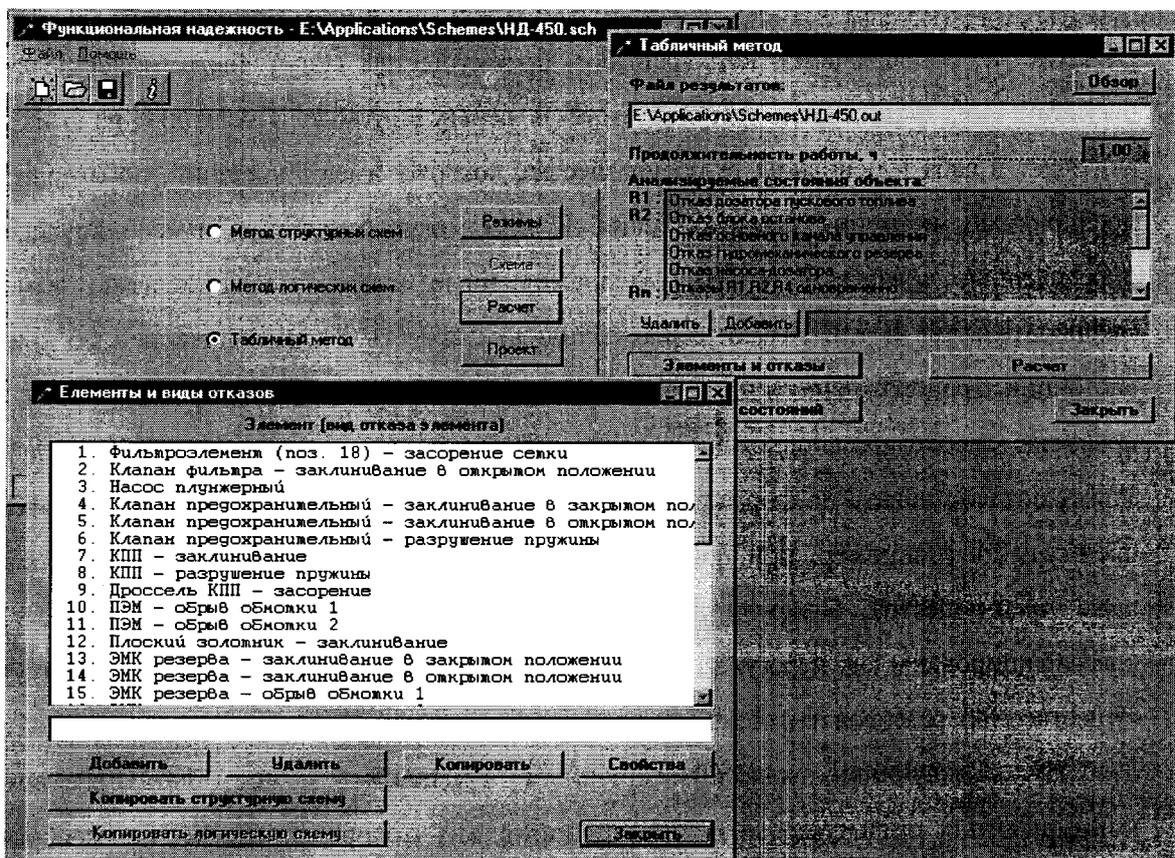


Рис. 2. Формы программы Schemes.

Основная сложность возникает при работе с матрицей несовместных состояний из-за ее большой размерности. Для ввода данных необходимо каждую ячейку матрицы представлять как поле ввода (класс TEdit) или, что является более удобным для пользователя, как выпадающий список (класс TComboBox). При значительном количестве объектов, создаваемых одновременно в одном окне, программа занимает практически все ресурсы компьютера и приводит к сбоям в работе с памятью.

Для решения проблемы ввода большого количества данных была выбрана концепция применения баз данных. Современные системы управления базами данных могут эффективно работать с большими объемами информации, а Delphi имеет встроенную поддержку доступа и управления базами данных (компонент Table). Для сопровождения базы данных выбрана одна из самых распространенных систем данного вида MSAccess 7.0.

Структурно база данных содержит две таблицы с именами DbSostNames и DbTabSost. Таблица DbSostNames предназначена для хранения названий состояний системы, а таблица DbTabSost – для хранения матрицы несовместных состояний. Поля таблицы DbTabSost отформатированы как поля с подстановкой данных из таблицы DbSostNames и пользователь при заполнении матрицы несовместных состояний выбирает из выпадающего списка нужные состояния.

При открытии окна программного средства для анализа надежности матричным методом создается связь между файлом базы данных и специализированным полем в окне, предназначенным для хранения OLE объектов. При этом в поле появляется значок файла базы данных. Для ввода информации в матрицу несовместных состояний достаточно выполнить двойной щелчок мышью на значке файла. Это действие приведет к запуску MSAccess и открытию таблицы DbTabSost. При нажатии кнопки «Подготовить» будет выполнено заполнение полей таблицы DbSostNames и DbTabSost уже имеющимися данными. При нажатии кнопки «Сохранить» информация из базы данных будет передана для дальнейшей обработки в программное средство.

Обмен информацией между программным средством и базой данных реализуется через коллекцию подпрограмм и услуг, которые становятся доступны при установленной на компьютере «машине» баз данных Borland Database Engine (BDE).

По результатам количественного анализа безотказности насоса-дозатора НД-450 получены следующие вероятности возникновения отказных ситуаций R_i : $P(R_1) = 1,70 \cdot 10^{-7}$; $P(R_2) = 1,97 \cdot 10^{-7}$; $P(R_3) = 6,50 \cdot 10^{-8}$; $P(R_4) = 2,90 \cdot 10^{-7}$; $P(R_5) = 6,10 \cdot 10^{-7}$; $P(R_6) = 2,00 \cdot 10^{-8}$; $P(R_7) = 1,11 \cdot 10^{-14}$; $P(R_8) = 4,93 \cdot 10^{-7}$; $P(R_9) = 1,28 \cdot 10^{-14}$; $P(R_{10}) = 5,71 \cdot 10^{-14}$; $P(R_{11}) = 3,35 \cdot 10^{-14}$.

Качественный анализ безотказности схемного решения упрощенного гидромеханического резерва показывает, что предложенная система обеспечивает переход с основного на резервное управление без скачков расхода топлива в ГТД, наибольшую простоту преобразования команды управления в изменение положения элемента, дозирующего подачу топлива. Объем резервного управления достаточен для завершения полета вертолета Ка-226 в любых условиях, а длительность перехода с основного на резервное управление достаточна для выполнения летчиком необходимых действий по управлению двигателем при отказе основного управления. При этом средняя наработка на отказ насоса-дозатора равна $2,4 \cdot 10^5$ ч, а требуемая ТЗ $2,0 \cdot 10^5$ ч.

Литература

1. Надежность гидравлических систем воддушных судов / Т.М.Башта, В.Д.Бабанская, Ю.С.Головки и др.; Под ред. Т.М.Башты. – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.
2. Горбатюк Р.Н. Алгоритм анализа безотказности систем методом логических схем // Вісник інженерної академії України. Спеціальний випуск 2000. – Харьков. – 2000. – С. 572-574.

УДК 519.21

НЕПЕРЕРВНА ФРАКТАЛЬНА ФУНКЦІЯ $y = F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}$

Працьовитий М.В. докт. фіз.-мат. наук, Комкова О.А.

(м. Київ, м Одеса, Україна)

In work the proof of a correctness of definition and continuity of fractal function is conducted, the significance of this function in a point $x = 0$ is found.

Означимо функцію $F(x)$ рівністю

$$y = F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}, \quad (*)$$

де $\alpha_k(x)$ – k -та двійкова цифра x , тобто $x = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k(x)}{2^k}$, $\alpha_k(x) \in \{0;1\}$, p_0 – фіксоване число $0 < p_0 < 1$;

$$p_1 = 1 - p_0.$$

Знайдемо значення функції в точці $x = 0$:

$$y = F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} = p_0 + p_0^2 + p_0^3 + p_0^4 + \dots = \frac{p_0}{1 - p_0} = \frac{p_0}{p_1}.$$

Коректність означення функції $F(x)$ буде обґрунтованою, якщо буде доведено, що формула (*) даватиме однакові результати для двох різних зображень двійково - раціональних чисел:

$$x_0 = \Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_k}(0) = \Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1}}(0) = \Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1}}(0(1)).$$

Очевидно, що це одне й теж зображення одного й того ж числа:

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{1}{2^k} = \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{0}{2^k} + \left[\frac{1}{2^{k+1}} + \frac{1}{2^{k+2}} + \dots \right] = \\ & = \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{0}{2^k} + \left[\frac{1}{2^{k+1}} \right] = \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{1}{2^k}. \\ & F(\Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1} 1(0)}) = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 p_0 + \dots = \\ & = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} (p_1 + p_1 p_0 + p_1 p_0^2 + \dots) = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + \frac{p_1 p_0}{1-p_0} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} = \\ & = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}. \end{aligned}$$

З іншого боку

$$\begin{aligned} & F(\Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1} 0(1)}) = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 p_1 + \dots = \\ & = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} (p_0 + p_1 p_0 + p_1^2 p_0 + \dots) = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + \frac{p_1 p_0}{1-p_1} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} = \\ & = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}. \end{aligned}$$

Теорема . Функція $F(x)$ є неперервною.

Доведення. Нехай $x_0, x \in (0;1)$, тоді існує таке k , що $\begin{cases} \alpha_i(x) = \alpha_i(x_0) \\ \alpha_k(x) \neq \alpha_k(x_0) \end{cases}, i = \overline{1, k-1}$.

Тобто

$$\begin{aligned} & x_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{k-1} \alpha_{k_1} \alpha_{k_2} \alpha_{k_3} \dots, \quad x = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{k-1} \alpha_{i_1} \alpha_{i_2} \alpha_{i_3} \dots \\ & F(x_0) = p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2} (p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3} (p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_4} (p_{\alpha_3} p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{k-1}} (p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \\ & \quad + p_{\alpha_{k_1}} (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_{k_2}} (p_{\alpha_{k_1}} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots \\ & F(x) = p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2} (p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3} (p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_4} (p_{\alpha_3} p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{k-1}} (p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \\ & \quad + p_{\alpha_{i_1}} (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_{i_2}} (p_{\alpha_{i_1}} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots \end{aligned}$$

Тоді

$$\begin{aligned} & |F(x) - F(x_0)| = (p_{\alpha_{i_1}} (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) - p_{\alpha_{k_1}} (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1})) + \\ & \quad + (p_{\alpha_{i_2}} (p_{\alpha_{i_1}} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) - p_{\alpha_{k_2}} (p_{\alpha_{k_1}} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1})) + \dots = \\ & \quad = (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) (p_{\alpha_{i_1}} - p_{\alpha_{k_1}}) + (p_{\alpha_{i_2}} p_{\alpha_{i_1}} - p_{\alpha_{k_2}} p_{\alpha_{k_1}}) + \dots = \\ & = \prod_{i=1}^{k-1} p_{\alpha_i} (p_{\alpha_{i_1}} - p_{\alpha_{k_1}}) + (p_{\alpha_{i_2}} p_{\alpha_{i_1}} - p_{\alpha_{k_2}} p_{\alpha_{k_1}}) + \dots \leq (p_{\max})^{k-1} \rightarrow 0, \text{ якщо } k \rightarrow \infty; \\ & \quad p_{\max} = \max\{p_0, p_1\}, \end{aligned}$$

що рівносильно неперервності $F(x)$ в точці x .

Теорему доведено.

Література

1. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. труды 5-й международной научно-технической конференции, 28 - 29 мая 2002 г. - Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 г. - 771с.
2. Турбин А.Ф., Працевитый Н.В. Фрактальные множества, функции, распределения, - К., Наукова думка, 1992 - 207с.
3. Працевитый М.В. Фрактальный підхід у дослідженнях сингулярних розподілів, - К., НПУ імені М.П. Драгоманова, 1998 - 296с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Листопад И.А., канд. техн. наук, Влащенко Г.И., канд. техн. наук, Гончаренко Г.И., канд. техн. наук, Миняйло А.В., канд. техн. наук, Лукьянов И.М.

(г. Харьков, Украина)

Steel-wire Ropes Resilient Characteristics Studies. I.A. Listopad, G.I. Vlashenko, I.G. Goncharenko, A.V. Miniailo, I.M. Lukianov. The research done allowed to obtain an equation for spinning rigidity of steel – wire ropes.

Изгибная жёсткость для различных конструкций и диаметров канатов определяется по зависимости проф. М.Ф. Глушко и Б.С. Ковальского [1].

Что касается величины крутильной жёсткости, этот вопрос вообще, насколько нам известно, не рассматривался. В связи с этим нами выполнены эксперименты на специально разработанной лабораторной установке [2] и на промышленном стенде.

Основным видом испытаний было принудительное кручение каната с приложением растягивающей нагрузки, что отражает наиболее вероятные случаи его нагружения.

Обработка результатов проводилась следующим образом. Угол закручивания каната на длине одного метра и одного шага свивки определялся как разность отсчёта показаний шкал, умноженная на цену одного деления шкалы, выраженной в радианах. Крутящий момент при различных углах кручения определялся динамометрическим ключом и динамометром. В результате проведённых испытаний строились графические зависимости $M = f(\nu)$, где M – крутящий момент, ν – угол закручивания в градусах на один погонный метр каната (рис. 1).

Граница пропорциональности была определена с участием графической зависимости между крутящим моментом и углом закручивания, а затем вычислена крутильная жёсткость каната на основании зависимости

$$(GJ_p) = M \frac{dx}{d\nu},$$

где M – крутящий момент в канате; $\frac{dx}{d\nu}$ – удельный угол закручивания; ν – угол закручивания (раскручивания) каната; x – длина каната.

На рис.2...3 приведены графики изменения величины крутильной жёсткости в зависимости от растягивающего усилия (напряжения растяжения) и различия в диаметрах каната. Анализируя приведенные графики, можно констатировать, что в отличие от линейного характера изменения зависимости $(GJ_p) = f(\sigma)$, функция $(GJ_p) = f(d)$ является явно линейной, что говорит о сильном влиянии диаметра каната на величину его крутильной жёсткости. Этого и следовало ожидать, так как примерно такой же характер величины изгибной жёсткости, для которой физическая сущность процессов изгиба примерно идентична процессам, происходящим при кручении.

Анализируя приведённые выше зависимости можно сделать вывод:

с увеличением растягивающей нагрузки величина крутящего момента возрастает, при этом между ними усматривается явно линейная зависимость;

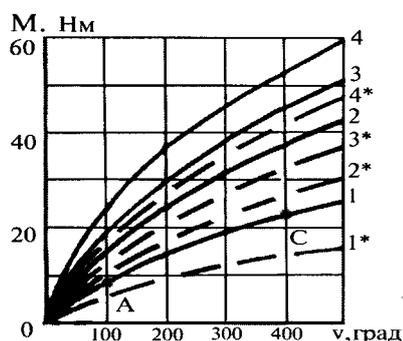


Рис.1. Влияние диаметра каната на величину крутящего момента от принудительного кручения при постоянном запасе прочности ($m=6$). При закручивании: 1-канат $\varnothing 14,5$ мм; 2-канат $\varnothing 17,5$ мм; 3-канат $\varnothing 19,5$ мм; 4-канат $\varnothing 22$ мм. Индексом * обозначены зависимости тех же канатов при раскручивании.

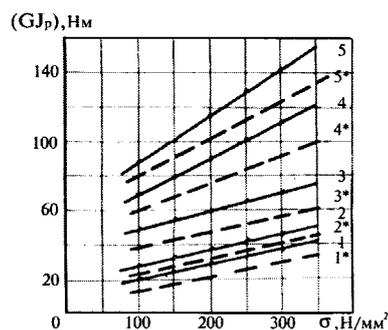


Рис.2. График зависимости крутильной жесткости канатов по Гост 3070-80 в функции $(GJ_p) = f(\sigma, d)$. При закручивании: 1-канат $\varnothing 13$ мм; 2-канат $\varnothing 14,5$ мм; 3-канат $\varnothing 17,5$ мм; 4-канат $\varnothing 13$ мм; 5-канат $\varnothing 22$ мм. Индексом * обозначены зависимости тех же канатов при раскручивании.

зависимость между крутящим моментом, возникающим в канате, и диаметром каната является нелинейной и изменение величины одного из параметров приводит к сильному изменению кручения другого;

увеличение угла закручивания приводит к возрастанию крутящего момента и, следовательно, жёсткость каната на кручение (крутильной жёсткости). То же самое можно сказать и о функциональной зависимости «крутильная жёсткость – растягивающее усилие», действующее в канате, а также о паре «крутильная жёсткость – диаметр каната».

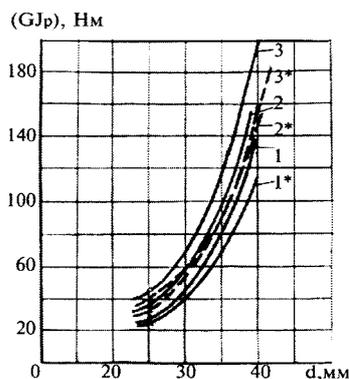


Рис.3. Зависимость крутильной жесткости (GJ_p) как функции изменения конструкции и диаметра каната (d) при $\sigma=250$ Н/мм². При закручивании: 1- канат ГОСТ 7668-80; 2 – ГОСТ 3085-80; 3 – ГОСТ 7685-80. Индексом * обозначены зависимости для тех же канатов при раскручивании

Обработка полученных экспериментальных данных даёт основание утверждать, что между крутильной жёсткостью растягивающей нагрузкой (точнее, растягивающим напряжением) и диаметром стального каната существует взаимосвязь, которая достаточно хорошо аппроксимирует зависимость такого вида

$$(GJ_p) = \eta \sigma d^4,$$

где η – коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей каната.

Приведённые расчёты показывают, что величина коэффициента лежит в пределах $\eta = 0,10 \dots 0,17$ для конструкции каната 6x36+1ос; $\eta = 0,218 \dots 0,256$ для конструкции каната 6x30+1ос; $\eta = 0,312 \dots 0,389$ для конструкции каната 6x37+1ос.

Литература

1. Глушко М.Ф. Стальные подъёмные канаты. – К.: Техніка, 1976.
2. Листопад И.А. и др. Экспериментальная установка для исследования деформации кручения каната. – Харьков: Международная научно-техническая конференция, 2002.

УДК 621.762.538.562.012.7

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДИСПЕРСНОСТИ

Тигарев А.М., Тигарев В.М., канд. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

The simulation modeling and experimental researches on definition of an optimum quantity of particles is carried out at the analysis of a grain-size structure by differential methods. The analysis of results allows to assert about existence of limitation on a maximum sample size for systems of the analysis of a grain-size structure with devices of supply of test of particular weight. These limitations are stipulated by change of a structure of test during the analysis.

Развитие науки и техники привело к тому, что современная жизнь невозможна без применения дисперсных систем (ДС). ДС окружают среду обитания человека повсюду, как в его повседневной жизни, так и в процессе производственной деятельности. Почти все отрасли промышленности используют дисперсные материалы и поэтому контроль дисперсного состава конечного продукта либо сырья необходим для всех процессов, связанных с измельчением материалов или использованием дисперсных сред. Основные свойства ДС характеризуются, прежде всего, их дисперсным составом, который определяет их физико-химические свойства, а следовательно, их технологические качества и область практического использования. Поэтому анализ дисперсности необходим и является обязательным методом контроля при производстве, переработке ДС в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства. Наиболее полной характеристикой дисперсного состава является функция распределения ДС по размерам, массе, объёму и другим параметрам. По существующей классификации методы анализа дисперсности делятся на два основных класса: интегральные – дающие информацию об усреднённом статистическом параметре, характеризующем ДС в целом; дифференциальные – дающие информацию о результатах измерений параметров одиночных частиц [1,2]. Дифференциальные методы позволяют определять значительно больше параметров ДС по сравнению с интегральными методами, что позволяет решать ряд качественно новых задач выдвигаемых промышленностью. При анализе дисперсности дифференциальными методами устройства подачи пробы должны обеспечивать последовательную подачу частиц в зону анализа первичного преобразователя. (ПП) [1]. Для этого применяют различные методы формирования потока частиц. Обычно это осуществляется помещением частиц в дисперсионную среду (либо они там уже находятся)

и подачей этой дисперсной системы с последующей механической, пневматической, гидродинамической, электрической фокусировкой потока частиц в зону анализа.

Поток информации, поступающий с таких ПП, имеет стохастически априорно неопределённую последовательность дискретных сигналов, как по форме, так и во времени. При оценке эффективности методов обработки случайных потоков сигналов, аналитический подход не всегда оказывается эффективным. Причина заключается в том, что аналитические оценки получают только для ограниченного потока сигналов (обычно пуассоновских). Неизбежны также упрощающие предположения особенностей функционирования регистрирующей аппаратуры. Гораздо большие возможности при построении и оценки функционирования ИИС анализа дисперсности, предназначенных для обработки стохастических потоков сигналов обеспечивает метод статистического моделирования. Его использование предполагает разработку и программную реализацию имитационных моделей процесса функционирования ИИС, а также проведение с помощью созданных моделей статистических экспериментов, адекватных реальным условиям анализа дисперсности.

Дифференциальные методы требуют решения вопроса о представительности пробы, т.е. определении объёма выборки. Известные подходы к решению этого вопроса показывают, что не существует однозначных рекомендаций и всё определяется целями и задачами конкретного исследования. Для решения этого вопроса применительно к кондуктометрическому методу анализа дисперсности была проведена серия экспериментов и выполнено имитационное моделирование процесса анализа. С использованием кондуктометрического анализатора дисперсности типа АДК-03м [3] был проведен анализ порошка при объёме выборки 500, 1000, 2000, ..., 30000 частиц. Эксперименты проводились на абразивных порошках марок М3, М5, М7... М28, у которых модальный размер обычно совпадает с номером марки. По полученным эмпирическим гистограммам вычислялись статистические характеристики (мода, медиана, дисперсия, моменты, асимметрия, эксцесс) и определялся вид закона распределения частиц по размерам с определением его параметров. Далее с использованием генератора случайных чисел проводилось имитационное моделирование, заключающееся в формировании аналогичного объёма выборок, подчиняющихся заданному закону распределения с известными параметрами и расчёт аналогичных параметров.

Анализ результатов имитационного моделирования показал, что при малых объёмах выборки наблюдались значительные колебания статистических параметров, которые по мере увеличения объёма выборки уменьшались. При проведении экспериментальных исследований кондуктометрическим методом было обнаружено, что при увеличении количества анализируемых частиц >22000...25000 происходит увеличение колебаний статистических параметров. В качестве примера на рис.1а показана зависимость дисперсии от объёма выборки при имитационном моделировании и по результатам анализа для порошка марки М10 (рис1б).

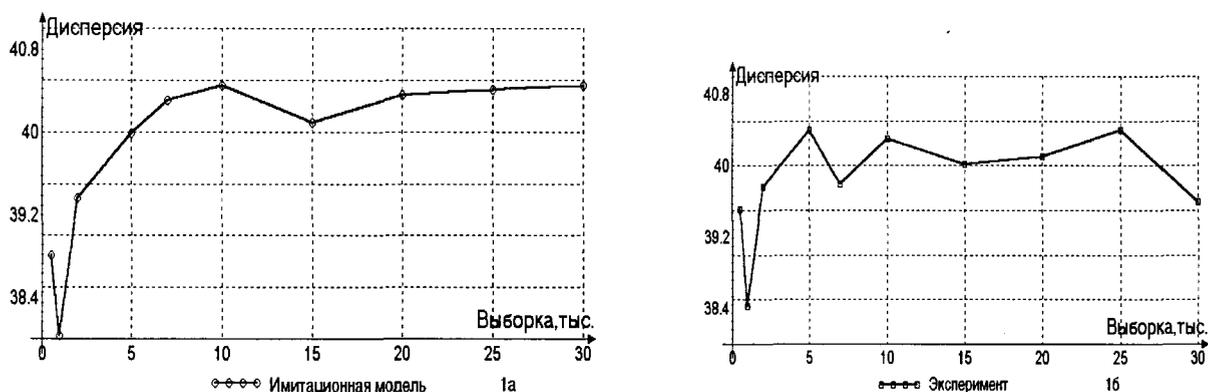


Рис.1. Зависимость дисперсии от объёма выборки.

Подробный анализ этого явления показал, что объём суспензии отбираемый при анализе составляет 0,2...0,25 от общего объёма суспензии с анализируемым порошковым материалом. При увеличении объёма суспензии примерно на порядок этого явления не наблюдалось. Это позволяет сделать вывод о изменении представительности пробы при таком соотношении объёмов анализируемой суспензии и соответственно внести ограничения на объём выборки "сверху", т.е. задавать количество анализируемых частиц ≤ 25000 при данной геометрии устройства подачи пробы (УПП) и ПП. Аналогичные исследования были проведены для фотоэлектрического метода анализа дисперсности с загрузкой в УПП определённой массы пробы для формирования аэрозвеси и подачи её в зону анализа. Они также показали существование оптимального объёма выборки, т.к. аналогично наблюдалось колебание статистических параметров при уменьшении количества частиц в объёме УПП после определённого времени работы. Распространяя это положение на различные методы анализа дисперсности, следует предположить, что при любых ПП с УПП порционного типа существуют ограничения на объём выборки "сверху", связанные с изменением количества дисперсной фазы в объёме УПП.

Основным результатом работы является доказательство существования оптимального объёма выборки, т.к. известное ограничение объёма выборки "снизу" впервые дополняется ограничением выборки сверху для ИИС анализа дисперсности на основе дифференциальных методов с устройством подачи пробы порционного типа.

Литература

- 1 Наремский Н.К., Алёшин А.М., Тигарев А.М. Теоретические и практические основы разработки многофункциональных экспресс-анализаторов дисперсности порошков. Журнал ВХО им. Менделеева, 1988, №4 том XXXIII, с. 23.
- 2 Тигарев А.М., Тигарев В.М. Выбор структуры информационно-измерительной системы анализа дисперсности//Тр. 5-й Международной конференции. – Харьков, 2002, с. 418–421.
- 2 Тигарев А.М., Тигарев В.М. Контроль дисперсности при производстве оборудования и инструментов в машиностроении.// Вісник інженерної академії України.– Київ, 2001, № 3, с. 547–548.

УДК 621.833:658.562

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ВАГОННЫХ ОСЕЙ

Гутыря С.С., докт. техн. наук, Колеущенко А.В.

(г. Одесса, Украина)

Developed is the technique probable estimations of fatigue strength of carload axes.

Проблемы совершенствования методов проектирования и повышения надежности транспортных средств тесно взаимосвязаны. Эффективным направлением научного поиска оптимальных решений является отказ от детерминированных условий прочности, не учитывающих неизбежное рассеяние режимов эксплуатации транспортных машин по нагрузкам и скоростям, а также рассеяние характеристик механических свойств материалов, и переход к вероятностным методам расчета [1,2]. Не имеют альтернативы вероятностные оценки при оптимальном проектировании технологически сложных массивных деталей и узлов с длительным сроком эксплуатации, для которых полномасштабные ресурсные испытания весьма дорогостоящи и трудоемки, однако имеется определенная статистика наблюдений. К таким деталям относятся сплошные и трубчатые оси колесных пар железнодорожного транспорта, срок службы которых установлен 12...20 лет, число циклов перемены напряжений достигает $N_{\Sigma} = (5...30) \cdot 10^8$, а усталостные разрушения составляют до 70...80% случаев выхода осей из строя [3].

Эксплуатация осей подвижного состава происходит в условиях деформаций кругового изгиба и близкого к симметричному цикла нормальных напряжений (рис. 1,а). При этом для оценки прочности осей принято учитывать следующие виды внешних нагрузок:

- статическую вертикальную от массы груженого вагона и атмосферного давления;
- динамическую вертикальную, обусловленную неровностями пути;
- горизонтальную, обусловленную аэродинамическим сопротивлением и силами инерции.

Экспериментально установлено, что распределение напряжений от вертикальных нагрузок подчиняется нормальному закону и только для участков пути с преобладающими горизонтальными нагрузками несколько отличается [2]. Статистический анализ результатов тензометрирования вагонных осей в эксплуатационных условиях [4] показал, что увеличению средних амплитудных значений напряжений $\bar{\sigma}_{ai}$ на i -ом уровне ранжированного в порядке убывания спектра внешних нагрузок сопутствует увеличение дисперсий и соответственно средних квадратических отклонений $S_{\sigma_{ai}}$ (рис. 1,б). При этом значение коэффициента вариации $\vartheta_{\sigma_{ai}} = S_{\sigma_{ai}} / \bar{\sigma}_{ai}$ остается практически постоянным ($\vartheta_{\sigma_{ai}} \equiv \vartheta_{\sigma_a} = 0,16...0,2$).

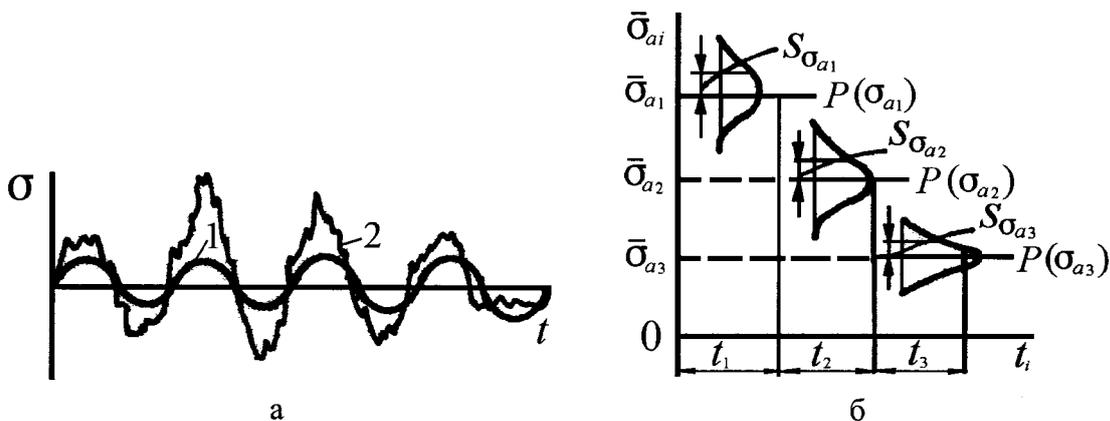


Рис.1. Результаты тензометрирования (а) и статистической обработки (б) нормальных напряжений в подступичной части вагонных осей: кривая 1 соответствует квазистатическому нагружению; 2 – эксплуатационным условиям.

При решении задач оптимизации деталей транспортных машин по критериям материалоемкости, долговечности и др. большое значение имеет полнота учета основных конструктивных и технологических факторов,

влияющих на среднее значение и коэффициент вариации их прочностных пределов. Такие возможности применительно к усталостной прочности деталей предоставляет статистическая теория прочности "наиболее слабого звена", разработанная Вейбуллом. Формулы, полученные на основании уравнения подобия этой теории, для медианного значения $\bar{\sigma}_{-1\bar{a}}$ и коэффициента вариации $\vartheta_{\sigma_{-1}}$ предела выносливости сплошных вагонных осей, изготовленных из материала одной плавки, имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_{-1\bar{a}} &= \varepsilon_{\infty} \bar{\sigma}_{-1} (1+l) ; \\ \vartheta_{\sigma_{-1}} &= \frac{(1-10^{-2S}) l}{2(1+l)} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $l = \frac{1-\varepsilon_{\infty}}{\varepsilon_{\infty}} \left(\frac{L}{88,3G} \right)^{-0,1}$; $\bar{\sigma}_{-1}$ — медианное значение предела выносливости гладкого образца диаметром 7,5 мм при изгибе с вращением; S — среднее квадратическое отклонение величины $x = \lg(\xi - 1)$ при $\xi = \sigma_{max} / \sigma_{-1min}$; σ_{-1min} — минимальное значение предела выносливости, выраженного через известное значение максимального напряжения $\sigma_{max} = \alpha_{\sigma} \sigma_{-1\bar{a}}$; α_{σ} — теоретический коэффициент концентрации напряжений; $\sigma_{-1\bar{a}}$ — предел выносливости детали в рассматриваемом сечении, выраженный в номинальных напряжениях; ε_{∞} — коэффициент влияния абсолютных размеров гладкой круглой детали диаметром $d = \infty$ при симметричном цикле изгибных напряжений;

L/\bar{G} - критерий подобия, равный отношению периметра πd опасного сечения оси к относительному градиенту $\bar{G} = \frac{2,3}{\rho} \left(1 + \varphi + \frac{2}{d} \right)$ первого главного напряжения в этом сечении (ρ — радиус галтели, d — диаметр предподступичной части, $\varphi = (4\sqrt{\delta/\rho} + 2)^{-1}$, $\delta = (D-d)/2$, D — диаметр подступичной части).

Для вагонных осей, изготовленных из высококачественных конструктивных сталей, следует принимать $\varepsilon_{\infty} = 0,4 \dots 0,6$ и $S = 0,045 \dots 0,05$. При допустимых значениях вероятности безотказной работы $P(t) \in [0,95; 0,99]$ и значениях коэффициента вариации наработки на отказ $\vartheta_t \leq 0,3$ логарифмически нормальное распределение величины x и соответственно предела выносливости осей практически совпадает с нормальным законом. Следовательно, функция неразрушения $\sigma_{-1\bar{a}} - \sigma_{ai} = \Delta\sigma_i$ также распределена нормально с параметрами

$$\left. \begin{aligned} \Delta\bar{\sigma}_i &= \bar{\sigma}_{-1\bar{a}} - \bar{\sigma}_{ai} ; \\ S_{\Delta\sigma_i} &= \sqrt{S_{\sigma_{-1\bar{a}}}^2 + S_{\sigma_{ai}}^2 - 2M_{\sigma_{-1\bar{a}}\sigma_{ai}}} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $\Delta\bar{\sigma}_i$, $\bar{\sigma}_{-1\bar{a}}$ и $\bar{\sigma}_{ai}$ — математические ожидания соответствующих распределений; $S_{\Delta\sigma_i}$, $S_{\sigma_{-1\bar{a}}}$ и $S_{\sigma_{ai}}$ — средние квадратические отклонения; $M_{\sigma_{-1\bar{a}}\sigma_{ai}}$ — корреляционный момент.

Так как действующее напряжение и предел выносливости практически независимы, то можно принимать $M_{\sigma_{-1\bar{a}}\sigma_{ai}} = 0$.

Вероятность разрушения Q равна вероятности реализации условия $\Delta\sigma_i < 0$, т.е.

$$Q = \text{Вер}(\Delta\sigma_i < 0) = F(\Delta\sigma_i), \quad (3)$$

где $F(\Delta\sigma_i) = 0,5 - \Phi(1/\vartheta_{\Delta\sigma_i})$ — функция распределения случайной величины $\Delta\sigma_i$; $\Phi(1/\vartheta_{\Delta\sigma_i})$ — функция Лапласа; $\vartheta_{\Delta\sigma_i} = S_{\Delta\sigma_i} / \Delta\bar{\sigma}_i = \sqrt{S_{\sigma_{-1\bar{a}}}^2 + S_{\sigma_{ai}}^2} / (\bar{\sigma}_{-1\bar{a}} - \bar{\sigma}_{ai})$ — коэффициент вариации функции неразрушения.

Разделив числитель и знаменатель выражения для коэффициента вариации $\vartheta_{\Delta\sigma_i}$ на $\bar{\sigma}_{ai}$, получено

$$\vartheta_{\Delta\sigma_i} \equiv \vartheta_{\Delta\sigma} = \sqrt{\frac{-2}{n} \vartheta_{\sigma_{-1}}^2 + \vartheta_{\sigma_a}^2} / (\bar{n} - 1), \quad (4)$$

где $\bar{n} = \bar{\sigma}_{-1} / \bar{\sigma}_a$ — запас прочности по средним напряжениям.

Соответственно для вероятности неразрушения $P = 1 - Q$, на основании уравнений (3) и (4), получено

$$P = 0,5 + \Phi \left[\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{-2 \vartheta_{\sigma_{-1}}^2 + \vartheta_{\sigma_a}^2}} \right]. \quad (5)$$

Установив параметры исходного распределения величины $x = \lg(\xi - 1)$ можно рассчитать функции распределения пределов выносливости для осей с трубчатой формой поперечного сечения поверхностно-упрочненных

накатыванием роликами [1,5] и, следовательно, уточнить влияние этих конструктивно-технологических факторов на усталостную прочность вагонных осей.

Литература

1. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник.— М.: Машиностроение, 1985. — 224 с.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. — М.: Высшая школа, 1988. — 238 с.
3. Полые оси и валы / Л.М. Школьник, Ю.Е. Коваленко, Н.И. Мартынов, Л.А. Усова. — М.: Машиностроение, 1968. — 183 с.
4. Calculo del eje de las ruedas del vagón a través de métodos probabilísticos / S. Gutiria, V. Filipov, C.Q. Librado, R.G. Guardo // Construcción de Maquinaria. — Santa Clara (Cuba): UCLV. — 1990. — №1. — P.78 — 91.
5. Кравчук В.С., Абу Айаш Юсеф, Кравчук А.В. Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочненных деталей машин и элементов конструкций. — Одесса: Астропринт, 2000. — 160 с.

УДК 621:658.512.2:535.41

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Браилов А.Ю., канд. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

In this paper the concept of interferences in the design is introduced. Five types of interference are considered.

Интенсивное развитие производства в рыночных условиях приводит к сокращению сроков и выделяемых средств на конструирование изделия. Одновременно, требования к параметрам качества изделия возрастают.

Сам процесс конструирования является многоэтапным, противоречивым и трудоемким, зависящим от опыта и квалификации конструктора. Эту зависимость следует уменьшить, улучшая качество проекта изделия. Поэтому в такой ситуации необходимо использовать систему автоматизированного проектирования (САПР) и совершенствовать методику конструирования.

Суть проблемы.

Основными стадиями разработки конструкторской документации являются техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочий проект [1]. На этапе эскизного проектирования неизбежны погрешности при определении размеров деталей. Причем абсолютная погрешность в 1-2 мм для деталей с габаритными размерами 1000 мм и более составляет относительную погрешность, равную десятым долям процента (0,1 %). В зависимости от материала деталей, даже такая малая погрешность размеров может являться причиной разрушения изделия при сборке или приводить к нарушению его нормального функционирования при эксплуатации.

Современные САПР позволяют выявить погрешности эскизного проектирования. Это становится возможным, если конструктор обеспечен комплексной методикой конструирования, позволяющей контролировать и управлять сборкой изделия, обеспечивая требуемые параметры качества. Основой такой методики для конструктора может быть концепция интерференций в конструировании.

Нетрадиционное представление интерференции в конструировании.

Появление термина «интерференция» связано с учением о колебаниях и волнах. При наложении волн одинаковой частоты возникает явление чередующихся максимумов и минимумов результирующего колебания. Такое явление наложения волн называется интерференцией. В 1675 году Исаак Ньютон, исследуя интерференцию света в тонком воздушном промежутке между сферическими поверхностями двух линз, вокруг точки соприкосновения линз наблюдал чередующиеся светлые и темные кольца при освещении монохроматическим светом. В результате исследований было установлено, что максимумы интерференционной картины от двух когерентных источников получаются в тех местах, где разность хода лучей ΔL равна нулю или четному числу длин волн λ [$\Delta L = k\lambda = 2k \cdot (\lambda/2)$, $k=0,1,2,\dots$], а минимумы – когда разность хода равна нечетному числу полуволен [$\Delta L = (2k+1) \cdot (\lambda/2)$, $k=0,1,2,\dots$].

В теории машин и механизмов слово «интерференция» говорит о контакте профилей зубчатых колёс, которые не сопряжены [2].

В теории сопряжения интерференция определена как явление, имеющее место, когда часть пространства занята двумя или более сплошными телами одновременно [3].

В теории образования профиля режущими инструментами [4] рассмотрены пять видов интерференции, которые характеризуют только различные способы пересечения профилей инструмента и заготовки.

При конструировании сложных изделий средствами систем автоматизированного проектирования (AutoCAD, T-flex, Компас, и др.) конструктор также имеет дело с наложением профилей изделий, то есть явлением интерференции. Причем, конструктору необходимо исключить недопустимое наложение профилей. Недопустимое наложение может проявляться как в недопустимом перекрытии профилей, так и в недопустимом зазоре между налагаемыми профилями. Поэтому исследование интерференции в проблеме конструирования актуально.

В конструировании можно рассматривать минимум, максимум и переход от минимума к максимуму результирующего колебания наложения когерентных объектов. Когерентность объектов для конструирования означает наложение профилей квазиодинаковой формы.

Минимум результирующего колебания соответствует сборке изделий с предельно допустимым натягом, при котором сопрягаемые детали не разрушаются. Поэтому такую сборку можно характеризовать предельной интерференцией перекрытия профилей.

Переход от минимума к максимуму результирующего колебания соответствует трем состояниям собираемых изделий: сборке изделий с номинальным натягом, сопряжению изделий без натяга и зазора, сборке изделий с номинальным зазором. Поэтому сборку изделий с номинальным натягом можно характеризовать номинальной интерференцией перекрытия профилей, сопряжение изделий без натяга и зазора – нулевой интерференцией сопряжения, а сборку изделий с номинальным зазором – номинальной интерференцией зазора профилей.

Максимум результирующего колебания соответствует сборке изделий с предельно допустимым зазором, при котором изделие выполняет требуемые функции. Поэтому такую сборку можно характеризовать предельной интерференцией зазора профилей.

Таким образом, в конструировании, возможно, различать пять видов интерференции: предельную интерференцию перекрытия, номинальную интерференцию перекрытия, нулевую интерференцию, номинальную интерференцию зазора и предельную интерференцию зазора (см. Табл.).

Таблица

Нетрадиционное представление интерференции в конструировании

№	Явление интерференции в физике	Традиционное представление интерференции	Нетрадиционное представление интерференции в конструировании
1	Минимум результирующего колебания		Предельная интерференция перекрытия профилей деталей
2		Интерференция пересечения профилей [2],[3],[4]	Номинальная интерференция перекрытия профилей деталей
3			Нулевая интерференция сопряжения профилей деталей
4			Номинальная интерференция зазора профилей деталей
5	Максимум результирующего колебания		Предельная интерференция зазора профилей деталей

Комплексная методика конструирования.

Предлагаемая комплексная методика конструирования изделия основана на нетрадиционном представлении интерференции для конструирования. Методика позволяет контролировать и управлять конструированием изделия. Предлагаемая комплексная методика конструирования состоит из следующих этапов:

1. Выявление нулевой и номинальных интерференций при сборке изделия с помощью САПР.
2. Устранение номинальных интерференций до полного сопряжения профилей деталей.
3. Определение значений критериев допустимых величин зазоров и перекрытий профилей деталей при сборке изделия.
4. Задание допусков и предельных отклонений для номинальных размеров деталей.
5. Определение значений предельных интерференций зазора и перекрытия профилей деталей для размерных цепей с допусками.
6. Проверка удовлетворения значений предельных интерференций критериям допустимых величин зазоров и перекрытий профилей деталей. Если результат проверки отрицательный, корректируются значения допусков и предельных отклонений номинальных размеров деталей, возвращаясь к четвертому этапу. Если результат проверки положительный, то осуществляется переход к седьмому этапу.
7. Выполняются рабочие чертежи собранных деталей для технического проекта изделия.

Литература

1. Романычева Э.Т., Соколова Т.Ю., Шандурина Г.Ф. Инженерная и компьютерная графика. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 592 с.
2. Заблонский К.И., Белоконев И.М., Щекин Б.М. Теория механизмов и машин. – К.: Выща шк., 1989. – 376 с.
3. Подкорытов А. Н. Инвариантный метод исключения интерференции сопряженных криволинейных поверхностей зубчатых передач. – Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 1996. - №1. – С. 16-18.
4. Радевич С.П. Формообразование поверхностей деталей (Основы теории). Монография. – К.: «Растан», 2001. – 592 с.

УДК 515.2

КОМПЛЕКСНАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Тигарев В.М., канд. техн. наук
(г. Одесса, Украина)

Complex preparation of specialists on the computer graphics will allow creating projects consisting of two-dimensional drawings, three-dimensional objects and animation presentations. Training on the proposed technology demands obligatory development of the complete set of several programs computer graphics.

В настоящее время компьютерная графика широко применяется в различных областях производства, конструирования, дизайне и т.д. Для квалифицированного использования средств компьютерной графики необходимо, чтобы специалист прошел комплексную подготовку с учетом специфики работы. Компьютерную графику можно разделить на две части: инженерная компьютерная графика и иллюстративная компьютерная графика. Квалифицированный специалист должен уметь выполнять проекты с использованием обеих частей, с учетом особенности профиля работы. Для этого необходимо осуществлять комплексную подготовку специалистов по работе со средствами компьютерной графики. Каждая из частей компьютерной графики представлена большим количеством программ, различного уровня сложности. Рассмотрим подробнее идеологию комплексной подготовки специалистов по компьютерной графике. Последовательность подготовки состоит из нескольких последовательных этапов. Каждый этап может содержать программы различного уровня сложности, которые учитывают особенности работы каждого специалиста. Предварительно разделим подготовку на несколько самостоятельных направлений, которые учитывают специфику работы.

1. Специалисты, работа которых связана с механическим конструированием (инженеры-механики, конструкторы электронного оборудования, дизайнеры промышленного производства и т.д.).

2. Специалисты, работа которых связана с архитектурным и строительным проектированием (архитекторы, инженеры гражданского строительства, дизайнеры интерьера, дизайнеры мебели и т.д.).

3. Специалисты, работа которых связана с экономикой, химией и т.д.

Первый этап подготовки включает изучение основ двумерной инженерной графики на базе программ Компас, AutoCAD LT и других, что позволит выполнять построения простейших чертежей, структурных и блок-схем, схем технологических процессов и т.д. Этот этап обязателен для всех, но объем зависит от специфики работы. Пример показан на рис. 1.

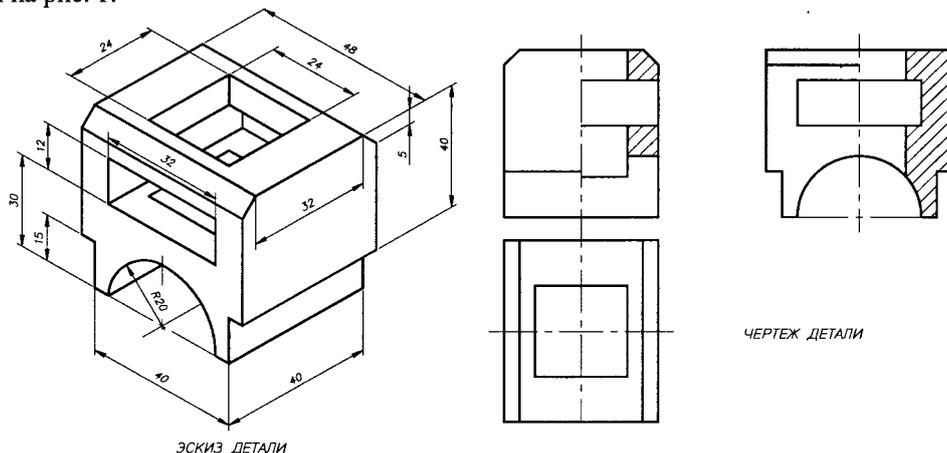


Рис. 1. Простейшие чертежи, имеющие несколько видов.

Второй этап полностью учитывает особенности каждой специализации.

Для специалистов первого направления подготовка состоит из следующих последовательных шагов:

а) Комплексная подготовка по двумерной и трехмерной инженерной компьютерной графике (AutoCAD 2002, AutoCAD Mechanical 6.0, T-FLEX 7.0); б) Комплексная подготовка по параметрической двумерной и трехмерной инженерной компьютерной графике (AutoCAD 2002, AutoDesk Mechanical Desktop 6.0, Inventor 5.0, T-FLEX 7.0); в) Комплексная подготовка по иллюстративной компьютерной графике (Corel Draw 10, Photoshop 7.0); г) Комплексная подготовка по визуализации созданных проектов (3D Studio VIZ 4.0); д) Программирование на языках Autolisp, DCL, VBA; е) Разработка приложений для программ на основе системы AutoCAD.

В качестве примера показан сборочный чертеж «гибкого» коленчатого вала (Рис.2) и трехмерная модель подобного коленчатого вала выполненного по твердотельной технологии (Рис. 3).

Для специалистов второго направления подготовка состоит из следующих последовательных шагов:

а) Комплексная подготовка по двумерной и трехмерной инженерной компьютерной графике (AutoCAD 2002); б) Комплексная подготовка по параметрической двумерной и трехмерной инженерной компьютерной графике (AutoDesk Architectural Desktop 3.3, ArchiCAD 7.0); в) Комплексная подготовка по иллюстративной компьютерной графике (Corel Draw 10, Photoshop 7.0); г) Комплексная подготовка по визуализации созданных

проектов (3D Studio VIZ 4.0); д) Программирование на языках Autolisp, DCL, VBA; е) Разработка приложений для программ на основе системы AutoCAD; ж) Комплексная подготовка по разработке конструкций и дизайну мебели (Woody, InteAr).

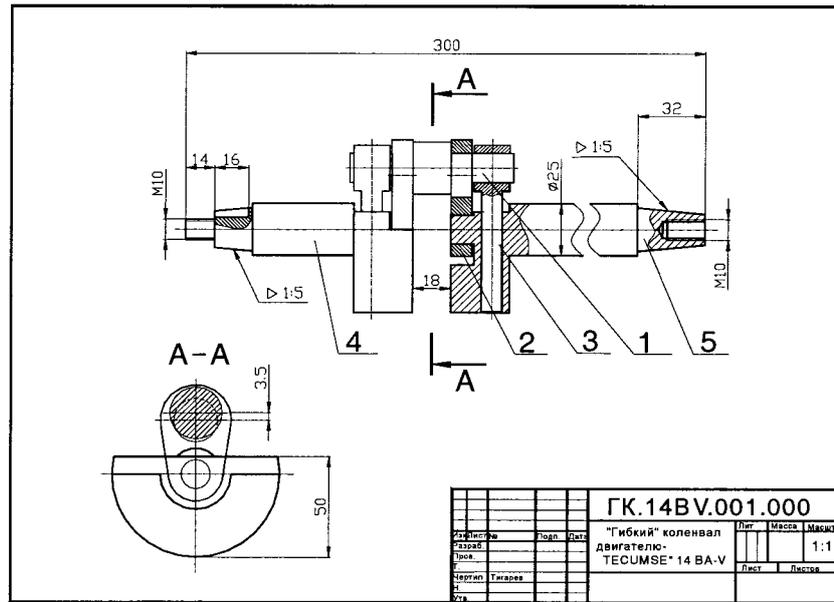


Рис. 2. Сборочный чертеж «гибкого» коленчатого вала.

По окончании обучения специалисты второго направления смогут выполнять проектирование каркасных (Рис. 4а), поверхностных, твердотельных (Рис. 4б) моделей различных архитектурных и строительных объектов.

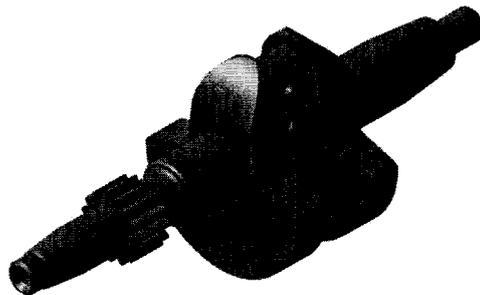
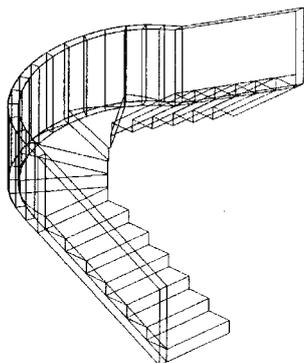
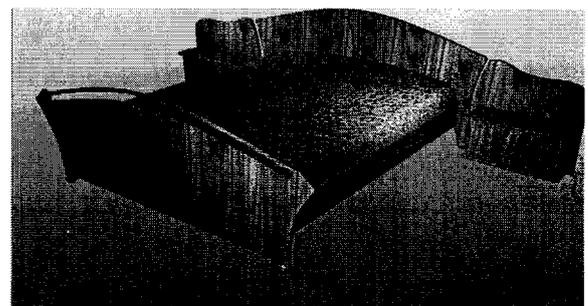


Рис. 3. Трехмерная твердотельная модель коленчатого вала.



а



б

Рис. 4. а - каркасная модель винтовой лестницы; б – твердотельная модель спальни, после наложения текстур и выполнения рендеринга.

Для специалистов третьего направления подготовка состоит из следующих последовательных шагов:

а) Комплексная подготовка по иллюстративной компьютерной графике (Corel Draw 10, Photoshop 7.0); б) Комплексная подготовка презентаций проектов (MS Power Point); в) Программирование на языке VBA; г) Разработка автоматизации презентаций проектов для MS Power Point.

Предлагаемая комплексная подготовка специалистов по компьютерной графике позволит выполнять проекты любой сложности, как в виде комплектов чертежей, так и в виде трехмерных параметрических сборочных узлов или готовых проектов зданий, а также создавать демонстрационную анимацию для представления созданных проектов. Предложенная идеология комплексной подготовки специалистов по компьютерной графике внедряется в Одесском Национальном политехническом университете на кафедре начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики для обучения по специальности «Компьютерный дизайн».

Литература

1. Кудрявцев Е.М. Mechanical Desktop Power Pack. Основы работы в системе. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.: ил.
2. Титаренко Н.Н., Мальшенко А.А. Mechanical Desktop 4,5,6. Искусство трехмерного проектирования. – К.: ООО «ТИД «ДС», 2002. – 304 с.
3. 3D Studio VIZ 3 для дизайнера: Пер с англ. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. – 624с.
4. Кобурн Ф., Маккормик П. Эффективная работа с CorelDRAW 10.– СПб.: Издательство «Питер», 2002. 832 с.
5. Полищук А.В. Самоучитель AutoCAD 2002 и Visual Lisp. – СПб.: БХВ-С.-Петербург, 2001. – 672 с.
6. Харрингтон Д., Барчард Б., Питцер Д. AutoCAD 2002 для конструкторов. Искусство проектирования. Пер. с англ. – К.: ООО «ТИД «ДС», 944 с.

УДК 539.3

МЕТОД РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ ГИПЕРУПРУГОГО СОСУДА

Кантор Б. Я., докт. техн. наук, Кунделев А. Ю.

(г. Харьков, Украина)

An improved method to estimate strains in a wall of hyperelastic cylindrical vessel subject to internal pressure is proposed. Calculations have been carried out as applied to large blood vessels. A relationship is shown between atherosclerosis and strains increasing on the inner surface of the vessel.

Проницаемость и целостность внутренней поверхности стенки крупных кровеносных сосудов зависят от гидродинамических эффектов, например, от таких, как высокочастотные компоненты турбулентного движения крови. Причиной разрушения эндотелия в этом случае является увеличение удельной энергии деформации на внутренней стенке сосуда, а также нелинейное распределение по толщине сосуда физических компонент напряжений в продольном, окружном и радиальном направлениях. Отмечается также тот факт, что распределение потенциальной энергии деформации влияет также на движение молекул липопротеина, что в свою очередь ведет к возникновению атеросклероза. Поэтому важно знать распределение σ_1 , σ_2 , σ_3 и функции W по толщине стенки кровеносного сосуда.

Предполагается, что артерия представляет собой толстостенный цилиндр из ортотропного, однородного несжимаемого гиперупругого материала. Инерция стенки не учитывается, изгибными напряжениями пренебрегаем в силу предположения «длинной волны» [1]. Свойства материала стенки сосуда описываются функцией потенциальной энергии упругого деформирования, конкретный вид и параметры которой определяются исходя из результатов эксперимента.

Рассмотрим круговую цилиндрическую трубку, находящуюся под действием внутреннего давления и продольного растяжения. Для несжимаемого материала зависимость для радиальной компоненты напряжения можно записать в виде

$$\sigma_3 = \int_{\lambda}^{\lambda_e} \frac{1}{\lambda_x \lambda^2 - 1} \frac{\partial \widehat{W}}{\partial \lambda} d\lambda, \quad (1)$$

где $\widehat{W} = \widehat{W}(\lambda, \lambda_x) = W((\lambda \lambda_x)^{-1}, \lambda, \lambda_x)$ – функция потенциальной энергии упругого деформирования, определяемая по данным опыта; λ_x – степень удлинения в продольном направлении, λ_e – степень удлинения в окружном направлении на внешней стенке сосуда.

Компоненты напряжения σ_1 и σ_2 (в продольном и окружном направлениях соответственно) вычисляются аналогично:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \lambda_x \frac{\partial \widehat{W}}{\partial \lambda_x}, \quad \sigma_2 = \sigma_3 + \lambda \frac{\partial \widehat{W}}{\partial \lambda}. \quad (2)$$

Используя данные соотношения с учетом граничных условий (сосуд находится под действием только внутреннего давления P), получаем выражение для определения давления как функции от степеней удлинения [2]

$$P = \int_{\lambda_i}^{\lambda_e} (1 - \lambda^2 \lambda_x)^{-1} \frac{\partial \bar{W}}{\partial \lambda} d\lambda. \quad (3)$$

Соотношение (3) при известных параметрах материала, входящих в функцию удельной энергии деформации, является уравнением для определения неизвестной величины λ при заданных значениях внутрисосудистого давления и λ_x .

Рассмотрим распределение по толщине сосуда напряжений и функции W при значениях давления 80, 120 и 180 мм рт. ст., что соответствует диастолическому, систолическому и повышенному систолическому давлению. Используется функция потенциальной энергии упругой деформации [3].

Численным интегрированием выражения (1) по методу Симпсона и по известным значениям λ_x , λ_i и λ_e рассчитывается распределение по толщине сосуда напряжения в радиальном направлении. По известной функции W вычисляются ее значения по толщине стенки, а из (2) с учетом (3) получаются выражения для напряжений σ_1 и σ_2 при известном значении напряжения σ_3 .

Величины напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и функции W имеют нелинейный характер изменения по толщине стенки. Максимальные значения упомянутые величины имеют на внутренней (эндотелиальной) поверхности сосуда.

С повышением давления наблюдается повышение напряжения на эндотелиальной поверхности стенки сосуда и уменьшение напряжения на наружной поверхности по отношению к напряжению в срединном слое (рис. 1). Так, при давлении 120 мм рт. ст. (15.96 кПа) σ_1 уменьшается с 150 до 76 % по отношению к σ_1^{sp} , а σ_2 – с 157 до 72 % по отношению к σ_2^{sp} .

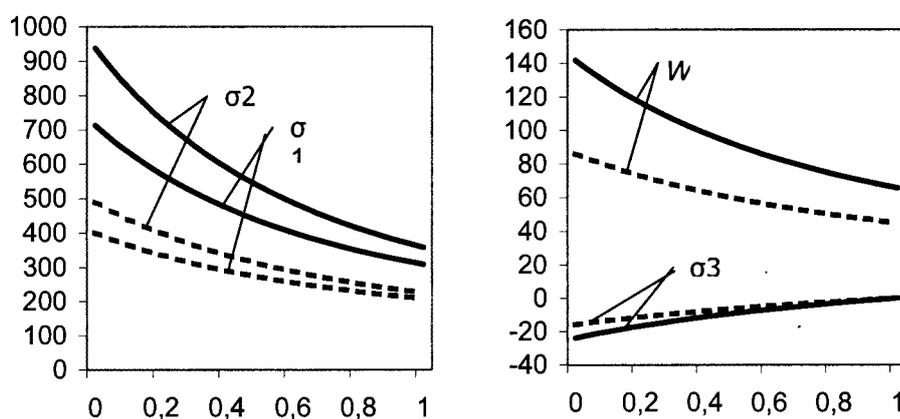


Рис. 1. Распределение значений σ_1 , σ_2 , σ_3 и W по толщине стенки в зависимости от внутреннего давления. Пунктиром отмечены графики при давлении 120 мм рт. ст.; сплошными линиями – 180 мм рт. ст. Координата точки по толщине стенки выражена в относительных единицах; значению 0 соответствует внутренняя поверхность сосуда, 1 – внешняя

С дальнейшим ростом давления происходит заметное увеличение значения функции удельной энергии деформации на внутренней поверхности стенки сосуда по отношению к значению W на наружной поверхности. Величина W при $P = 80$ мм рт. ст. на внутренней поверхности на 75 % больше, чем на наружной. При давлении $P = 120$ мм рт. ст. это превышение составляет практически 100 %, а по достижении внутренним давлением значения 180 мм рт. ст. (23.94 кПа) функция удельной энергии деформации на внутренней поверхности превышает значение W на внешней поверхности в 2.2 раза.

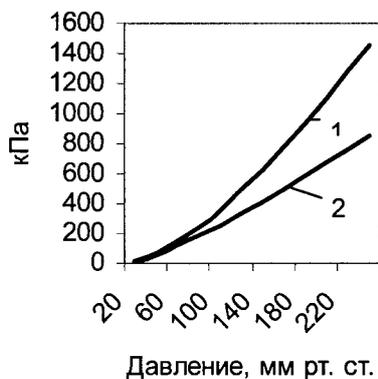


Рис. 1. Значения напряжения σ_2 на внутренней поверхности сосуда с учетом (1) и без учета (2) неравномерного распределения значений напряжения

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что при повышении артериального давления возможность заболевания атеросклерозом увеличивается из-за повышения значений напряжений и функции W на внутренней поверхности сосуда по отношению к значениям в срединном слое и на наружной поверхности. Увеличение происходит нелинейно, с повышением скорости изменения с приближением к внутренней поверхности.

Расчет напряжений, возникающих в сосуде, с использованием более простой модели без учета неравномерного распределения напряжений по толщине сосуда дает занижение их величин в 1.5 – 2 раза по сравнению с предложенным методом решения (рис. 2).

Литература

1. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов. – М: Мир. – 1980. – 400 с.
2. Кантор Б. Я., Кунделев А. Ю. Моделирование периодического течения вязкой жидкости в толстостенном сосуде. – Пробл. машиностроения. – 1998. – 2, N 3–4. – С. 94–101.
3. Kasyanov V. The anisotropic nonlinear model of human large blood vessels. – Mehanika Polimerov. – 1974. – 5. – P.204–211.

УДК 534

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Чобитько Т.Н.

(г. Харьков, Украина)

The boundary conditions for the rod with oscillations are generated by electric field have been formulated. The influence of the magnitude of internal resistance of ultrasonic source oscillation on the resonance frequency and on the oscillation amplitude of the piezoelectric rod has been estimated.

Вывод системы дифференциальных уравнений продольных колебаний такого стержня на участках из пьезопассивного и пьезоактивного материалов приведен в работе [1].

Формулировка граничных условий для электростатического потенциала и электрической индукции зависит от способа возбуждения колебаний пьезокерамического тела. В случае возбуждения колебаний электрическим полем на поверхностных электродах задается значение потенциала как функции времени. Воспользуемся законом Кирхгофа для полной цепи:

$$\psi = E - I(t)r_i,$$

где $I(t)$ – ток во внешней цепи, r_i – внутреннее сопротивление источника питания.

Ультразвуковой генератор, задающий переменное электрическое поле на электродах, представляется в виде активного двухполюсника с внутренним сопротивлением, равным выходному сопротивлению генератора. Ток в электрической цепи зависит от механического сопротивления волновода, пьезоэлектрических постоянных керамики. ЭДС источника представляет собой моногармоническую функцию от времени:

$$E = E_0 \sin \omega t.$$

Токи удобно выразить через электрическую индукцию. Плотность заряда на поверхности равна скачку нормальной компоненты вектора электрической индукции на этой поверхности: $\sigma = \vec{n}(\vec{D}_+ - \vec{D}_-)$.

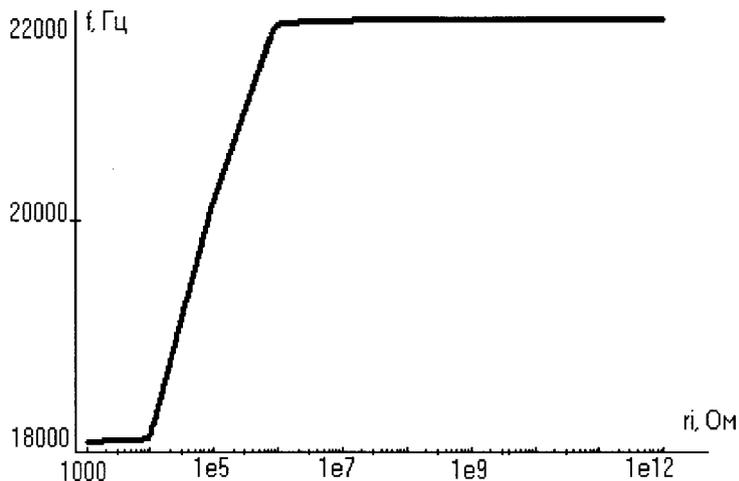


Рис. 1. Зависимость резонансной частоты от величины внутреннего сопротивления источника питания.

Когда пьезокерамическое тело окружено воздухом или вакуумом, диэлектрическая проницаемость которого в сотни раз меньше проницаемости керамики, то $|\vec{D}_+| \ll |\vec{D}_-|$, если n_+ – орт внешней нормали, т.е. “-” относится к керамике, а “+” – к вакууму. Поэтому плотность заряда на поверхности электрода приблизительно определяется по значению индукции \vec{D} в керамическом материале /2/: $\sigma \approx -\vec{n}\vec{D}$.

Полные заряды Q на электродах определяются формулой: $Q = -\iint_S \vec{n}\vec{D} dS$.

Используя это выражение, можно определить ток в цепи:

$$\frac{dQ}{dt} = -\iint_S \vec{n}\dot{\vec{D}} dS = I(t).$$

Так как для установившихся колебаний с круговой частотой ω электрическая индукция и электростатический потенциал меняется во времени по гармоническому закону $\psi = \psi_0(x) \sin \omega t + \psi_1(x) \cos \omega t$, $D_x = D_0 \sin \omega t + D_1 \cos \omega t$, то ток во внешней цепи определяется следующим выражением: $I(t) = -S\omega(D_0 \cos \omega t - D_1 \sin \omega t)$, а активная и реактивная составляющая тока соответственно:

$$I_0 = S\omega D_1, I_1 = -S\omega D_0.$$

Закон Кирхгофа перепишем в следующем виде:

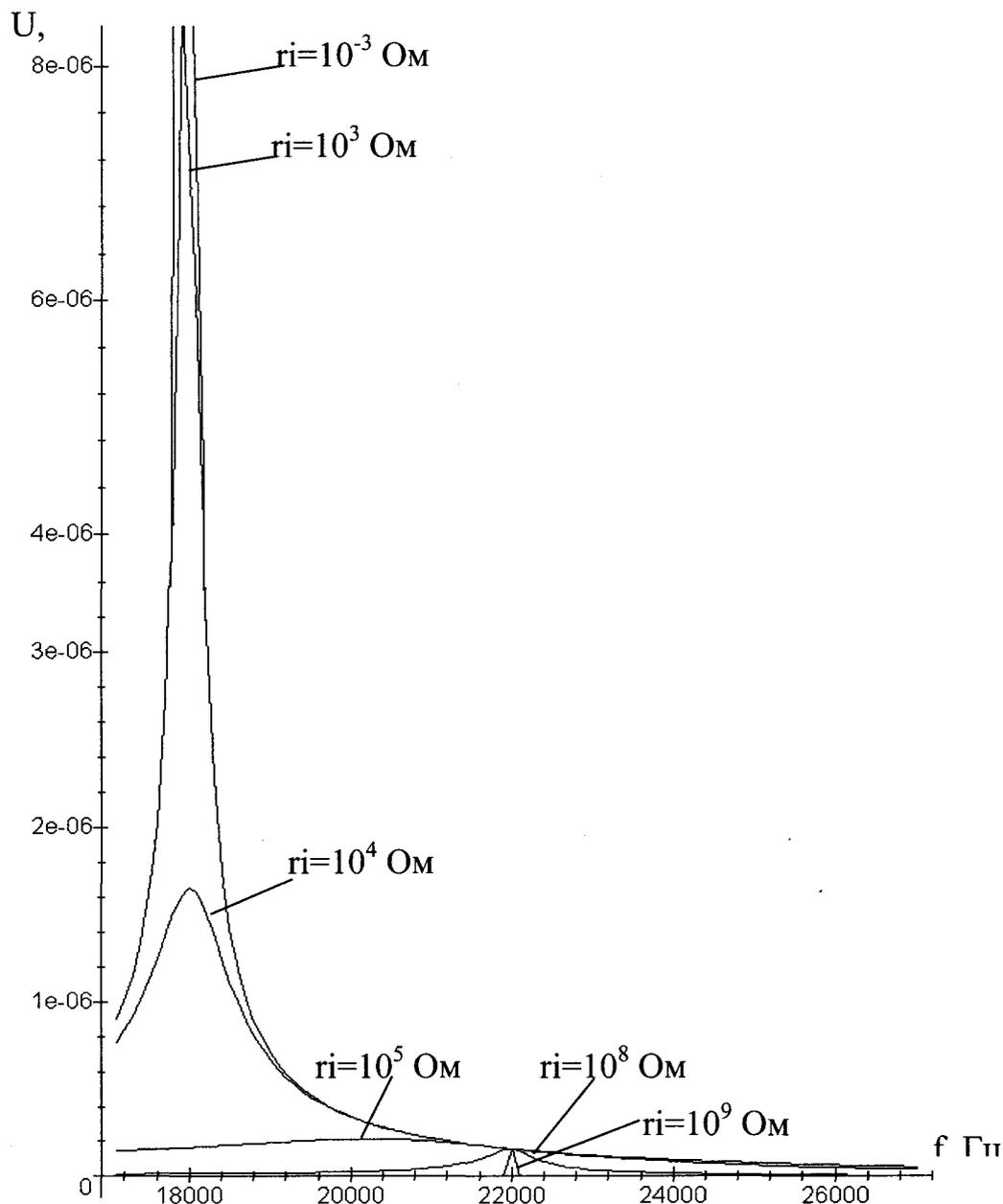


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика пьезокерамического стержня при различных величинах внутреннего сопротивления источника питания.

$$E_0 \sin \omega t = -S\omega \cdot r_i (D_0 \cos \omega t - D_1 \sin \omega t) + \psi_0 \sin \omega t + \psi_1 \cos \omega t$$

Группируя коэффициенты при косинусных и синусных составляющих компонент электрического напряжения, получим:

$$\begin{aligned} E_0 &= S\omega \cdot r_i \cdot D_1 + \psi_0, \\ 0 &= -S\omega \cdot r_i \cdot D_0 + \psi_1. \end{aligned}$$

Граничные условия для разомкнутых и короткозамкнутых электродов соответственно:

$$\iint_{S_{\pm}} \vec{n} \cdot \vec{D} dS = 0, \quad \psi|_{S_+} - \psi|_{S_-} = 0.$$

Получены численные результаты расчета для закрепленного стержня, замкнутого на омическое сопротивление и для симметрично подключенных пьезокерамических шайб. Особенностью собственных и свободных колебаний пьезокерамического стержня является то, что существует две частоты собственных колебаний для случая замкнутых и разомкнутых электродов. Частота свободных колебаний находится в этом интервале и зависит от величины внутреннего сопротивления источника питания, на котором замкнуты электроды.

Например, собственные частоты заземленного с одной стороны пьезоэлектрического стержня цилиндрической формы постоянного поперечного сечения ($d=0.02\text{м}$, $L=0.04626\text{м}$, $\rho = 7200 \text{ кг / м}^3$, $s_{33}^E = 13.5e-12$, $e_{33}^T = 2e-8$, $d_{33} = 320e-12$) с замкнутыми и разомкнутыми электродами на концевых поперечных сечениях соответственно равны: $f_{кз}=17976\text{Гц}$, $f_p=22000\text{Гц}$.

При возбуждении колебаний в стержне от источника, имеющего одну и ту же ЭДС (300 В) и различные внутренние сопротивления, частоты резонансных колебаний с увеличением внутреннего сопротивления будут сдвигаться вправо от собственной частоты стержня с короткозамкнутыми электродами. На рис. 1, 2 видно, что частота резонанса действительно сдвигается от частоты собственных колебаний стержня с короткозамкнутыми электродами к собственной частоте стержня с разомкнутыми электродами. Амплитуда колебаний резко уменьшается с увеличением внутреннего сопротивления источника (рис.2). На рис. 2 видно, что частота и амплитуда резонансных колебаний заметно уменьшается в диапазоне внутреннего сопротивления от 0 до 10^5 Ом. В диапазоне от $10^5 \div 10^9$ Ом амплитуда колебаний не изменяется, а значение частоты асимптотически приближается к собственной частоте стержня с разомкнутыми электродами, равной 22 кГц.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для наибольших амплитуд колебаний внутреннее сопротивление источника должно быть как можно меньше. Резонансные частоты при этом сосредоточены возле собственной частоты короткозамкнутого стержня.

Литература

1. Богомолов С.И., Кедровская О.В., Ломакин А.Н., Смирнов М.М, Чобитько Т.Н. Исследование волноводных свойств ультразвуковых вибропреобразователей //Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Сборник научных трудов ХГПУ.- Выпуск 6.-Ч.1.- Харьков, 1998.-С. 27-30.
2. Жарий О.Ю., Улитко А.Ф. Введение в механику нестационарных колебаний и волн.-К.: Выща школа, 1989. – 183с.

УДК 539.3

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИН СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Пильгун Г.В.

(г. Харьков, Украина)

Large amplitude flexural vibrations of thin plates with the complex planform are studied by the variational-structural method (RFM). The algorithm is based on an appropriate linearisation of strain displacement relations and uses an iterative method of solutions. Results are presented for simply supported square, rhombic and plates of complex planform. Whenever possible numerical results obtained are compared with those of other works to give proof the reliability of suggested algorithm.

Согласно теории гибких пластин [1-2] геометрические соотношения между деформациями и перемещениями для пластины могут быть представлены в следующем виде

$$e_x = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2, \quad e_y = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2, \quad e_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y},$$

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad \chi_{xy} = -2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (1)$$

где e_x, e_y, e_{xy} – компоненты деформации удлинения и сдвига, а $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$ – деформации изгиба и кручения пластины.

Будем рассматривать такой случай тонких гибких пластин, когда деформациями и силами инерции в срединной плоскости пластины можно пренебречь. Тогда линеаризованные соотношения между деформациями и перемещениями можно представить как:

$$e_x = f_1 \frac{\partial w}{\partial x}, \quad e_y = f_2 \frac{\partial w}{\partial y}, \quad e_{xy} = f_1 \frac{\partial w}{\partial y} + f_2 \frac{\partial w}{\partial x},$$

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad \chi_{xy} = -2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (2)$$

где f_1 и f_2 – функции, определяемые следующим образом

$$\{f\} = \{f_1 \quad f_2\}^T = \left\{ \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial x} \quad \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial y} \right\}^T. \quad (3)$$

Учитывая (2), вариационную постановку задачи о свободных колебаниях тонкой изотропной пластины постоянной толщины h можно свести к нахождению минимума функционала:

$$J = \frac{1}{2} \left[\iint \left\{ C \left[f_1^2 \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + f_2^2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + 2\nu f_1 f_2 \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{1-\nu}{2} \left(f_1 \frac{\partial w}{\partial y} + f_2 \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] + D \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2\nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy - \omega^2 \rho h \iint w^2 dx dy \right] \quad (4)$$

где $C = \frac{Eh}{1-\nu^2}$ и $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона, ρ – плотность материала, ω – собственная частота.

В функционал (4) входят неизвестные функции f_1 и f_2 , которые на первой итерации необходимо положить

равными нулю, т. е. $f_1 = f_2 = 0$. В дальнейшем, функции f_1

и f_2 должны быть получены с помощью собственных векторов, вычисленных на предыдущей итерации, при конкретном значении амплитуды в заданной точке плана пластины. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока евклидова норма разности между значениями прогиба на соседних итерациях не превышает заданного значения точности ε . Структура решения, удовлетворяющая только кинематическим краевым условиям шарнирного опирания будет иметь вид

$$w = \omega P, \quad (5)$$

где $\omega = 0$ – уравнение границы области, а P – неопределенная компонента структуры решения [5]. В данной работе функция $\omega(x, y)$ была построена с использованием теории R-функций [5], [6].

Тестирование предложенного алгоритма было проведено для изотропных шарнирно опертых по всему контуру пластин:

- квадратной, со стороной $2a$;
- ромбической (основной параметр a – половина большей диагонали),

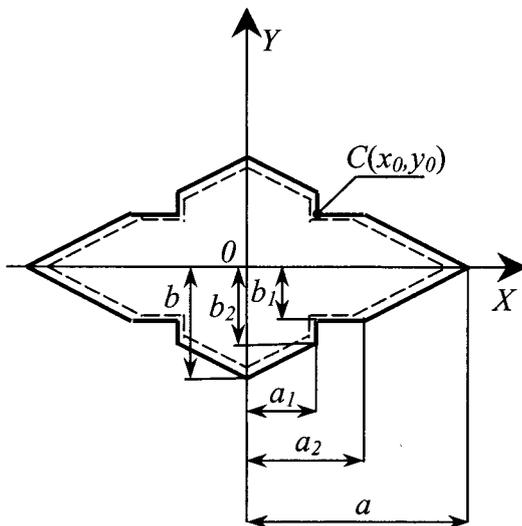


Рис. 1. Форма плана пластины

– сложной формы плана (рис. 1).

Значения параметров пластин приняты следующими: $a_1/a=0.25$, $a_2/a=0.5$, $b/a=0.5774$, $b_1/a=0.2887$, $b_2/a=0.4330$.

Сравнение результатов, для квадратной шарнирно опертой пластины, полученных с помощью разработанного алгоритма, с данными работы [3] показало, что отклонение значений частотного параметра в процентном соотношении составляет 0.053%, что позволяет говорить о достоверности разработанного алгоритма.

Таблица 1

Влияние числа ККФ на отношение частот ω / ω_L для изотропной тонкой квадратной пластины: $a/h=100$, $\nu=0.3$.

ККФ	$\varepsilon = 0.001$		$\varepsilon = 0.0001$	
	$\kappa=3$	$\kappa=4$	$\kappa=3$	$\kappa=4$
45	1.37437	1.37440	1.375610	1.37561
55	1.37438	1.37437	1.375609	1.37561
66	1.37349	1.37358	1.374690	1.37477
[3]	1.3752			

В табл. 1 приведены результаты исследования влияния количества координатных функций (ККФ) и числа узлов интегрирования на значения частот квадратной пластинки при заданном $W_{amp}/h=1$ для $\varepsilon=0.001$ и $\varepsilon=0.0001$.

Интегрирование выполнялось с помощью 10^{th} ($\kappa=3$) и 16^{th} ($\kappa=4$) точечных формул Гаусса.

Из табл. 1 видно, что с увеличением числа координатных функций в рамках одного значения точности происходит стабилизация величин ω / ω_L в четвертой значащей цифре. Увеличение количества слагаемых в формуле Гаусса не существенно влияет на результат. Для расчета пластины квадратного плана достаточно взять 45 координатных функций для перемещения w . В табл. 2 приведены результаты расчета для пластин ромбической и сложной формы, изображенной на рис. 1, полученные при количестве координатных функций равном 55. Элементы матрицы Ритца вычислены с помощью 10 точечной формулы Гаусса.

Отношение фундаментальной нелинейной частоты к линейной частоте ω/ω_L для шарнирно опертых пластин ромбической и сложной формы.

	$\Lambda = \omega_L a^2 \sqrt{\frac{\rho}{D}}$	амплитуда, $A = W_{amp}(0,0)/h$				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1
ромб						
[3]*	18.8438	1.025	1.075	1.16	1.26	1.385
метод сеток [5]	18.72	—	—	—	—	—
метод мембр. аналогии [5]	18.663	—	—	—	—	—
результаты расчета	18.666	1.0193	1.0744	1.1593	1.2667	1.3901
пластина сложной формы (рис. 1)						
a_x	b_x	амплитуда, A				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.3749	0.36079	1.0194	1.0749	1.1603	1.2682	1.3924
0.3125	0.3248	1.0098	1.0387	1.0851	1.1468	1.2215
0.2500	0.2887	1.0061	1.0242	1.0536	1.0937	1.1432

* – величины отношений сняты с графика.

Анализируя данные табл. 2, необходимо отметить хорошее соответствие вновь полученных результатов с результатами других авторов. В случае расчета пластины сложной формы в качестве a_x и b_x приняты координаты точки $C(x_0, y_0)$. Наибольшие значения a_x и b_x соответствуют форме пластины, максимально приближенной к ромбической. Из таблицы видно, что с наличием выреза отношение частот возрастает по сравнению со значением ω/ω_L для пластины ромбической формы, что соответствует физическому смыслу задачи.

Литература

1. Вольмир А. С. Гибкие пластинки и оболочки. - Москва: Гостехиздат, 1956,- 420с.
2. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. - Москва: Наука, 1972,- 432с.
3. Mei C., Narayanaswami R. and Rao G.V., Large amplitude free flexural vibrations of thin plates of arbitrary shape.// Computers & Structures, 10, 675-681 (1979).
4. Mei C. and Decha-Umphai K., A finite element method for nonlinear forced vibrations of rectangular plates.// AIAA Journal, 7, 1104-1110 (1984).
5. Рвачев В.Л., Курпа Л. В. R-функции в задачах теории пластин. - Киев: Наукова думка, 1987. – 176с.
6. Рвачев В.Л., Курпа Л.В., Применение теории R-функций к исследованию пластин и оболочек сложной формы.// Проблемы машиностроения, 1, 33-53 (1998).

УДК 65.011.56

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ГИБКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Макурин Н.С., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Research and optimization of structures at designing flexible technological systems.

При проектировании гибких технологических сборочно-монтажных систем в общем случае решаются задачи двух типов. Первый тип задач состоит в поиске рациональных технических решений, которые отличаются составом компонентов, характером их связей, расположением в пространстве, но каждое из решений обеспечивает требуемое функционирование системы. Второй тип задач содержит задачи определения оптимальных параметров функционирования системы при заданных критериях качества проектных решений.

Указанные задачи в практике проектирования определяются соответственно как задачи структурной и параметрической оптимизации [1]. Общую математическую интерпретацию таких задач можно представить в следующем виде.

Пусть имеется множество допустимых структур гибкой технологической системы (ГТС) $\{S_1, \dots, S_m\}$, у которых существует хотя бы один набор значений параметров, удовлетворяющих заданные ограничения $a'_i, x'_i, b'_i, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, m}$. Допустим, что для любой структуры $S_j (j = \overline{1, m})$ можно задать пространство переменных $X_j = (x'_1, \dots, x'_{n_j}), j = \overline{1, m}$ и по единому критерию качества найти допустимые оптимальные параметры X_j^*

структуры S_j . Тогда задачу структурно-параметрической оптимизации можно сформулировать следующим образом.

Для каждой группы переменных определенной структуры задана целевая функция по единому критерию качества $f = f^j(X_j)$, $j = \overline{1, m}$ и система ограничений

$$g_r^j(X_j) \leq 0, \quad r = \overline{1, p_j}, \quad j = \overline{1, m}.$$

Необходимо найти такое решение X_j^* в пространстве значений параметров, для которого

$$G_r^j(X_j^*) \leq 0, \quad r = \overline{1, p_j}; \quad ; \quad f^*(X_j^*) = \text{ext } f^j(X_j^*).$$

Таким образом, задача состоит в определении оптимальной структуры ГТС и оптимальных значений параметров этой структуры [2].

Процесс формирования структурно-компоновочных схем ГТС можно разделить на этапы синтеза принципиальных структурных решений и параметрического синтеза.

На *этапе синтеза принципиальных структурных решений* определяются:

- а) тип планировочной схемы;
- б) принцип организации и транспортирования заготовок, изделий, инструмента, оснастки;
- в) расположение основного технологического оборудования по отношению к материальному потоку;
- г) принцип организации контроля, удаления отходов, подачи инструмента.

Этот этап состоит в объективном формировании множества допустимых структурно-компоновочных решений гибкой технологической системы и разработке алгоритмов выбора наиболее эффективных.

Этап параметрического синтеза характеризуется тем, что ранее найденное принципиальное структурно-компоновочное решение системы воплощается в конкретные конструктивные формы в виде совокупности технологического оборудования, реализующего технологический процесс изготовления изделий.

Решением задачи оптимизации структуры технологического процесса являются:

- а) количество рабочих позиций, на которое разделена технологическая система;
- б) способ сосредоточения на них технологических операций, при которых удовлетворяются требования к производительности системы.

Задача оптимизации компоновочных решений ГТС решается в предположении, что известна принципиальная структурная схема, количество рабочих позиций, способ сосредоточения на них технологического оборудования. В качестве критерия оптимизации размещения оборудования могут быть приняты:

- а) общий оптимальный грузопоток деталей в ГТС;
- б) минимальный производственный цикл;
- в) максимальная производительность ГТС;
- г) минимальный путь транспортирования изделий, и др.

Полученное таким образом проектное решение является исходным для проведения имитационного моделирования функционирования ГТС и технико-экономического анализа. Наиболее приемлемым общим экономическим критерием оценки ГТС является величина приведенных затрат на годовой выпуск продукции. При выборе вариантов структурно-компоновочных решений ГТС на основе экономической оценки предполагается поиск такого решения, который характеризуется минимальными значениями приведенных затрат

$$Z = (N_z C_i + E_n K) \rightarrow \min,$$

где N_z – годовая программа выпуска изделий; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности; K – капитальные затраты на ГТС; C_i – суммарная себестоимость продукции.

Эффективность функционирования ГТС в значительной степени зависит от способа распределения основных производственных ресурсов на выделенных площадях. Отсюда задача размещения оборудования прежде всего рассматривается в направлении его пространственного размещения, целью которого является поиск такой планировки ГТС, при которой минимизируются общие расходы на материальный поток объектов производства. Составляющей стоимости материального потока являются транспортные расходы, которые находятся в прямой зависимости от пространственного расположения оборудования.

В самом общем виде транспортные расходы являются функцией грузопотока объектов производства:

$$Z_m = f(m, S),$$

где m – масса транспортируемого груза; S – суммарная длина транспортного пути.

При решении задачи оптимизации пространственного размещения оборудования в ГТС параметры m и S являются варьируемыми переменными. Так как, такие переменные обусловлены объемом производственной программы, то транспортный путь объектов производства является основным критерием.

Пусть ГТС предназначена для выпуска продукции L модификаций. Предположим, что технологический процесс состоит из n технологических операций и для их выполнения занято соответственно N групп станков. Технологические маршруты для изготовления каждой из L модификаций заданы матрицами технологических маршрутов C^l , $l = \overline{1, L}$ размерностью $N \times N$, элементы которых определены как элементы смежности или связности групп станков. Все группы оборудования пронумерованы, площади для размещения каждой из них

одинаковы. Таким образом, площадь ГТС разбивается на N равных по площади подучастков и между ними выделяются транспортные пути.

Введем матрицу расстояний D , элементы которой d_{ij} , $i, j = \overline{1, N}$ определяются как длины пути между i -й и j -й позициями. Зададим весовые коэффициенты α^l , $l = \overline{1, L}$ выпуска продукции 1-й модификации. Значения коэффициентов нормируем: $\alpha^1 + \alpha^2 + \dots + \alpha^L = 1$.

В качестве критерия оптимизации принимаем длины пути S^l , пройденные изделиями каждой из L модификаций. Введем переменные X_{ij} , принимающие значения 1, если j -я группа оборудования размещается на i -ю позицию и 0 в противном случае. С помощью введенных переменных критерий оптимизации запишем в виде

$$S^l = \sum_{i, j, \mu, \nu=1}^N X_{i, \mu} X_{j, \nu} d_{i, j} C_{\mu \nu}^l.$$

В качестве основного критерия оптимизации принимаем свертку S^l с весовыми коэффициентами α^l :

$$Z = \sum_{i=1}^L \sum_{i, j, \mu, \nu=1}^N \alpha^l X_{i\mu} X_{j\nu} d_{ij} C_{\mu\nu}^l.$$

С учетом принятых критериев имеем задачу минимизации функции

$$Z = \sum_{i, j, \mu, \nu=1}^N A_{i\mu j\nu} X_{i\mu} X_{j\nu}$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^N X_{i\mu} = 1; \sum_{\mu=1}^N X_{i\mu} = 1; X_{i\nu} = \{0, 1\},$$

где $A_{i\mu j\nu} = d_{ij} \sum_{l=1}^L \alpha^l C_{\mu\nu}^l$.

Такая постановка задачи определения структуры размещения оборудования ГТС трактуется как квадратичная задача о назначениях.

Литература

1. Гринева С.Н. и др. Повышение эффективности проектирования организационно-производственных структур ГАП / В сб. Управление эффективностью производства с применением экономико-математических методов и АСУ. – М.: МВТУ, 1995.- С.142-143.
2. Третьяков Э.А. и др. Математическое моделирование организационно-производственных структур ГПС / Обзор. – М.: ВНИИТЭМР, 1994.-88 с.

УДК 621.3.027

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ПО ТЕХНИКЕ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ "ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ"

Гуль В.И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The reliability of power supply greatly depends on the efficiency of the isolation. The problem of reliable isolation are systematically taught during three terms such courses as: "The Theory of High Voltage", "The Theory of Grounded", "The Coordination of Isolation."

Ситуация, когда производство электроэнергии осуществляется в местах целесообразного размещения электростанций и преимущество отдается крупным генераторам, определяет передачу и распределение электроэнергии конкретным потребителям при высоких напряжениях линий электропередачи и, соответственно, подстанций. В 20-х годах прошлого века эксплуатация освоила напряжение $U_n=110$ кВ, к концу века осваивается напряжение $U_n=1000 - 1200$ кВ. Рост напряжения воздушных линий сопровождается постановкой и решением многих научных и технических задач, причем конечное решение обычно оценивается по показателям эффективности, внедрению достигнутых передовых разработок в областях материаловедения и изоляционных материалов, удобству эксплуатации в случае конструкций и, наконец, надежности. Многообразие и важность отдельных задач изоляции, испытаний и перенапряжений уже отражалось в фундаментальных монографиях проф. Л.И.Сиротинского. Как примеры отметим физику диэлектриков; конструирование изоляционных устройств

высокого напряжения, т.е. электрические аппараты; молния и молниезащита; экология в сильных электрических полях и другие.

Подготовка квалифицированных специалистов в области электрических сетей невозможна без изучения хотя бы применительно к воздушным линиям электропередачи основных принципов оценки электрической прочности изоляционных конструкций, использующих воздух как диэлектрик. Усвоение студентом физических причин нарушения электрической прочности гирлянд изоляторов позволяет специалисту оценивать и разрабатывать мероприятия по повышению надежности эксплуатации. Ограниченность учебного времени для изучения ТВН существенно уменьшает выбор тем для изучения и глубину рассмотрения. Однако выбор тем должен в оправданной мере отражать достижения профилирующей кафедры и института в исследованиях конкретных вопросов. Например, кафедра "Передача электрической энергии" имеет традиции в исследованиях токов в земле и заземлений, в том числе при токах, близких к токам молнии; в вопросах повышения надежности распределительных сетей с различающимися режимами нейтрали и другие.

На наш взгляд себя оправдало на протяжении ряда лет изучение в курсе ТЭВН при подготовке бакалавров электротехники перечисленных ниже тем.

Определение электрической прочности конструкций с различной степенью однородности электрического поля в распространенной изоляционной среде - воздухе. Вывод и применение т.н. закона Пашена; элементарный расчет градуировочной кривой шарового измерительного разрядника, секционирование разрядного промежутка и др.

Относительно подробнее рассматривается на примере фазы воздушной линии высокого напряжения коронирование. Объем изучения достаточен для оптимизации конструкции фазы по радиусу расщепления, числу и сечению проводников расщепления. Современное решение компактных линий следует из рассмотрения общих вопросов короны и пропускной способности ЛЭП. В качестве расширения вопроса отмечаются технологии (озонирование, электроокраска) с применением заряженных частиц.

Изоляционная подвеска (гирлянда подвесных изоляторов) фазного провода существенно влияет на эксплуатационные показатели работы ВЛ, на выбор опор линии, на экономические показатели (капитальные затраты, эксплуатационные издержки) ВЛ. Показано, как расчетом (алгоритм разработан на кафедре ПЭЭ ХПИ в начале 90-х годов) и экспериментально определять распределение падений от фазного напряжения по отдельным изоляторам для обоснования выбора числа изоляторов известного типа в гирлянде по номинальному режиму работы ВЛ в чистой атмосфере.

Индустриализация приводит, как известно, при ограниченности вложений средств в охрану окружающей среды к общим экологическим осложнениям. Для наружной изоляции ВЛ и оборудования подстанций в определенных ситуациях (накопление поверхностного слоя загрязнения, увлажнение такого слоя без смыва с образованием электролита, увлажнение изоляции дождем с повышенной электропроводностью воды) имеет место существенное ухудшение электроизоляционных свойств. В технических разработках по усилению изоляции при ее загрязнении находит использование алгоритм, разработанный на кафедре ПЭЭ на основе процесса каскадного перекрытия. Изучение основ процесса перекрытия по загрязненной изоляционной поверхности обеспечивает понимание и совершенствование методов очистки и др.

Национальная электроэнергетика вынуждена сделать акцент на продление сроков службы основного оборудования. К такому оборудованию относятся объекты с внутренней изоляцией, например трансформаторы разного назначения, реакторы, конденсаторы. В отличие от наружной такая изоляция стареет, срабатывает свой ресурс. В курсе ТЭВН рассматриваются в обзорном виде причины старения и более подробно известные методы диагностики, к которым отнесены измерение частичных разрядов и абсорбции. В работах кафедры ПЭЭ для нескольких конструкций из стеклопластика экспериментально исследовалось моделирование кривой жизни, что дает практические детали и уверенность акцентации при изучении этой темы.

Из объема проблемы токов в земле электробезопасности в курсе ТЭВН внесены вопросы собственно заземления и заземлителей. Опоры ЛЭП заземляются, заземляются молниеотводы, оборудование подстанций. Больше внимания уделено основам расчета заземлителя, в том числе в условиях искусственной нелинейности в поле стекающего тока грунта вблизи поверхности заземляющего электрода. Работы кафедры ПЭЭ по проблеме заземлений известны (ряд диссертационных работ, конференции) и это дает привязку проблемы к конкретным лицам, работникам кафедры.

Сравнительно новые вопросы устройства емкостных трансформаторов напряжения, имеющих при V_n более 300 кВ преимущества перед электромагнитными трансформаторами, и принципы построения устройств индикации высокой напряженности электрического поля переменного тока дополняют подготовку студентов по электробезопасности.

Перечисленные вопросы определили содержание учебного пособия "Изоляция высоковольтных элементов электрической системы. Заземление" утвержденного институтом системных исследований образования Украины и опубликованного в Киеве (на русском и украинском языках) в 1993 г. Ограниченность тиража и последующие замечания определили выход второго издания в ХГПУ, 2000 г. Изучение курса ТЭВН сопровождается выполнением ряда лабораторных работ, как правило, на высоковольтных установках.

Защита от молнии хозяйственных и производственных объектов сохраняет актуальность. Особенно это относится к воздушным линиям, для которых число грозовых отключений составляет от 20% до 40% всех отключений. Использование ограничителей перенапряжений и нелинейных разрядников является общепринятым

мероприятием для подстанций. Рассмотрение физических принципов грозозащиты и ее технических решений выполняется в курсе "Перенапряжения в электрических системах", и закрепляется в курсовом проекте. Одним из следствий грозовых перекрытий в электрической сети является образование несимметричных схем и ферро-резонансных перенапряжений, к которым усиливается внимание эксплуатации. Участие кафедры в разработке "Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений" (1989) позволило в последствии подготовить для студентов современную разработку, используемую как в курсовом, так и в дипломном проектировании.

И уже в девятом семестре при подготовке специалистов изучается курс "Координация изоляции электрических систем". Идеологической основой курса является т.н. приведение изоляции воздушной линии электропередачи к норме. Такое приведение предусматривает выбор изоляции (гирлянд) в расчетных условиях эксплуатации (загрязнение, повышение рабочего напряжения) и ограничение перенапряжений (главным образом коммутационных) до уровня вольт-временной характеристики такой изоляции с учетом обоснованности допустимого числа отказов (перекрытий). Параметры изоляции, перенапряжений и устройств их ограничения имеют статистический характер, что определяет специфику курса.

Подготовка по проблемам изоляции объектов электрической сети наряду с подготовкой по автоматизации, переходным процессам, электрооборудованию и другим направлениям, как показывает анализ отзывов выпускников, удачно формирует современного специалиста-электрика.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Научные концепции развития технологии машиностроения, механической и физико-технической обработки

Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В. Направления повышения производительности обработки материалов резанием.	3
Новиков Ф.В. О механизме возбуждения автоколебаний при резании металлов.	6
Якимов А.В., Винникова В.И. Применение смазывающе-охлаждающих твёрдых смазок для улучшения обрабатываемости титановых сплавов.	10
Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Механика внутреннего алмазного шлифования.	10
Кривошапка Ю.Н. Расчет экономически выгодных режимов резания.	14
Завалеев В.А., Романов А.А., Толоч В.Т. Конденсация ионная низкотемпературная (КИНТ).	16
Ларшин В.П., Лищенко Н.В. Оптимизация процесса шлифования зубчатых колес на станках, работающих по методу обката	18
Ларшин В.П. Прогнозирование глубины пластически-деформированного слоя при шлифовании резьбы авиационных ходовых винтов.	23
Ларшин В.П., Лищенко Н.В. Управление качеством поверхностного слоя сложнопрофильных деталей при шлифовании.	24
Крюк А.Г., Браташевский А.Ю., Дудко П.Д. Особенности химико-механического полирования кремниевых пластин.	26
Сизый Ю.А., Кулик Г.Г. Тепловой баланс процесса фрикционной разрезки.	27
Серховец О.И., Фесенко А.В., Ушаков А.Н. Математическая модель адаптивной системы управления круглошлифовального станка.	31
Степанов М.С. Принципы конструирования техники подачи СОЖ при шлифовании	34
Костюк Г.И., Белов Н.Л., Костюк Е.Г. Исследование распределения плотности ионного тока в рабочем объеме установки для плазменно-ионной обработки	36
Агеенко С.Б., Горелкова Л.Е., Приходченко В.А., Спольник А.И., Волчок И.В. Влияние ультразвуковой на обработки релаксационную стойкость ротора турбокомпрессора.	39
Коломиец В.В., Клименко С.А., Фабричникова И.А., Кленов О.С. Упрочнение деталей резанием.	41
Ридный Р.В. Технологическое обеспечение качества наплавленных поверхностей точением резцами из киборита.	42
Ткаченко В.П. Высокоэффективная технология алмазно-абразивной обработки релитовых торцовых уплотнений.	44
Марчук В.І., Денисюк В.Ю., Кайдик О.Л. Моделювання формоутворення мікрорельєфу поверхонь для забезпечення параметрів якості деталей при механічній обробці.	49
Мовшович А.Я., Свиридов Ю.М., Фролов Е.А. Оборудование и технологические возможности процесса ударной импульсной штамповки жидкостью.	53
Ряховский А.В., Мовшович А.Я., Буденный М.М. Влияние гибкости производственной системы на потребность в приспособлениях-спутниках.	56
Ряховский А.В. Исследование прочности и жесткости сменных элементов комплекта унифицированной технологической оснастки.	61
Подобедов В.В., Роменский В.И., Бородинов В.А., Гриценко Г.Д. Сборка и сварка крупных металлоконструкций в переналаживаемых стендах.	65
Бородинов В.А., Подобедов В.В., Роменский В.И. Технология наплавки режущего инструмента и деталей машин в вакууме.	70
Иоргачев В. Д., Линчевский П.А., Дашенко А.Ф. Особенности процесса совмещения лезвийной обработки с поверхностно-пластическим деформированием	72
Сизый Ю.А., Малыгин В.В. Поле напряжений в системе “Зерно-Связка” абразивного круга.	73
Коган В.Г., Гришкевич А.В. Физическая и математическая модели технологических решений.	76
Иванова И.С. Геометрическое моделирование режущей кромки дисковой фрезы.	80
Ямников А.С. Маликов А.А. Методика расчета производящей поверхности инструмента для отделочной обработки закаленных эвольвентных зубчатых колес.	82
Федин Е.И. Экспериментальное исследование параметров процесса несвободного резания при резботочении.	85
Артамонов В.Д. Эффективность зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками.	87
Ветсаков Н.И. Расчёт контактной температуры при шлифовании композиционными кругами.	89
Худобин Л.В., Крупеников О.Г. Математическая модель колебаний алмазного отрезного круга с внутренней режущей кромкой.	91
Унянин А.Н. Шлифование с очисткой рабочей поверхности круга абразивным бруском.	93
Хусаинов И.Ш. Распределение коэффициента теплопередачи вдоль обрабатываемой поверхности заготовки при плоском шлифовании.	95

Новоселов Ю.К., Тараховский А.Ю. Исследование деформаций эластичных уплотнений колец при их установке во внутренние канавки деталей.	97
Якимов А.А., Якимова О.А. Тепловые процессы при зубошлифовании на станке 5851.	99
Гридин В.П., Малыхин В.В. Формирование и технологическое обеспечение размерных связей процесса изготовления деталей машин.	102
Гусарев В.С. О классификации технологических процессов и физических закономерностях.	103
Гусарев В.С. Ступени образования и квалификации инженеров в 21 веке.	104
Ерошин С.С., Таращанский М. Т. Напряженное состояние кругов АКВР при неравномерном натяжении.	105
Ерошин С.С., Таращанский М.Т. Причины износа кругов АКВР.	107
Пилипець М.І., Васильків В.В. Особливості оцінювання технологічності процесів формоутворення гвинтових заготовок.	110
Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Формирование шероховатости обрабатываемых поверхностей при алмазно-абразивной обработке.	112
Емельянов С.Г., Куц В.В., Шитиков А.Н. Фасонное фрезерование как один из способов получения РК-профильных валов.	114
Селезнев Ю.Н. Анализ нагрузки режущих зубьев протяжек при протягивании гранных отверстий большой длины в деталях буровых установок.	116
Зубкова О.С. Особенности разработки библиотеки модулей при проектировании корпусов сборных осевых инструментов.	117
Матвиенко А.В., Богуславский В.А. Концепция инженерии поверхности с позиции «активных центров».	119
Якимов А.А., Дмитриева С.Ю., Кулик В.П., Королькова М.В. Режущая способность прерывистых кругов.	121
Якимов А.А., Дмитриева С.Ю., Кулик В.П., Королькова М.В. Расчет площади пятна контакта шлифовального круга с зубом шестерни при зубошлифовании на станке 5851 (MAAG).	122
Уминский С.М. Повышение производительной отделки методами свободного обката.	125
Умінський С.М. Підвищення технологічних можливостей обробки при досягненні подовжньої модифікації зубів методами обкату.	126
Уминский С.М., Якимов А.А., Бойченко С.А. Исследование влияния конструктивных параметров шеверов для продольного шевингования на качество обработки.	127
Умінський С.М., Якімов О.О., Бойченко С.А. Вплив параметрів верстатного зачеплення спряжених поверхонь інструмента і заготовки при шевінгуванні методами тангенціальної подачі і «короткого ходу».	128
Иноземцев К.А., Барботько А.И. Экспериментальное исследование влияния вынужденных осевых колебаний на автоколебания при сверлении.	129
Хавин Г.Л. Физическое представление процесса разрушения при резании волокнистых стеклопластиков.	132
Настасенко В.А. Пятое поколение червячных фрез и его характеристики.	133
Медведева В.В. Использование транзитивных элементов в автоматизированных процессах сборки узлов «эластичное кольцо – канавка базовой детали».	136
Медведева В.В. Модульная структура занятий при обучении студентов.	138
Наддачин В.Б. Причины вибрации шпиндельной системы станка и их влияние на процесс шлифования.	140
Сизый Ю.А., Погребной Н.А., Волков О.А. Температурное поле на кромке поверхности упрочняемой трением.	143
Савченко Н.Ф. Технология термо-импульсной очистки криволинейных литейных каналов корпусных деталей многофазными газожидкостными высокоскоростными потоками.	148
Жданов А.А. Перспективы применения высокоскоростного резания материалов.	150
Набока Е.В. Технологии в машиностроении с применением ультразвука.	152
Фадеев А.В. Применение агрегатных станков в производстве агрегатов авиационного назначения.	154

2. Прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы

Скобло Т.С., Давыдова С.Н. Влияние химического состава и способа термообработки на свойства заэвтектоидной стали для прокатных валков.	157
Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В. Метод восстановления покрытий длинномерных деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке.	159
Скобло Ю.С., Нестерова Н.В., Нестерова К.Б. Управление качеством продукции.	161
Скобло Ю.С., Нестерова Н.В., Нестерова К.Б. Методика обеспечения системы качества.	162
Бондаренко С.И. Изменение строения ферритной матрицы в процессе образования аустенита в высоко-	

копечно-чугуне.	165
Браташевський О.Ю., Польотов В.А., Полякова А.Г., Горбачева Л.В., Каплуновський В. О. Дослідження зносостійкості конструкційних сталей в умовах ударно-абразивного зносу.	167
Клемешев А.Г., Костина Л.Л., Овчаренко Я.А. Выбор состава легированного высокопрочного чугуна для нагруженных деталей в ремонтном производстве.	169
Солнцев Л.А., Костина Л.Л. Литье в кокиль и термическая обработка высокопрочного чугуна.	170
Никитенко В.Д., Ткаченко В.П. Проблемы электробурения и возможные пути их решения.	171
Ткаченко В.П., Мельник А.К., Зайцев И.Т., Макогон А.И. Електро-механичний джерело сейсмічних коливань типу «Террадин-3».	172
Мошенков В.И., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П., Мацак А.Т., Кириченко И.Г. Изыскание оптимального материала для деталей скребкового конвейера.	173
Завгородний А.И. К вопросу оптимизации движения рабочих органов очистительных решеток.	175
Тарелин А.А., Калекин О.Ю., Толчеева И.С., Лукьянов В.Н., Сафронов Н.Б. Утилизация шламов электроимпульсной очистки сточных вод гальванического производства.	178
Тарелин А.А., Калекин О.Ю., Михайленко В.Г., Князева О.И., Тютюнник М.С., Гиль З.П., Лукьянов В.Н. Замкнутый цикл водоснабжения для машиностроительных предприятий на основе электроимпульсной технологии.	180
Тарелин А.А., Паршина Т. Н., Сурду Н.В., Чичоткина С.В. Применение полимерных композиций на полиуретановой основе для устройства химзащитных покрытий.	181
Тарелин А.А., Паршина Т.Н., Сурду Н.В., Чичоткина С.В. Восстановление несущей способности железобетонных и кирпичных конструкций с применением экологически чистых полимерных материалов	183
Колодяжный А.В., Мельчакова Н.В. Определение геометрических и весовых характеристик биметаллической композиции порошкового материала в технологии объемной пайки.	185
Черниенко В.В., Машков А.К., Граменицкий В.А., Павлышко Е.Г. Экспериментальные исследования модуля упругости железоборидных композиционных материалов.	187
Пашкова Г.И., Любченко А.П. Влияние вибрационной обработки на свойства сварных деталей.	189
Лобанов В.К., Гулюк А.А., Чуйкова Е.В. Штамповка заготовки корпуса прицела из трубы	190
Лобанов В.К., Гулюк А.А. Формообразование заготовок подшипников скольжения тепловозных дизелей.	190
Аксенова С.И. Влияние скорости нагружения на микростроение изломов закаленной стали.	192
Сатановский Е.А., Гаркушенко В.А., Лучко С.Т., Глушкина А.В. Особенности применения жаростойких Cr-Ni сталей для деталей, работающих при повышенных температурах газовых сред.	192
Любченко А.П., Цюрюпа В.Н., Сатановский Е.А., Литвинова В.А. Исследование адгезионной прочности электролитических хромовых сплавов, осажденных на высоколегированные стали и тугоплавкие материалы.	193
Сатановский Е.А., Гольнская Г.С., Якунина В.И. Влияние степени разбавления клея Лейконат на прочность крепления резины с металлом.	194
Черниенко В.В., Граменицкий В.А., Павлышко Е.Г. Композиционные термостойкие материалы для форкамер дизелей	194
Дудин А.Т. Пути развития автомобильного транспорта на Украине.	196

3. Разработка и применение компьютерных технологий

Бондаренко М.Ф., Дударь З.В., Збитнева М.В. Использование алгебры предикатов в задачах анализа топологии электрической сети.	199
Белоус Н.В., Шубин И.Ю., Выродов А.П. Роль психологических теорий обучения в проектировании компьютерных программ учебного назначения.	200
Иванов П.С., Келеберда И.Н., Шулика А.В., Сокол В. В. Интеграция обучающего ресурса и прикладного пакета LASERCAD III при организации дистанционного обучения	202
Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Открытие предельных возможностей быстродействия и памяти компьютеров.	205
Замирец Н.В., Котух В.Г., Нестерцова С.А. Создание технологии и средств технологического оснащения для герметизации конструктивных элементов радиоэлектронной и датчиковой аппаратуры повышенной надежности.	208
Какурин Н.Я., Голян В.В. Автоматизированное проектирование многоблочных преобразователей кодов.	210
Петков А.А. Внезапные отказы функциональных блоков разрядной цепи генератора импульсов тока.	212

4. Экономика и организация производства

Гриньова В.М. Форми погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва акціонерного товариства.	214
Іванов Ю.Б. Альтернативне оподаткування в системі засобів податкового стимулювання.	216

Кривошапка Ю.М. Проблеми зайнятості населення України в період реструктуризації промислових підприємств.	219
Попов О.Є. Визначення прав акціонерів акціонерного товариства.	220
Проскура Е.Ю. Особенности диагностики кризисного состояния предприятия.	223
Новикова М.Н. Организация инвестиционного процесса на предприятиях промышленности.	224
Гриньов А.В. Аналіз інноваційного процесу та взаємодії різних нововведень на підприємстві.	226
Щабельська І.В. Управління інвестиційною діяльністю підприємства.	227
Кривошапка Ю.М. Теоретичні основи корпоративного управління й організації діяльності акціонерних товариств	229
Власенко В.В. Система кодування інновацій на підприємстві як засіб підвищення ефективності управління інноваційною діяльністю.	231
Красноносова О.М. Особливості оплати праці спеціалістів промислових підприємств України в період розвитку ринкових відносин.	234
Загрявая Ю.А. Подходы к формированию корпоративного управления в Украине.	235
Ястремская Е.Н. Обоснование структуры инвестиционного отдела промышленного предприятия.	237
Буцкая И.О. Роль психофизиологических факторов в повышении эффективности трудовой деятельности умственного труда.	241
Чечетова-Тарашвили Т.М. Сравнительная характеристика матричных методов оценки рыночной позиции фирмы.	242
Шульга А.Ю. Воздействие внешних факторов на систему стимулирования персонала организации.	244
Салун М.М. Оновлення основних виробничих фондів промислових підприємств за допомогою лізингу.	245
Иванова О.Ю. Конкурентные преимущества предприятия: экономическая сущность и виды.	248
Лучанинов І.А. Економічне ук'яновіня обсягу додаткової емісії акцій акціонерного товариства.	250
Найденко О.Є. Критерії вибору стратегії підприємства.	252
Кожина О.Н. Коммерческий кредит как фактор оптимизации параметров движения материального потока.	254
Писарчук О.В. Вплив іноземних інвестицій на розвиток підприємств.	256
Пилипенко А.А. Економічне ук'яновіня трансформаційних змін в процесі розвитку акціонерного товариства.	257
Строкович А.В. Особенности формирования антикризисной ук'янов предприятия.	259
Олейникова Н.Н. Роль реинжиниринга в совершенствовании системы управления предприятием.	261
Котов А.Н. Характеристика источников формирования капитала предприятия.	262
Мартьянова М.П. Обоснование реукрустуризации государственного предприятия.	265
Пигарев В.П. Мотивация труда персонала предприятия	268

5. Динамика и прочность машин, проблемы математики, механики и управления

Бирюков Б.Н. Новый способ перемещения материальных объектов в пространстве.	271
Колодяжный А.В., Вакуленко К.В., Чернобрышко М.В., Ярошенко В.Г. Учет тепловыделения при соударении оболочек с различными скоростями скольжения.	272
Божко А.Е., Белых В.И., Мягкохлеб К.Б. О проектировании калибровочных электромагнитных вибростендов.	275
Кантор Б.Я., Ржевская И.Е., Стрельникова Е.А. Определение динамических характеристик собственных гидроупругих колебаний рабочих колес ГЭС.	277
Милешкин Н.Б., Библик И.В. Влияние различных видов дефектов на прочность цилиндрических оболочек из полимерных композитов.	279
Милешкин Н.Б., Библик И.В. Расчетно-экспериментальная оценка прочностной надежности конструкционных материалов различных классов.	282
Янютин Е.Г., Мымка Т.В. Нестационарное осесимметричное деформирование незамкнутого сферического слоя.	284
Сметанкина Н.В., Свет Е.В., Шуников А.Н. Определение температурных полей в пластинах сложной формы.	286
Медведовская Т.Ф., Медведовский А.В., Стрельникова Е.А. Уточненный расчет динамических напряжений и межремонтного периода конструкций проточного тракта гидротурбины с учетом явления трещиностойкости.	288
Ткачук Н.А., Ткачук А.В., Назарова О.П. Моделирование формы и построение численных моделей элементов сложных механических систем.	291
Шатохин В. М. Об устранении субгармонических резонансов в машинном агрегате с двухвальным транспортным дизелем.	293
Андреев Ю.М. Универсальный алгоритм решения задач кинестатики и его применение для расче-	

тов порталного крана.	297
Ромашов Ю.В. Интегральные оценки приближенных решений задач упругого деформирования тел с начальными деформациями.	300
Кириченко А.Ф., Павлов А.И., Чайка Э.Г. Компьютерное построение эволютного зацепления.	303
Успенский В. Б., Багмут И. А. Оценка точности гирокомпасирования в зависимости от величины систематических дрейфов гироскопов.	305
Сало В.А. Напряженно-деформированное состояние нетонких цилиндрических оболочек, ослабленных прямоугольными отверстиями.	307
Матюшенко Н.В., Зинченко А.В. Анализ некоторых геометрических и кинематических показателей цилиндрических передач Новикова ДЛЗ с арочной формой зубьев.	309
Горбатьюк Р.Н. Автоматизация расчёта эпициклоидальных насосов.	311
Горбатьюк Н.В., Горбатьюк Р.Н. Анализ безотказности насоса НД-450.	314
Працьовитий М.В., Комкова О.А. Неперервна фрактальна функція.	316
Листопад И.А., Влащенко Г.И., Гончаренко Г.И., Миняйло А.В., Лукьянов И.М. Исследование упругих характеристик стальных канатов.	318
Тигарев А.М., Тигарев В.М. Имитационное моделирование и натуральный эксперимент по определению объема выборки при анализе дисперсности.	319
Гутыря С.С., Колеушенко А.В. Вероятностная оценка усталостной прочности вагонных осей.	321
Браилов А.Ю. Конструирование и интерференция.	323
Тигарев В.М. Комплексная подготовка специалистов по компьютерной графике.	325
Кантор Б. Я., Кунделев А. Ю. Метод расчета напряжений в стенке гиперупругого сосуда.	327
Чобитько Т.Н. Вынужденные колебания установки для высокочастотных испытаний материалов с учетом реального источника ультразвуковых колебаний	329
Пильгун Г.В. Свободные колебания пластин сложной формы в геометрически нелинейной постановке	331
Макурин Н.С. Исследование и оптимизация структуры гибких технологических систем.	333
Гуль В.И. Особенности подготовки по технике высоких напряжений для специальности «Электрические сети и системы».	335

Научное издание

Труды 6-й Международной научно-технической конференции

Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.

10-11 октября 2002года, г. Харьков

Составили: Якимов Александр Васильевич,
Новиков Федор Васильевич

Ответственный за выпуск
Фадеев В.А.

Оформление оригинал-макета
Бондарь Н.Б., Савчук А.В., Молочный М.Н.

Подписано к печати 25.09.2002г. Формат 60x88/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 42.8. Уч.-изл. л. 41.5.
Тираж 500. Заказ №