

*9 - я Международная научно-
техническая конференция*

**ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*3 – 4 июня
2004 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 радиоэлектроники
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
Херсонский государственный технический университет
Тульский государственный университет
Курский государственный технический университет
Ульяновский государственный технический университет
Саратовский государственный технический университет
Пермский государственный технический университет

ГП "Завод им. Малышева"
АО "Мотор - Січ"

ХГ Авиационное производственное предприятие
ХГ Приборостроительный завод им. Шевченко
Харьковское агрегатное конструкторское бюро
НТК "Эльбор-4"

Гомельское ПО "Кристалл"

Жешувский технологический университет, Польша

Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

ТРУДЫ 9-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
TECHNICAL CONFERENCE**

Харьков 2004

УДК 62-65: 621.382.82

Физические и компьютерные технологии.

Труды 9-й Международной научно-технической конференции, 3-4 июня 2004г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2004. – 179 с

Представлены труды, в которых рассмотрены проблемы технологии машиностроения и обработки материалов; прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы; 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) | Коломиец В.В., д.т.н. | (Харьков) |
| Новиков Ф.В., д.т.н. | (Харьков) | Крюк А.Г., к.т.н. | (Харьков) |
| Фадеев В.А., к.т.н. | (Харьков) | Ларшин В.П., д.т.н. | (Одесса) |
| 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: | | Морачковский О.К., д.т.н. | (Харьков) |
| Гринева В.Н., д.э.н. | (Харьков) | Невлюдов И.Ш., д.т.н. | (Харьков) |
| Дудко П.Д., к.т.н. | (Харьков) | Новиков Г.В., к.т.н. | (Харьков) |
| Браславский Д.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) | Матюха П.Г., д.т.н. | (Донецк) |
| Воробьев Ю.С., д.т.н. | (Харьков) | Настасенко В.А., к.т.н. | (Херсон) |
| Гапонов В.С., д.т.н. | (Харьков) | Новоселов Ю.К., д.т.н. | (Севастополь) |
| Золотарев В.М., 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) |
| Евстратов В.А., д.т.н. | (Харьков) | Савченко Н.Ф., к.т.н. | (Харьков) |
| Карпушенко В.П., к.э.н. | (Харьков) | Скобло Т.С., д.т.н. | (Харьков) |
| Клименко С.А., д.т.н. | (Киев) | Сизый Ю.А., д.т.н. | (Харьков) |
| Королев А.В., д.т.н. | (Саратов) | Усов А.В., д.т.н. | (Одесса) |
| Колодяжный А.В., к.т.н. | (Харьков) | Худобин Л.В., д.т.н. | (Ульяновск) |
| Лавриненко В.И., д.т.н. | (Киев) | Тернюк Н.Э., д.т.н. | (Харьков) |
| Линчевский П.А., д.т.н. | (Одесса) | 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

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИКИ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Новиков Г.В., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The idealized analysis of legitimacies of process of cutting of stuffs is conducted.

Разработка высокопроизводительных процессов резания и шлифования материалов требует всестороннего изучения механики и теплофизики резания. Этим вопросам посвящены наши работы [1,2,3], в которых, в частности, показано значительное влияние коэффициента резания $K_{рез} = P_z / P_y$ (где P_z, P_y - тангенциальная и радиальная составляющие силы резания) на показатели процесса резания. В связи с этим, в данной работе проведен теоретический анализ коэффициента резания в зависимости от условий обработки и на его основе определены пути повышения эффективности процесса резания материалов.

В общем виде коэффициент резания описывается следующей зависимостью [1]:

$$K_{рез} = tg 2\beta = ctg(\psi - \gamma) = \frac{1 + f \cdot tg\gamma}{f - tg\gamma}, \quad (1)$$

где $K_{рез} = P_z / P_y$ - коэффициент резания; P_z, P_y - тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; β - угол сдвига материала; γ - передний угол инструмента; ψ - угол трения на передней поверхности инструмента ($tg\psi = f$ - коэффициент трения).

Учитывая определяющее значение коэффициента резания $K_{рез}$ в формировании силовой и тепловой напряженности процесса резания, произведем его количественную оценку.

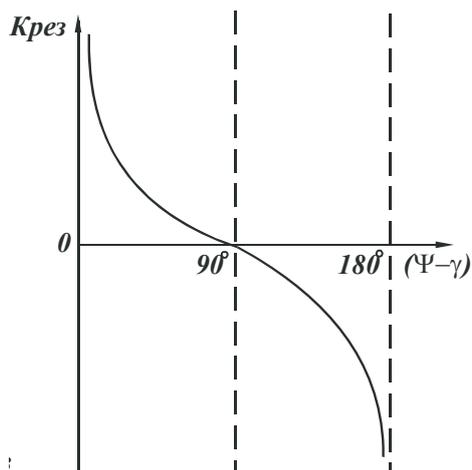


Рис.1. Зависимость коэффициента резания $K_{рез}$ от угла $(\psi - \gamma)$.

На рис.1 графически показан характер изменения коэффициента резания $K_{рез}$ в зависимости от угла $(\psi - \gamma)$. Графики построены на основе расчетной зависимости (1). По физической сущности коэффициент резания – положительная величина, поэтому изменение угла $(\psi - \gamma)$ должно ограничиваться пределами $0 \dots 90^\circ$. При значении угла $(\psi - \gamma) = 0$ коэффициент резания $K_{рез} \rightarrow \infty$, при значении угла - $(\psi - \gamma) = 90^\circ$ - коэффициент резания $K_{рез} = 0$. Представим зависимость (1) в виде

$$\psi - \gamma = arcctg K_{рез} = Arc,$$

откуда

$$\psi = Arc + \gamma. \quad (2)$$

Здесь угол Arc может изменяться от 0 до 90° . На рис.2 графически показана связь углов ψ и γ для различных значений Arc , который изменяется в пределах $0 \dots 90^\circ$. Как видим, при изменении угла трения ψ в пределах $0 \dots 90^\circ$, передний угол инструмента γ может

изменяться в пределах от -90° до $+90^\circ$. При $\psi = 0$ передний угол инструмента γ принимает лишь отрицательные значения. Это свидетельствует о том, что при работе инструментом с отрицательным передним углом γ необходимо существенно уменьшить угол трения ψ (коэффициент трения) на передней поверхности инструмента.

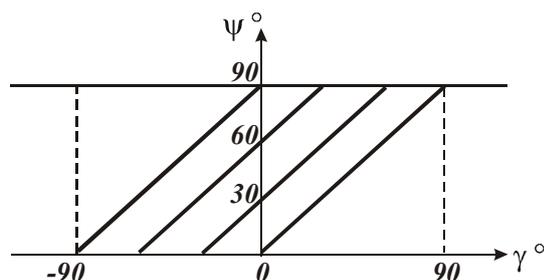


Рис. 2. Характер изменения угла трения ψ от переднего угла инструмента γ .

С увеличением угла трения $\psi \rightarrow 90^\circ$ необходимо применять инструменты исключительно с положительным передним углом γ . При невыполнении данных условий процесс резания неосуществим, так как, исходя из рис.1, коэффициент резания $K_{рез}$ будет принимать отрицательные значения, что физически невозможно.

Приведенные теоретические результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными и практикой резания. Так, инструменты с отрицательным передним углом γ (а это все абразивные инструменты)

изготавливаются из абразивных материалов, характеризующихся весьма низкими коэффициентами трения (порядка 0,1 - $\psi < 30^\circ$). Это позволяет реализовать процесс резания при больших отрицательных передних углах режущих зерен: $-90^\circ < \gamma < -45^\circ$. Очевидно, при $\gamma = -90^\circ$ процесс резания неосуществим, поскольку угол трения ψ не может быть равен нулю.

Наименьшим коэффициентом трения обладает алмаз. Поэтому алмазно-абразивные инструменты обеспечивают наименьшую силовую и тепловую напряженность процесса резания, допускают работу с большей степенью затупления режущих зерен (с большими отрицательными передними углами зерен).

Лезвийные инструменты изготавливают с положительным передним углом или небольшим отрицательным углом γ . Это связано с более высокими значениями коэффициента трения инструментальных материалов (инструментальных сталей, твердых сплавов, минералокерамики и т.д.), используемых при изготовлении лезвийных инструментов.

При использовании в лезвийных инструментах в качестве инструментальных материалов синтетических сверхтвердых материалов (синтетических алмазов, кубического нитрида бора и т.д.), характеризующихся низкими значениями коэффициента трения, передний угол γ может принимать нулевое и отрицательные значения. Это позволяет повысить прочность режущей части инструмента (а, следовательно, его износостойкость) без снижения режущей способности инструмента.

Таблица 1

| Значения угла трения | | | | | | |
|----------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| f | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 |
| ψ , град | 0 | 6 | 12 | 17 | 27 | 45 |

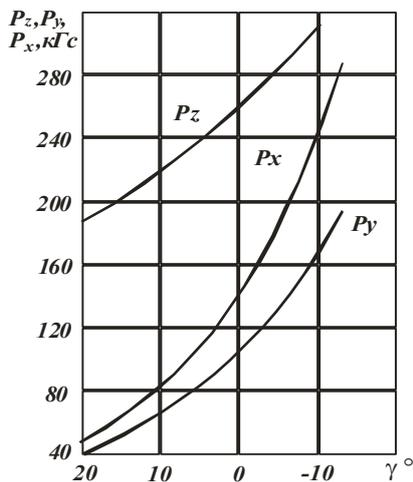


Рис. 3. Влияние переднего угла на силы P_z, P_y, P_x при точении (сталь 40; $\varphi = 60^\circ$; $t = 4$ мм; $S = 0,285$ мм/об; $V = 40$ м/мин).

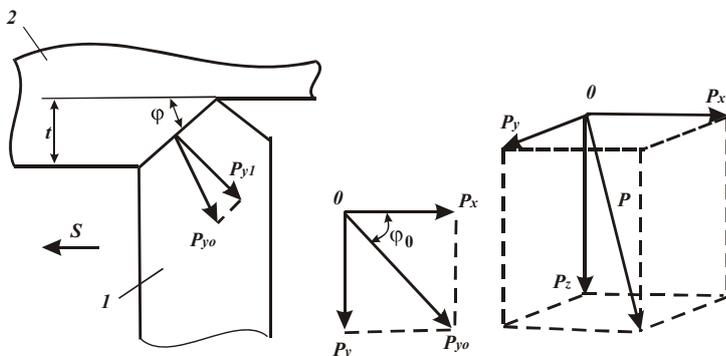


Рис. 4. Положение составляющих силы резания при точении: 1 – резец; 2 – заготовка.

на нормаль к главному лезвию резца; φ - главный угол в плане; φ_0 - угол между силами P_x и P_y ; φ'_0 - угол между силой P_{y_0} и ее проекцией P_{y_1} .

Из рис.2 следует, что переход в область отрицательных значений γ возможен при увеличенных значениях угла $Arc \rightarrow 90^\circ$ или небольших значениях $K_{рез} \rightarrow 0$ ($K_{рез} < 1$). Реализация положительных значений угла γ , наоборот, возможна при небольших значениях угла $Arc < 45^\circ$ и больших значениях коэффициента резания $K_{рез} \rightarrow \infty$ ($K_{рез} > 1$). Следовательно, условие $K_{рез} < 1$ выполняется при абразивной обработке, а условие $K_{рез} > 1$ - при лезвийной обработке. Реализовать условие $K_{рез} = 0$ невозможно, т.к. это требует, чтобы угол трения ψ (коэффициент трения) был равен нулю.

В табл. 1 приведены значения угла трения ψ , рассчитанные по зависимости $tg \psi = f$, где f - коэффициент трения.

Как установлено экспериментально, коэффициент трения f может изменяться в пределах 0...1. Следовательно, угол трения ψ может изменяться в пределах 0...45°.

Произведем количественную оценку коэффициента резания $K_{рез}$ и угла трения ψ , определяемого зависимостью (2), на основе экспериментальных данных, приведенных на рис. 3 [4].

Учитывая то, что сила резания имеет три составляющие:

P_z, P_y, P_x , коэффициент резания

$K_{рез}$ рассчитаем по зависимости $K_{рез} = P_z / P_{y_1}$, где

$P_{y_1} = P_{y_0} \cdot \cos \varphi'_0$; $P_{y_0} = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$;

$\varphi'_0 = (\varphi + \varphi_0) - 90^\circ$; $tg \varphi_0 = P_y / P_x$

(рис. 4). Здесь P_{y_0} - равнодействующая двух сил P_y, P_x ; P_{y_1} - проекция равнодействующей силы P_{y_0}

В табл. 2 приведены расчетные значения углов φ_0 и φ'_0 , коэффициента резания $K_{рез} = P_z / P_{y1}$, угла трения ψ и коэффициента трения f в зависимости от переднего угла инструмента γ .

Таблица 2

| γ , град | 20 | 10 | 0 | -10 |
|---------------------|-----|------|------|------|
| φ_0 , град | 39 | 39 | 40 | 35 |
| φ'_0 , град | 9 | 9 | 10 | 5 |
| $K_{рез}$ | 2,9 | 2,23 | 1,5 | 1,08 |
| ψ , град | 39 | 34 | 34 | 35 |
| f | 0,8 | 0,67 | 0,67 | 0,7 |

Как видим, с уменьшением переднего угла инструмента γ коэффициент резания $K_{рез}$ уменьшается, принимая значения $K_{рез} > 1$, что хорошо согласуется с вышеприведенными теоретическими результатами. Коэффициент трения

f также уменьшается с уменьшением γ , что связано с повышением температуры резания вследствие интенсивного роста составляющих силы резания P_z и P_y , рис.3.

При шлифовании коэффициент резания $K_{рез}$ (коэффициент шлифования $K_{ш}$) принимает значительно меньшие значения - $K_{ш} < 1$, рис.5. Так, при шлифовании алмазным кругом на металлической связке с введением в

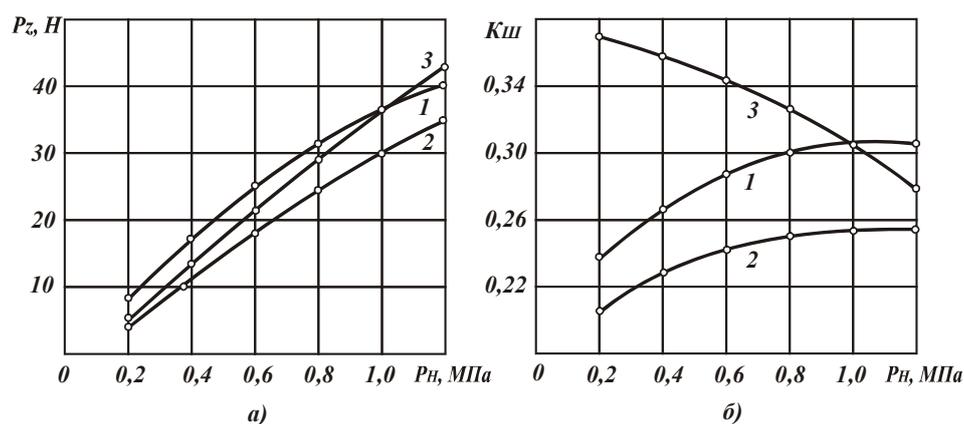


Рис.5. Влияние нормального давления на тангенциальную составляющую силы резания и коэффициент шлифования: условия шлифования - круг 12А2-45⁰ АС6 100/80 М1-01 4, $V = 20$ м/с, обрабатываемый материал: 1 - Т15К6-сталь 45-АЭШ, 2 - ТН-20-сталь 45 - АЭШ. 3 - ТН-20-сталь 45 - АШ (по данным В.В. Малыхина).

зону резания дополнительной электрической энергии (АЭШ) коэффициент шлифования $K_{ш}$ увеличивается с увеличением нормального давления P_n . При обычном алмазном шлифовании (АШ без тока), наоборот, коэффициент шлифования $K_{ш}$ уменьшается с увеличением нормального давления P_n .

Если рассматривать режущее зерно в форме шара (рис.6), то с увеличением P_n увеличивается толщина среза и соответственно уменьшается отрицательный передний угол γ , что согласно зависимости (1) ведет к увеличению коэффициента шлифования $K_{ш}$ ($K_{рез}$). Уменьшение $K_{ш}$ с увеличением P_n может быть связано с увеличением радиуса режущей части зерна вследствие его затупления.

Необходимо отметить, что при введении в зону резания дополнительной электрической энергии на ал-

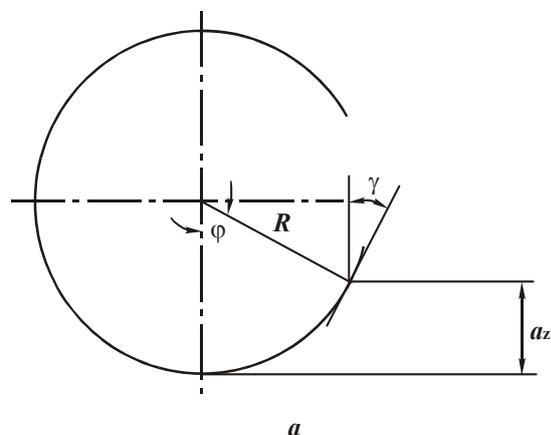


Рис. 6. Расчетная схема параметров стружкообразования при резании единичным зерном.

мазном круге поддерживается развитый режущий рельеф, своевременно удаляются с его рабочей поверхности затупившиеся зерна и круг обладает высокой режущей способностью. При обычном шлифовании алмазный круг работает в режиме затупления, что ведет к увеличению радиуса рабочей части режущего зерна. Кроме того, при этом происходит интенсивный контакт обрабатываемого материала с металлической связкой круга и продуктами обработки, удерживаемыми на рабочей поверхности круга, что дополнительно приводит к снижению коэффициента шлифования.

В нашей работе [1] приведена аналитическая зависимость для определения коэффициента шлифования

$$K_{ш} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{HV} \cdot \frac{a}{\rho}}, \quad (3)$$

где HV , $\tau_{сдв}$ - соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м²; a - толщина среза, м; ρ - радиус округления ре-

жущей части зерна, м.

Из зависимости (3) следует, что с увеличением a и уменьшением ρ коэффициент шлифования $K_{ш}$ увеличивается. Следовательно, увеличение значений $K_{ш}$, как показано на рис.5, связано с увеличением толщины среза a , а уменьшение значений $K_{ш}$ связано с уменьшением радиуса ρ .

На основе полученных выше решений можно определить предельные значения известного в теории шлифования соотношения a/ρ (при микрорезании единичным зерном), определяющие начало процесса стружкообразования. Из рис.6 нетрудно получить аналитическую зависимость, увязывающую между собой соотношение a/ρ и условный отрицательный передний угол режущего зерна γ :

$$\frac{a}{\rho} = 1 - \sin \gamma. \quad (4)$$

Как показано выше, угол γ может изменяться в пределах $-90^\circ \dots +90^\circ$. В зависимости (4) учтен знак “минус” при угле γ . Следовательно, соотношение a/ρ может изменяться в пределах $0 \dots 1$.

Для более точного расчета соотношения a/ρ , подставим в (4) зависимость (2)

$$\frac{a}{\rho} = 1 - \sin(\text{Arc} - \psi). \quad (5)$$

Таблица 3

Расчетные значения $f, a/\rho$

| ψ , град | 0 | 10 | 20 | 30 | 45 |
|---------------|---|--------|------|-------|-------|
| f | 0 | 0,17 | 0,36 | 0,58 | 1,0 |
| a/ρ | 0 | 0,0152 | 0,06 | 0,134 | 0,293 |

Наименьшее значение a/ρ будет иметь место при максимальном значении угла $\text{Arc} = 90^\circ$. В табл.3 приведены расчетные значения a/ρ в зависимости от угла трения ψ для $\text{Arc} = 90^\circ$.

Как видим, для реального диапазона изменения угла трения ψ соотношение a/ρ изменяется в пределах $0 \dots 0,293$. По известным экспериментальным данным, процесс стружкообразования при микрорезании единичным зерном начинается при $a/\rho > 0,04$. Исходя из табл.3, значение $a/\rho = 0,04$ достигается при значении коэффициента трения $f \approx 0,3$, которое можно практически осуществить. Следовательно, полученное теоретическое решение может быть использовано при анализе процесса стружкообразования при микрорезании единичным зерном.

Проведем анализ энергоемкости процесса резания. Энергоемкость или работа резания, затрачиваемая на сьем единицы объема обрабатываемого материала, равна условному напряжению резания σ , определяемому зависимостью

$$\sigma = \frac{2\tau_{сдв}}{K_{рез}} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}). \quad (6)$$

Условное напряжение резания σ зависит от двух параметров: предела прочности обрабатываемого материала на сдвиг $\tau_{сдв}$ и коэффициента резания $K_{рез}$. Чем меньше $\tau_{сдв}$ и больше $K_{рез}$, тем меньше σ . Коэффициент резания $K_{рез}$, в свою очередь, зависит однозначно от угла $(\psi - \gamma)$ по зависимости (1). Поэтому добиться уменьшения σ можно уменьшением угла $(\psi - \gamma)$, т.е. уменьшением угла трения ψ и увеличением переднего угла γ .

При $\gamma = 0$ зависимость для определения условного напряжения резания (6) примет вид

$$\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв} \cdot f \cdot (1 + \sqrt{1 + \frac{1}{f^2}}) = 2 \cdot \tau_{сдв} \cdot (f + \sqrt{1 + f^2}). \quad (7)$$

Учитывая то, что $f < 1$, зависимость (7) можно упростить

$$\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв} \cdot (1 + f). \quad (8)$$

Условное напряжение резания σ тем больше, чем больше коэффициент трения f на передней поверхности инструмента. Однако, с учетом $f < 1$ влияние f на σ не столь существенно.

При отрицательных значениях угла γ угол $(\psi - \gamma)$ больше, чем при положительных значениях γ , что приводит к уменьшению $K_{рез}$ и увеличению σ . Следовательно, при шлифовании (при отрицательных значениях γ) условное напряжение резания σ больше, чем при лезвийной обработке.

В общем случае коэффициент резания $K_{рез}$ изменяется в пределах от 0 до ∞ . Тогда условное напряжение резания σ будет изменяться от ∞ до значения $2 \cdot \tau_{сдв} \approx \sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ - предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м².

Что же с физической точки зрения означает условие $K_{рез} \rightarrow \infty$? Если обратиться к зависимости $K_{рез} = P_z / P_y$, то нетрудно видеть, что условие $K_{рез} \rightarrow \infty$ выполняется при $P_y \rightarrow 0$, т.е. при отсутствии радиальной составляющей силы резания P_y . Следовательно, наименьшие значения энергоемкости и температуры резания достигаются при $P_y \rightarrow 0$. Однако, реализовать данное условие на практике не представляется возможным, т.к. коэффициент резания не превышает, как правило, значений 10-12.

Реализовать условие $P_y \rightarrow 0$ можно при обработке металлов методами пластического деформирования (при обработке металлов давлением без образования стружки), например, при ковке, штамповке и т.д. Из этого вытекает, что процессы резания материалов более энергоемкие по сравнению с процессами, основанными на пластическом деформировании металлов, для которых возможно выполнение условия $\sigma \leq \sigma_{сж}$. Данная закономерность хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований.

Литература

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. – 450 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов”. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.
3. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями. – Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, ХПИ, 1989. – 210 с.
4. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания. – М.: Машгиз, 1956.- 367 с.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Дитиненко С.А., Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In activity the outcomes idealized and experimental researches of conditions of increase of efficiency of technology of precision processing of cylindrical surfaces of special hard-alloy tools in air effecting are adduced

Развитие авиационной промышленности, чрезвычайно высокие требования к изготовлению деталей и агрегатов авиационного назначения из материалов повышенной твердости, характеризующихся низкой обрабатываемостью, требуют применения наряду с ГОСТовскими инструментами множества разнообразных по конфигурации и геометрическим размерам специальных многолезвийных твердосплавных режущих инструментов (комбинированных зенкеров, разверток, сверл, фрез и т.д.). Данные инструменты в большинстве случаев отличаются высокими требованиями к качеству обработки рабочих поверхностей. Например, шероховатость обработки - на уровне $R_a = 0,1$ мкм, тогда как для обычных инструментов $R_a = 0,3$ мкм и более. Возникает необходимость съема больших припусков: при обработке последней ступени – комбинированного инструмента - трехступенчатого твердосплавного зенкера – до 10 мм и более.

Применение традиционных технологий обработки указанных инструментов, включающих операции шлифования абразивными и алмазными кругами, операции доводки алмазными пастами, характеризуются высокой трудоемкостью обработки, в особенности на операциях доводки. Это требует совершенствования технологий шлифования с целью снижения трудоемкости операций доводки, а в лучшем случае – исключение их из технологических процессов обработки, обеспечивая требуемые показатели качества обработки на операциях шлифования. Перспективным направлением решения данных задач является применение технологий шлифования алмазными кругами на металлических связках, которые обладают большими технологическими возможностями в плане повышения производительности и снижения технологической себестоимости обработки. Однако, как известно, данные технологии не обеспечивают высоких показателей шероховатости и точности обработки, особенно в условиях шлифования с относительно низкой жесткостью технологической системы, что имеет место при круглом наружном шлифовании специальных осевых твердосплавных режущих инструментов. Это требует разработки новых более эффективных технологий круглого наружного шлифования алмазными кругами на металлических связках, в том числе с применением электроэрозионной правки, позволяющих наряду с повышением производительности и снижением технологической себестоимости обработки улучшить параметры качества обработки (шероховатость и точность обрабатываемых поверхностей) до уровня показателей доводки свободным абразивом (алмазными пастами).

В работе предложено новое решение задачи выбора оптимальных параметров круглого наружного шлифования по критерию наибольшей производительности с учетом ограничения по точности и шероховатости обработки [1,2,3]. Теоретически показано, что в связи с возникновением в технологической системе упругого перемещения δ , фактическая производительность обработки $Q_{ф}$ всегда меньше номинальной производительности

$Q_{ном}$ на величину второго слагаемого зависимости:

$$Q_{\phi} = Q_{ном} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{\Pi}\right); \quad \delta = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}, \quad (1)$$

где Π - снимаемый припуск, м; C - приведенная жесткость технологической системы в радиальном направлении, Н/м; $K_{ш} = P_z / P_y$ - коэффициент шлифования; P_y, P_z - соответственно радиальная и тангенциальная составляющие силы резания при шлифовании, Н; σ - условное напряжение резания при шлифовании, Н/м²; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с.

Уменьшение величины δ (определяющей точность размера обработки) требует уменьшения $Q_{ном}$. Однако, это не эффективно, т.к. при этом уменьшается Q_{ϕ} . Как показывает практика, эффективнее использовать цикл круглого наружного шлифования, включающий этапы шлифования и выхаживания. Тогда средняя фактическая производительность цикла шлифования $Q_{ср}$ определится:

$$Q_{ср} = \frac{Q_{ном}}{(1 + \tau_2 / \tau_1)}, \quad (2)$$

где τ_1, τ_2 - длительность этапов шлифования и выхаживания, с; $\tau_1 = \Pi / S_{нон}$; $S_{нон}$ - поперечная подача, м/ход.

Для определения τ_2 получено дифференциальное уравнение интенсивности съема материала на этапе выхаживания:

$$\frac{dv}{d\tau} + A \cdot v = B, \quad (3)$$

где $A = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot F}$; $B = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi_1}{\sigma}$; v - объем снятого материала, м³; Π_1, Π_2 - припуски, удаляемые на этапах шлифования и выхаживания, м; F - площадь обрабатываемой цилиндрической поверхности, м².

С учетом начального условия $\delta / \tau=0 = \Pi_2$ решение уравнения (3) имеет вид:

$$Q_{\phi} = Q_{\phi_2} \cdot e^{-\frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \tau}{\sigma \cdot F}}, \quad \delta = \Pi_2 \cdot e^{-\frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \tau}{\sigma \cdot F}}, \quad Q_{\phi_2} = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi_2}{\sigma}. \quad (4)$$

Основное время цикла круглого наружного шлифования:

$$(\tau_1 + \tau_2) = \frac{F}{c \cdot V_{кр}} \cdot \left(\frac{\sigma}{K_{ш}}\right)_1 \cdot \left[\frac{1}{k_2} + z \cdot \ln\left(\frac{k_2}{k_0}\right)\right] = \frac{F}{c \cdot V_{кр}} \cdot \left(\frac{\sigma}{K_{ш}}\right)_1 \cdot \Phi, \quad (5)$$

где $z = \left(\frac{\sigma}{K_{ш}}\right)_2 / \left(\frac{\sigma}{K_{ш}}\right)_1$ - безразмерный коэффициент, $z \geq 1$; индексы 1 и 2 соответствуют этапам шлифования и выхаживания; $k_2 = \Pi_2 / \Pi$; $k_0 = \delta_0 / \Pi$; δ_0 - точность размера обработки, м.

Случай 1 ($z = 1$). Как следует из рис. 1,а, наименьшее значение безразмерной функции Φ (определяющей основное время цикла шлифования) достигается при $\tau_1 = 0$, т.е. оптимальный цикл шлифования включает лишь этап выхаживания (и естественно, непродолжительный этап создания начального натяга в технологической системе).

Случай 2 ($z > 1$). Исходя из рис. 1,а, для $z > 1$ безразмерная функция Φ с увеличением коэффициента k_2 изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума. С увеличением z экстремальные значения функции Φ увеличиваются и смещаются в область меньших значений k_2 . Это указывает на значительное влияние коэффициента z (определяющего режущую способность круга) на структуру цикла шлифования. Чем "острее" круг, тем эффективнее удалять большую часть припуска на этапе выхаживания. При шлифовании недостаточно "острым" кругом практически весь припуск необходимо удалять на этапе шлифования и лишь незначительную его часть – на этапе выхаживания. Теоретические результаты проверены экспериментально, рис. 1,б. При шлифовании "острым" алмазным кругом на металлической связке М1-10 (после электроэрозионной правки, кривая 1) время $(\tau_1 + \tau_2)$ с увеличением Π_2 непрерывно уменьшается, что соответствует кривой $z = 1$ на рис. 1,а. При шлифовании приработанным алмазным кругом зависимость $(\tau_1 + \tau_2) - \Pi_2$ трансформируется в экстремальную, что соответствует кривым для $z > 1$ на рис. 1,а. При шлифовании алмазным кругом (после электроэрозионной правки, а затем его обтачивания алмазным правящим карандашом, т.е. со значительными площадками износа на зернах), зависимость $(\tau_1 + \tau_2)$ от Π_2 реализуется лишь для небольших значений Π_2 . В результате основная часть припуска удаляется на этапе шлифования. Этим подтверждены теоретические результаты.

Длительность оптимального цикла шлифования, включающего лишь этап выхаживания, определяется зависимостью:

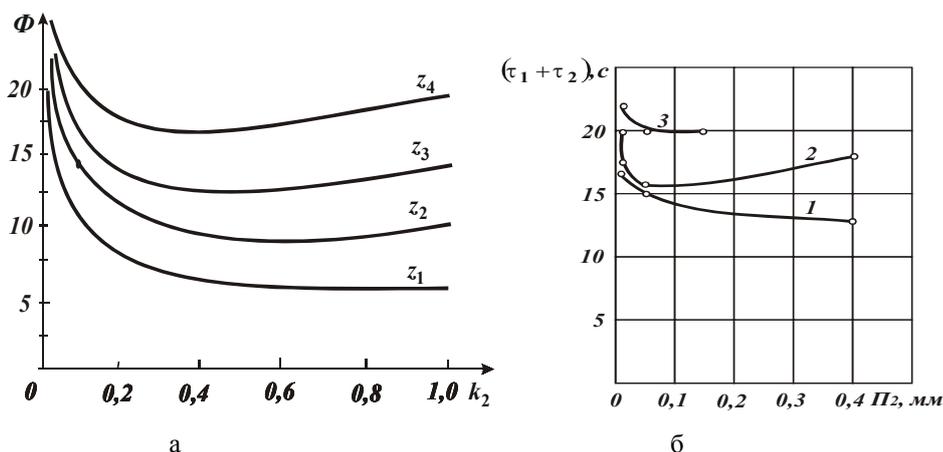


Рис. 1. Изменение безразмерной функции Φ от безразмерного коэффициента k_2 ($z_1 = 1$, $z_2 = 2$, $z_3 = 3$, $z_4 = 4$) (а) и экспериментальные зависимости времени цикла шлифования $(\tau_1 + \tau_2)$ от припуска Π_2 (на этапе выхаживания): 1 – при шлифовании “острым” алмазным кругом (после его электроэрозионной правки); 2 – при шлифовании приработанным алмазным кругом; 3 – при шлифовании алмазным кругом с притупленными режущими кромками (после обтачивания круга алмазным правящим карандашом) (б).

Уменьшить τ (т.е. повысить производительность цикла круглого наружного шлифования) с учетом ограничений по точности обработки можно уменьшением отношения $\sigma / K_{ш}$. Это соответствует уменьшению безразмерного коэффициента $\eta \rightarrow 0$ за счет уменьшения величины линейного износа зерна $x \rightarrow 0$ и увеличения максимальной толщины среза H_{max} .

Установлено, что при круглом наружном шлифовании параметр H_{max} (или a_z) больше параметра шероховатости обработки R_{max} . Между этими параметрами существует связь: $H_{max} = \alpha \cdot R_{max}$, где α - безразмерный коэффициент, $\alpha > 1$. Тогда коэффициент η можно аналитически выразить

$$\eta = \frac{x}{x + \alpha \cdot R_{max}} \quad (7)$$

Как видим, уменьшение параметра R_{max} ведет к увеличению безразмерного коэффициента η , а это приведет к снижению производительности обработки. Следовательно, коэффициент η по-разному влияет на производительность и шероховатость обработки: с уменьшением η производительность увеличивается, а шероховатость уменьшается.

Практически исключить влияние параметра шероховатости обработки R_{max} на коэффициент η , исходя из зависимости (7), можно увеличением величины линейного износа зерна x , обеспечивая выполнение условия $x \gg R_{max}$, т.е. создавая на режущих зернах значительные площадки износа. Очевидно, реализация данного условия приводит к тому, что коэффициент $\eta \rightarrow 1$, а это ведет к снижению производительности обработки.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили правомочность данного условия. За счет образования на режущих зернах значительных площадок износа (т.е. увеличения величины x) удалось в 10-20 раз уменьшить шероховатость обработки до требуемого уровня $R_a = 0,1$ мкм и ниже. Безразмерный коэффициент η при этом увеличился до значения $\eta = 0,91$. Оценим, в какой степени это повлияло на

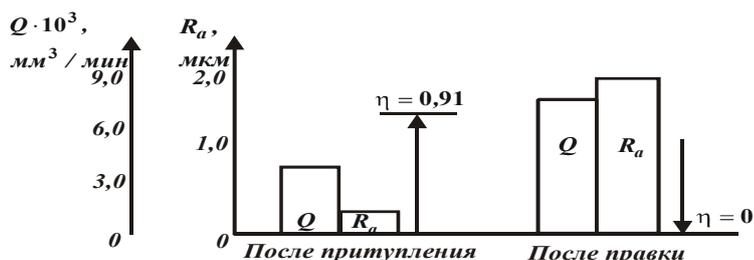


Рис. 2. Значения производительности Q и шероховатости обработки R_a при шлифовании алмазным кругом на металлической связке после притупления режущих кромок и после его электроэрозионной правки.

$$\tau = \frac{F}{c \cdot V_{кр}} \cdot \frac{\sigma}{K_{ш}} \cdot \ln \frac{\Pi}{\delta_0} \quad (6)$$

где $\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}{2 \cdot (1 - \eta)}$;

$$\eta = \frac{x}{(x + H_{max})}; \quad HV -$$

твердость (по Виккерсу) обрабатываемого материала, $\text{H}/\text{м}^2$; γ - половина угла при вершине режущего зерна, рабочая часть которого представлена в форме усеченного конуса; η - безразмерный коэффициент, изменяется в пределах $0 \dots 1$; x - условная величина линейного износа зерна, м; H_{max} - максимальная толщина среза, м.

уменьшение производительности цикла круглого наружного алмазного шлифования. Для этого обратимся к экспериментальным установленным данным, приведенным на рис. 1,б. При шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 сразу после его интенсивной электроэрозионной правки суммарное время цикла шлифования приблизительно в два раза меньше, чем при шлифовании тем же алмазным кругом после его обтачивания алмазным правящим карандашом. Следовательно, за счет притупления режущих кромок зерен мы уменьша-

ем производительность обработки лишь в 2 раза, обеспечивая при этом уменьшение шероховатости обработки в 10-20 раз. Иными словами, проигрывая по производительности лишь в 2 раза, мы выигрываем по шероховатости обработки в 10-20 раз, что указывает на эффективность шлифования алмазным кругом на металлической связке после его обтачивания алмазным правящим карандашом (с целью притупления режущих кромок зерен).

На рис. 2 приведены экспериментальные значения производительности и шероховатости обработки при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 после его электроэрозионной правки, а так же после обтачивания алмазным правящим карандашом. Здесь же показаны достигаемые значения коэффициента η .

Нами проводились экспериментальные исследования мощности шлифования указанным выше алмазным кругом после его электроэрозионной правки и после притупления режущих кромок путем обтачивания круга алмазным правящим карандашом, табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные значения мощности шлифования N , Вт (условия шлифования – алмазный круг 1А1 300x20x5 АС6 125/100 М1-10 4, $V_{кр} = 30$ м/с; $V_{дет} = 10$ м/мин; $t = 0,1$ мм; $S_{np} = 5$ мм/об, обр. материал: твердый сплав ВК8)

| После электроэрозионной правки круга | После обтачивания круга алмазным карандашом |
|--------------------------------------|---|
| 190 | 380 |

Как следует из табл. 1, в первом случае мощность шлифования в 2 раза меньше, чем во втором. Представим мощность шлифования N зависимостью

$$N = P_z \cdot V_{кр} = \sigma \cdot \frac{Q}{V_{кр}} \cdot V_{кр} = \sigma \cdot Q, \quad (8)$$

где P_z - тангенциальная составляющая силы резания, Н; σ - условное напряжение резания, Н/м²; Q - производительность обработки, м³/с.

При $Q = const$ увеличение мощности шлифования N возможно за счет увеличения условного напряжения резания σ . Согласно приведенным выше зависимостям, увеличение σ происходит в результате увеличения

безразмерного коэффициента $\eta = \frac{x}{x + H_{max}}$. Следовательно, увеличение в 2 раза мощности шлифования N произошло в результате увеличения коэффициента η .

Если условно принять, что после электроэрозионной правки алмазного круга на металлической связке коэффициент $\eta = 0$, то для того чтобы произошло увеличение условного напряжения резания σ (и соответственно мощности шлифования N) в 2 раза, коэффициент η должен принять значение $\eta = 0,75$. Учитывая то, что даже после электроэрозионной правки круга $\eta > 0$, то после обтачивания круга алмазным правящим карандашом коэффициент η будет превышать значение 0,75. Следовательно, коэффициент η может приблизиться к значению $\eta = 0,91$.

Для сравнения по критерию наибольшей производительности обработки рассмотрим 3 варианта технологического процесса обработки цилиндрической поверхности специального твердосплавного режущего инструмента (развертки), табл. 2. Первый и второй варианты обоснованы выше, третий – базовый вариант, используемый на Харьковском машиностроительном заводе «ФЭД».

Таблица 2

Сравниваемые варианты технологического процесса обработки цилиндрической поверхности специального твердосплавного режущего инструмента – развертки (диаметр – 20 мм, длина – 30 мм, припуск - 1 мм)

| № варианта | Операция круглого наружного продольного шлифования | Операция доводки алмазной пастой | Время обработки, мин. |
|------------|--|---|-----------------------|
| 1 | Алмазный круг 1А1 300x20x5 АС6 125/100 М1-10 4 после электроэрозионной правки и обтачивания алмазным правящим карандашом; $R_a = 0,1$ мкм; $\tau = 2$ мин. | Нет | 2 |
| 2 | Алмазный круг 1А1 300x20x5 АС6 125/100 М1-10 4 после электроэрозионной правки; $R_a = 1,0$ мкм; $\tau = 1$ мин. | Припуск – 0,02 мм; $R_a = 0,1$ мкм; $\tau = 4$ мин. | 5 |
| 3 | Алмазный круг 1А1 300x20x5 АС4 100/80 В2-01 4; $R_a = 0,4$ мкм; $\tau = 3$ мин. | Припуск – 0,02 мм; $R_a = 0,1$ мкм; $\tau = 4$ мин. | 7 |

Как видим, первый вариант обеспечивает наименьшее время обработки, т.е. наибольшую производительность, не требует применения операции доводки алмазной пастой. Необходимая шероховатость обработки $R_a = 0,1$ мкм формируется на операции круглого наружного продольного шлифования в результате использования цикла, включающего этапы шлифования и выхаживания. Этап выхаживания обеспечивает точность размера обрабатываемой поверхно-

сти в пределах 0,01 мм.

Производительность обработки при круглом наружном продольном шлифовании алмазным кругом на органической связке В2-01 меньше, чем при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-10 (как после электроэрозионной правки круга, так и после его обтачивания алмазным правящим карандашом).

Проведем анализ технологической себестоимости обработки в соответствии с зависимостью, приведенной в работе [4], учитывающей две основные изменяющиеся статьи затрат:

$$C = a_1 \cdot q + \frac{a_2}{Q \cdot \rho_m}, \quad (9)$$

где a_1 - стоимость алмазного порошка в инструменте, грн/мг; a_2 - зарплата рабочего, грн/с; q - удельный расход алмаза, мг/г; ρ_m - плотность обрабатываемого материала, г/мм³; Q - производительность обработки, мм³/с.

Из зависимости (9) следует, что первое слагаемое обусловлено расходом алмазного порошка инструмента, а второе – производительностью обработки. С увеличением производительности обработки Q технологическая себестоимость обработки C уменьшается. Следовательно, второе слагаемое зависимости (9) будет наименьшим для первого рассматриваемого варианта технологического процесса (табл. 1).

Нами были проведены экспериментальные исследования удельного расхода алмаза q при шлифовании алмазным кругом 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1-10 4 (после его электроэрозионной правки, а также после его обтачивания алмазным правящим карандашом) и алмазным кругом 1А1 300х20х5 АС4 100/80 В2-01 4. Наименьший удельный расход алмаза q достигается при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-10 после его обтачивания алмазным правящим карандашом.

Исходя из этого, можно заключить, что для первого варианта технологического процесса обеспечивается наименьшее первое слагаемое зависимости (9). Следовательно, наименьшая технологическая себестоимость обработки C достигается по первому варианту технологического процесса. Поэтому его необходимо рекомендовать для практического применения.

Литература

1. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Технология и теория прецизионной обработки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках. – Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 8-й Межд. научн.-техн. конф., 9-10 декабря 2003 г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 34-39.
2. Дитиненко С.А. Кинематические схемы формирования шероховатости поверхности при шлифовании // Високі технології в машинобудуванні. Збірка наукових праць НТУ “ХПІ”. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – Вип. 1(8). – С. 34-42.
3. Дитиненко С.А. Параметрическая оптимизация цикла круглого наружного продольного алмазного шлифования специальных твердосплавных инструментов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні” – Харків: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 26. – С. 61-70.
4. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса: ОГПУ, 1995. – 36 с.

УДК 621.923

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Шкурупий В.Г.

(г. Харьков, Украина)

The outcomes idealized and experimental researches of a roughness of the treated surface are adduced.

При анализе влияния различных методов обработки на эксплуатационные показатели деталей машин пользуются относительной опорной длиной профиля обработанной поверхности, наиболее информативной характеристикой шероховатости поверхности [1]. Существуют аналитические подходы к ее определению для условий шлифования [2,3,4]. Вместе с тем, для выработки научно-обоснованных рекомендаций требуется дальнейшее проведение исследований относительной опорной длины профиля обработанной поверхности и ее взаимосвязи с эксплуатационными характеристиками обработанных поверхностей деталей машин.

В работе [5] аналитически с позиции теории вероятностей аналитически описаны закономерности шлифования с помощью функции распределения $\varepsilon(y)$ - относительной полноты профиля круга при шлифовании прямолинейного образца, движущегося с постоянной скоростью V'_{dem} по нормали к рабочей поверхности круга:

$$\varepsilon(y) = 1 - e^{-\frac{tgy \cdot k \cdot V'_{kp}}{3 \cdot b \cdot V'_{dem}} \cdot y^3}, \quad (1)$$

где k - поверхностная концентрация зерен круга, шт/м²; b - максимальная высота выступания зерен над уровнем

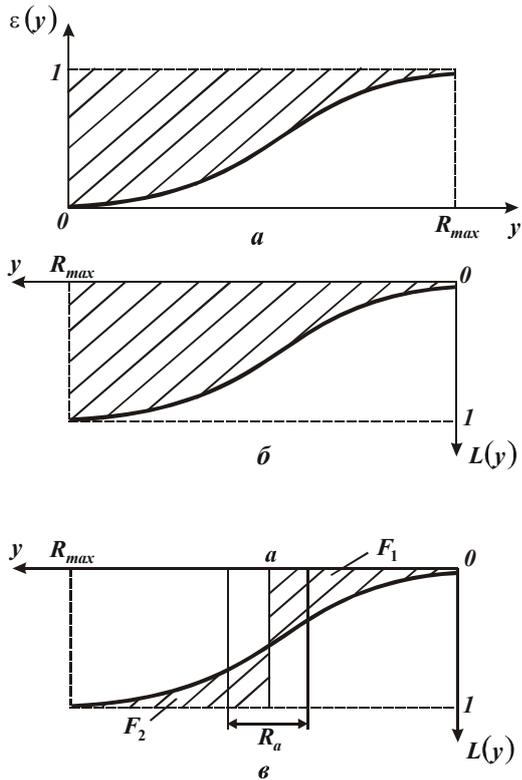


Рис. 1. Общий вид функций $\varepsilon(y)$, $L(\bar{y})$.

выражения

$$R_a = \frac{F_1 + F_2}{1}, \tag{3}$$

где F_1 – площадь, ограниченная линиями $\bar{y} = a$, $L(\bar{y})=0$ и функцией $L(\bar{y})$; F_2 – площадь, ограниченная линиями $\bar{y} = a$, $L(\bar{y})=1$ и функцией $L(\bar{y})$.

Значение $\bar{y} = a$ определяет положение средней линии, полученной из равенства площадей, занимаемых выступами и впадинами на участке базовой длины l обработанной поверхности. Численные расчеты для конкретных условий шлифования показали, что соотношение параметров шероховатости R_{max} / R_a изменяется в пределах 4...5 [5]. Это указывает на то, что функция $L(\bar{y})$ может быть (приблизительно) описана прямой линией, проведенной через начало координат и точку с координатами $\bar{y} = R_{max}$ и $L(\bar{y})=1$, рис. 2,а. В данном случае отношение $R_{max} / R_a = 4$.

Полученный теоретический результат хорошо согласуется с известными экспериментальными данными. В тоже время установлено, что данное соотношение при определенных условиях обработки может изменяться в более широких пределах: от 5 до 8 и более. Поэтому рассмотрим теоретически условия формирования такого большого соотношения R_{max} / R_a , принимая условно функцию относительной опорной длины профиля обработанной поверхности в виде, показанном на рис. 2,б (здесь L_0 – безразмерная величина, изменяющаяся в пределах от 0 до 1).

Исходя из рис. 2,б, произведем расчет параметра шероховатости обработки R_a . Определим величину x из геометрического соотношения:

$$\frac{L_0 - x}{a} = \frac{L_0}{R_{max}}, \quad \text{откуда}$$

$$x = L_0 \cdot \left(1 - \frac{a}{R_{max}} \right). \tag{4}$$

Определим первоначально положение средней линии $\bar{y} = a$ из условия равенства заштрихованных на рис. 2,б площадей:

$$0,5 \cdot a \cdot (L_0 - x) = (R_{max} - a) \cdot (1 - L_0) + 0,5 \cdot x \cdot (R_{max} - a),$$

откуда

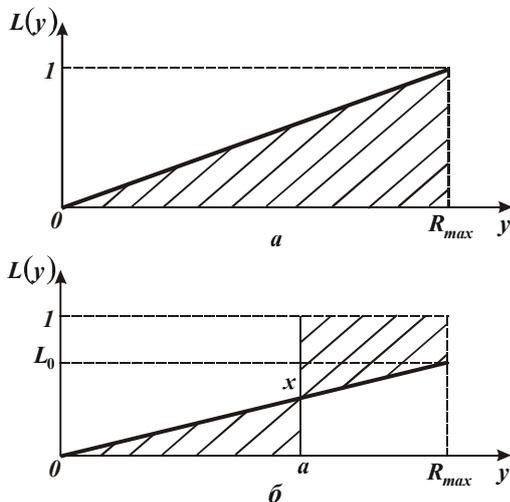


Рис. 2. Вид упрощенной функции $L(\bar{y})$.

$$a = R_{max} \cdot (1 - 0,5 \cdot L_0). \quad (5)$$

Параметр шероховатости обработки R_a определим из условия:

$$R_a \cdot 1 = 2 \cdot 0,5 \cdot a \cdot (L_0 - x).$$

Откуда с учетом зависимостей (4) и (5), имеем

$$R_a = R_{max} \cdot L_0 \cdot (1 - 0,5 \cdot L_0)^2. \quad (6)$$

Как видим, при $L_0=1$ параметр $R_a = \frac{R_{max}}{4}$, что соответствует приведенному выше решению, т.е. расчеты выполнены правильно. Из зависимости (6) следует, что величина L_0 оказывает на параметр R_a неоднозначное влияние. Расчетные данные, характеризующие изменение параметра R_a от L_0 , приведены в табл. 1 (для $R_{max}=1$ мкм).

Таблица 1

Расчетные значения R_a и R_{max} / R_a

| L_0 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|-----------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| R_a , мкм | 0 | 0,09 | 0,162 | 0,217 | 0,256 | 0,281 | 0,294 | 0,295 | 0,29 | 0,277 | 0,25 |
| R_{max} / R_a | ∞ | 11,1 | 6,25 | 4,54 | 3,85 | 3,57 | 3,4 | 3,39 | 3,45 | 3,7 | 4,0 |

С увеличением L_0 от 0 до 0,7 параметр шероховатости обработки R_a увеличивается, при $L_0 > 0,7$ – уменьшается, рис.3. Отношение R_{max} / R_a , наоборот, с увеличением L_0 до значения 0,7 уменьшается, затем увеличивается, при-

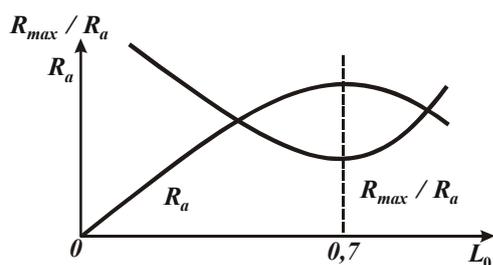


Рис. 3. Характер изменения R_a и R_{max} / R_a от L_0 .

нимаемая при $L_0 < 0,2$ значения, превышающие 6. Этим показано, что форма относительной опорной длины профиля обработанной поверхности $L(\bar{y})$ определяет значения параметра шероховатости поверхности R_a и соотношения R_{max} / R_a .

Увеличенные значения $R_{max} / R_a > 6$ обусловлены тем, что на участке базовой длины l обработанной поверхности площадь, ограниченная впадинами микронеровностей и средней линией, превышает площадь, ограниченную выступами микронеровностей и средней линией. Это может иметь место при шлифовании кругом с притупленными режущими кромками. Например, установлено [1], что наименьшая относительная опорная длина профиля достигается после шлифования абразивным кругом, а наибольшая – после

шлифования алмазным кругом на металлической связке и кругом из кубонита. Следовательно, шлифование кругами из синтетических сверхтвердых материалов позволяет увеличить опорную площадь и соответственно несущую способность и износостойкость деталей машин. Поэтому при выборе оптимального метода обработки необходимо знать его возможности по формированию как высотных параметров шероховатости R_{max}, R_a , так и относительной опорной длины профиля обработанной поверхности.

Рассмотрим условия формирования шероховатости поверхности в процессе обработки ионным потоком в вакууме.

Известно, что на поверхности металла есть тончайшие адсорбированные пленки, которые при механической, химической или электрохимической очистке лишь изменяют свой состав.

В процессе эксплуатации под воздействием излучения в вакууме поверхность детали может изменить параметры шероховатости и оптические характеристики. Для изучения влияния ионного потока в вакууме на поверхностный слой детали был поставлен эксперимент на установке "Булат-3Т". Изменения высотных и структурных параметров шероховатости поверхности изучали на образцах из лент 36НХТЮ после шлифования и полирования.

В процессе ионной бомбардировки адсорбированные на поверхности пленки удаляются и должно происходить распыление выступающих участков неровностей.

В табл.2 представлены значения параметров шероховатости поверхности до и после ионной бомбардировки. Режим обработки: ускоряющее напряжение 1,3 кВ; ток дуги 100 А; давление 1×10^{-4} Па; длительность обработки 600 с (импульсы 3/10 с). Электрод – титан ВТ1-0.

Анализ табличных данных (табл. 2) показывает, что высотные параметры H_{max} и H_{min} , изменяются значительно (в 2...3 раза) в сторону увеличения их значений для образцов с значениями R_a менее 0,24 мкм.

Таблица 2

Значения параметров шероховатости поверхности до и после ионной бомбардировки ($\tau = 10$ мин)

| Вид предварительной обработки | Высота неровностей, мкм | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
| | R_a | | H_{max} | | H_{min} | |
| | до | по- сле | до | после | до | после |
| Шлифование абразивное | 0,61 | 0,79 | 2,19 | 2,68 | 3,15 | 4,04 |
| Шлифование абразивное | 0,24 | 0,26 | 0,69 | 1,98 | 0,99 | 0,75 |
| Шлифование абразивное | 0,23 | 0,29 | 0,97 | 1,67 | 1,15 | 1,23 |
| Шлифование абразивное | 0,17 | 0,27 | 0,39 | 0,97 | 0,55 | 1,18 |
| Шлифование абразивное | 0,16 | 0,30 | 0,27 | 1,86 | 0,61 | 1,51 |
| Шлифование абразивное | 0,12 | 0,26 | 0,30 | 2,09 | 0,62 | 0,93 |
| Шлифование абразивное | 0,08 | 0,30 | 0,13 | 1,70 | 0,52 | 1,12 |
| Полирование абразивное | 0,08 | 0,20 | 0,20 | 1,43 | 0,56 | 1,58 |
| Полирование абразивное | 0,08 | 0,24 | 0,18 | 1,03 | 0,37 | 0,97 |

Для образцов с значениями R_a более 0,6 мкм наблюдается незначительное изменение значений параметров шероховатости поверхности.

Опорные кривые поверхностей образцов до и после ионной бомбардировки приведены на рис.4. Анализ опорных кривых показывает, что после шлифования и полирования 2 и 3 наблюдается значительное изменение полноты неровностей в сторону ее снижения. Полнота опорной кривой 1 увеличилась (для случая шлифования с $R_a = 0,61$ мкм), что можно объяснить преимущественным изменением размеров неровностей у вершин выступов за счет их распыления и частичного осаждения титана.

На рис. 5 приведены профилограммы поверхности образцов до (1, 3, 5) и после (2, 4, 6) ионной бомбардировки.

Подтверждается существенное изменение высотных, шаговых и структурных параметров шероховатости поверхности.

При обработке высокоотражательных поверхностей деталей из алюминиевых и медных сплавов рекомендуются технологические процессы точения и выглаживания взамен абразивного полирования или абразивное полирование с последующим кратковременным электрохимическим полированием. Этим обеспечивается более высокая стабильность оптических характеристик обработанных поверхностей.

При обработке светорассеивающих поверхностей рекомендуется струйно-абразивная обработка, химическое и электрохимическое травление,

Учет формы неровностей критерием шероховатости поверхности в ряде случаев позволяет объяснить недостаточную чувствительность высотных параметров шероховатости поверхности.

Оценка работы выхода электронов и критерии шероховатости поверхности могут быть использованы для описания физико-химического состояния обработанных поверхностей.

Разработанные модели абразивного и электрохимического полирования позволяют назначать рациональные режимы обработки светотражательных поверхностей деталей и исследуемых сплавов.

Изучение верхних участков шероховатых поверхностей позволило установить значения параметров b и ν , характеризующих начальную часть

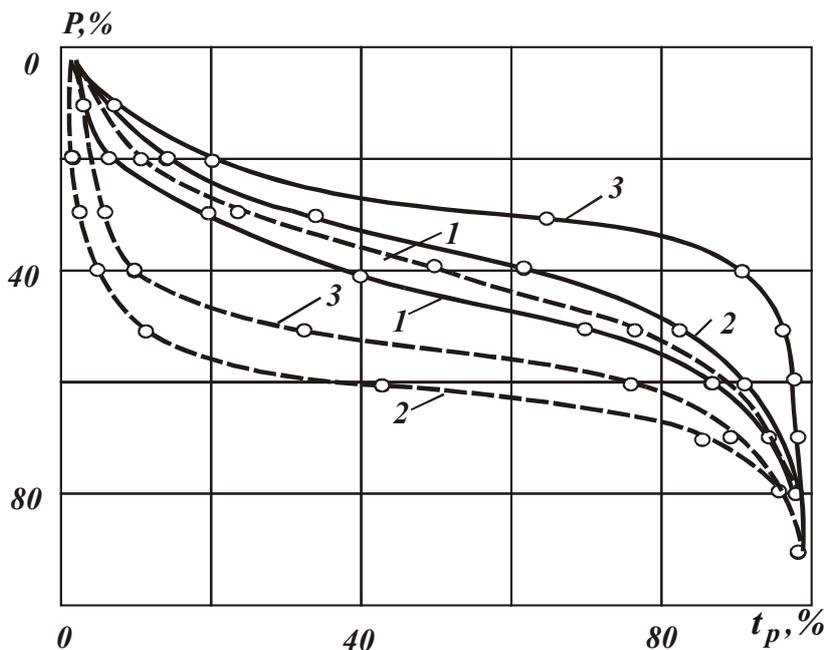


Рис. 4. Опорные кривые поверхностей образцов из стали ЭИ 961 до и после ионной бомбардировки: 1, 2 - шлифование; 3 - полирование; ---- до обработки; - - - после обработки.

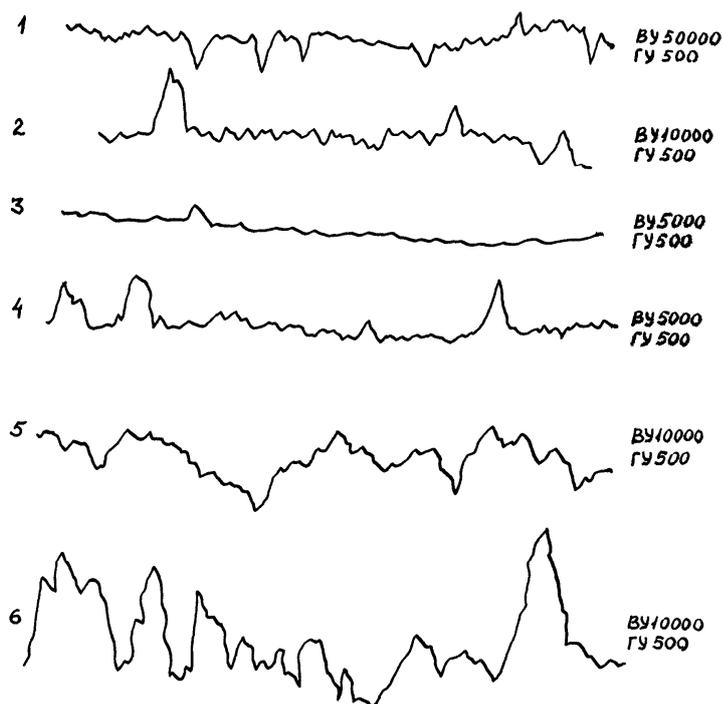


Рис. 5. Профилограммы поверхности образцов до и после ионной бомбардировки: 1, 3, 5 - до и 2, 4, 6 - после обработки.

пов.

Геометрические характеристики микронеровностей, высота неровностей, их шаги связаны между собой. С уменьшением высоты неровностей при каждом методе обработки возрастает соотношение между шагом неровностей профиля S и высотой R_{max} . Для большинства методов механической обработки при средней высоте неровностей поверхностей шаг S поперечной шероховатости не превышает $40 R_{max}$ (шлифование, точение, строгание, фрезерование, растачивание стальных и чугунных деталей).

Для неровностей меньшей высоты их шаги могут достигать почти $300 R_{max}$. Шаг S_{np} продольной шероховатости обычно превышает шаг поперечной шероховатости. Отношение этих величин в большинстве случаев не превышает 15, хотя в отдельных случаях достигает 40. Абсолютные значения шага продольных неровностей достигают $800 R_{max}$. Следовательно, чем больше радиусы закругления выступов, тем меньше углы профиля и больше размеры оснований отдельных неровностей и их шаг (при определенной высоте шероховатости).

Таким образом, за критерий оценки шероховатости, полученной различными методами обработки, можно принять отношение радиуса закругления выступов к высоте неровностей.

При необходимости получения более точных значений, характеризующих опорную площадь и другие геометрические параметры качества поверхности деталей, обязательно следует учитывать конкретные условия выполнения соответствующей технологической операции (материал обрабатываемой детали, получаемую шероховатость при определенных режимах обработки, материал инструмента и т. д.). При этом во многих случаях целесообразно учитывать технологическую наследственность.

Литература

1. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э.В. – К.: Наук. думка, 1984. – 272 с.
2. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
3. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 185 с.
4. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с.
5. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса: ОГПУ, 1995. – 36 с.

опорных кривых (опорную площадь). Для основных технологических методов обработки они позволяют выполнить ориентировочные расчеты для определения опорной площади шероховатых поверхностей.

Опорная площадь может оказаться одинаковой для нескольких поверхностей, обработанных различными методами. Отличия таких поверхностей устанавливаются по геометрическим характеристикам отдельных микронеровностей: каждому методу обработки соответствует определенный диапазон изменения углов профиля и радиусов закругления выступов в зависимости от высоты шероховатости поверхностей.

В преобладающем большинстве случаев радиус r_{np} закругления вершин микронеровностей в продольном направлении превышает радиус r_n закругления в поперечном направлении. Угол β_n профиля микронеровности для поперечного направления больше, чем угол β_{np} для продольного. С уменьшением высоты неровностей наблюдается общая тенденция к уменьшению углов профиля и соответствующему увеличению радиусов закругления выступов.

УДК 629.113

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф., Бажанов А.И., Якимов А.В., докт. техн. наук, проф.
(г. Одесса, Украина)

In work conditions of management are proved by processes on the basis of computer diagnostics of technological systems.

В соответствии с паспортом специальности «технология машиностроения» одним из важных направлений в этой науке является управление точностью и качеством изготовления изделий. Процесс управления, как известно, осуществляется на двух смежных этапах жизненного цикла изделий: этапе технологической подготовки производства (ТПП) и этапе собственно изготовления продукции. В этом смысле управление на первом этапе может быть названо предварительным (этап планирования), а на втором (собственно изготовление) — окончательным. Результатом первого этапа является план будущих технологических действий (информационный продукт, хранящийся на магнитных, лазерных, бумажных и т.п. носителях информации). Результатом второго этапа является готовое изделие (материальный продукт деятельности машиностроительного предприятия или фирмы). Следовательно, объектом управления на первом этапе (этапе ТПП) является процесс проектирования технологии (т.е. процесс разработки плана будущих действий), а объектом управления на втором этапе (этапе изготовления) — является процесс изготовления продукции (производственный или технологический процесс). С точки зрения технологии машиностроения объектом управления на втором этапе является так называемая технологическая система под которой понимают технологическую конструкцию, включающую оборудование, технологическую и инструментальную оснастку, и собственно изделие.

В общей теории управления [1] принято условно различать такие режимы управления как режим реального времени (on-line) и режим разделения времени (off-line). В первом случае речь идет о непосредственном управлении на этапе изготовления изделия, когда управляющие воздействия непосредственно влияют на ход выполняемого в данное время технологического процесса, во втором — речь идет о косвенном (апосредованном) управлении, когда необходимо правильно распределить технологические ресурсы с учетом возможных возмущений, которые могут иметь место в будущем. Как правило, на этом этапе вводятся определенные коэффициенты запаса, т.е. расчеты на этапе ТПП производятся либо исходя из худшего случая (метод «максимума-минимума»), либо — из наиболее вероятного случая. Метод «максимума-минимума» и вероятностный метод нашли свое отражение в таких известных подходах, как метод полной и неполной (частичной) взаимозаменяемости, соответственно. Метод полной взаимозаменяемости, гарантирующий 100%-й выход годной продукции, отличается высокой трудоемкостью и технологической себестоимостью, и содержит самый большой коэффициент технологического запаса. В то время как метод неполной (частичной) взаимозаменяемости отличается меньшей трудоемкостью и предусматривает некоторые дополнительные затраты на брак или его устранение.

Подводя итог сказанному, отметим, что управление точностью и качеством изготовления изделий на этапе ТПП приводит к созданию избыточной технологической системы в той или иной мере (т.е. на 100% и меньше) гарантирующей точность и качество изготавливаемой продукции и, следовательно, имеется технологический резерв увеличения эффективности производства. Этот резерв можно использовать, если ввести управление в режиме on-line (управление по факту, имеющему место) на этапе изготовления продукции. Создаваемую и работающую таким образом автоматизированную технологическую систему называют интегрированной.

Управление при проектировании (этап ТПП) и изготовлении (этап изготовления) возможно только при условии моделирования (чаще всего математического) объекта управления. В данном случае под объектом понимается технологическая система. Без модели управление невозможно. Пояним сказанное примерами. Для того, чтобы что-либо рассчитать необходимо иметь математическую модель, из которой вытекают расчетные формулы. Например, чтобы рассчитать температуру шлифования и ее распределение по глубине поверхностного слоя необходимо иметь модель температурного поля, которая в данном случае является моделью объекта (технологической системы шлифования) по конкретному его свойству — температуре шлифования. Следовательно, в данном случае модель температурного поля одновременно является моделью технологической системы шлифования (по такому важному свойству процесса, каким является температура шлифования).

Различие этапов производства и его подготовки приводит к различным требованиям, предъявляемым к моделям объектов. Так, например, если расчет по уравнениям модели производится на этапе ТПП (off-line), то предполагается, что полученные результаты расчета могут либо иметь, либо не иметь места в реальных условиях. Здесь, таким образом, речь идет об определении возможных граничных параметров. Например, расчет погрешности базирования при проектировании станочного приспособления это определение возможного последствия, если причина (смещение измерительной базы в направлении выполняемого размера) может быть охарактеризована конкретной (задается в расчете) граничной величиной. Например, причина — колебание размера диаметра вала (допуск на диаметр) однозначно определит при расчете погрешность базирования вала на призму и погрешность установки после его закрепления при известных геометрических моделях вала и призмы. Отсутствие таких геометрических моделей не позволило бы рассчитать указанные погрешности. В то же время применение встроенных в технологическую систему измерительных средств (например, тактильных датчиков фирмы ReniShaw) позволяет на основании тех же самых геометрических моделей вала и призмы определить фактическую (т.е. в данном конкретном случае) погрешность установки. Этот пример показывает отличие меж-

ду режимами управления off-line и on-line. В первом случае (off-line) речь идет об управлении исходя из худшего возможного или наиболее вероятного случая, во втором — исходя из фактической погрешности базирования, которая имеет место в данном случае при обработке конкретной заготовки, т.е. с учетом индивидуальных особенностей элементов технологической системы (объект управления).

Управление в режимах off-line и on-line применительно к технологии машиностроительного производства не является чем-то новым. Оно всегда присутствовало (как бы по умолчанию) в традиционном (не компьютеризированном) производстве. Действительно, на этапе ТПП технологи-проектировщики планировали будущие действия, создавая технологический проект, а производственники (цеховые технологи, начальники участков и цехов, рабочие) при реализации этого технологического проекта вносили соответствующие коррективы с учетом фактических индивидуальных особенностей технологических систем. Однако качество такого управления (в режиме on-line) ограничивалось возможностями людей в получении информации, возникающей в процессе обработки и сборки. К этому следует добавить влияние на качество управления уровня профессиональной подготовки производственников, который, например, применительно к рабочим-станочникам колеблется в широких пределах: от полного незнания дела до мастера высшего класса.

Интерес к управлению производством в режимах off-line и on-line (на подготовительном и заключительном его этапах) заметно возрос в связи с компьютеризацией машиностроительного производства. Появление CAD/CAM систем, CALS-технологий, САПР и систем встроенной технологической диагностики, призвано, в конечном счете, поднять технический уровень и эффективность машиностроительного производства в условиях острой конкурентной борьбы [2]. Росту этого интереса способствовало появление международных стандартов по управлению качеством продукции (ISO 9000 и другие), внедрение которых является обязательным для сертификации производимой продукции и поставки ее на международный рынок.

В данной работе рассмотрен один из аспектов управления качеством изготовления машиностроительной продукции, связанный с разработкой встроенных компьютерных систем технологической диагностики. Приведенный выше анализ был необходим для выяснения места этой разработки в общей системе управления качеством продукции. Рассмотрение общих теоретических подходов и положений по разработке математического обеспечения систем диагностики в данной работе производится на конкретном примере, в котором объектом диагностики является технологическая система резьбошлифования ходовых винтов передач «винт-гайка качества». Результаты работы могут быть распространены на другие процессы профильного шлифования труднообрабатываемых материалов. Кроме того, общие подходы к управлению точностью и качеством изготовления продукции на этапах производства и его подготовки применимы к любым технологическим процессам механической обработки и сборки в машиностроении.

Подводя итог сказанному отметим, что цель управления в режиме on-line в условиях компьютерно-интегрированного производства заключается в том, чтобы направить ход реального технологического процесса по плану, синтезированному на этапе технологического проектирования (в том числе при помощи САПР) применительно к виртуальному (воображаемому) технологическому процессу, т.е. «сделать желаемое действительным». Для этого нужна информация о действительном состоянии технологической системы, чтобы корректировать это состояние с учетом технологических требований (например, требований к качеству поверхностного слоя). Получение такой объективной информации является необходимым условием для управления. Можно выделить следующие пути получения такой информации:

1. Использование на этапе проектирования технологической системы эмпирических данных о ее состоянии (эмпирические силы резания — для оценки отжаты и сил закрепления заготовок, эмпирическая мощность резания — для оценки теплонапряженности, например, процесса шлифования и выбора станка по требуемой мощности электродвигателя главного движения и т.п.).
2. Применение экспресс-методов для прогнозирования и корректирования состояния технологической системы.
3. Применение встроенных компьютерных систем технологической диагностики, позволяющих оценивать фактическое состояние технологической системы, работать в режиме «советчика оператора», собирать данные и оценивать стабильность технологического процесса по технологическим критериям. В перспективе возможно построение систем автоматического управления, интегрированных с компьютерными системами технологической диагностики.

Подчеркнем, что рассмотренные выше системы диагностики построены на основе компьютерных систем сбора данных о процессе и их статистической обработки. Следовательно, эти системы позволяют оценивать эксплуатационную характеристику технологических систем. Для этого нужны методы, аппаратура и программное обеспечение, позволяющие получать и обрабатывать данные, а также соответствующие системы управления базами данных (СУБД) с тем, чтобы иметь возможность корректировать ход технологического процесса с учетом возникающей информации на длительном периоде эксплуатации управляемых технологических систем.

Системы технологической диагностики могут работать в следующих режимах.

1. Режим «советчика оператора».
2. Экспертные компьютерные системы принятия решения.
3. Автоматические (полностью формализованные) системы принятия решения и внесения корректив в состояние технологической системы.

Из сказанного вытекает необходимость разработки, прежде всего математического (в том числе метрологического) обеспечения компьютерных систем технологической диагностики.

Рассмотренная методология управления процессами на основе диагностики технологических систем может найти применение в различных технологиях, например в технологии ремонта машин (например, автомобилей), которая имеет определённую преемственность с технологией изготовления машин [3]. Известно, что при проектировании и изготовлении автомобиль (как и технологическая система механообработки) может быть отнесен к классу детерминированных систем, т.е. систем, в которых составные части взаимодействуют точно предвиденным образом [4]. Однако, включение в систему эксплуатационных и тем более экономических показателей делает эту систему вероятностной. Другими словами, любое предсказание её поведения может быть сделано только с помощью вероятностных категорий, так как при эксплуатации автомобиля происходит непрерывное изменение технического состояния всех его систем. В этой связи исключительно важное значение приобретает эксплуатационная диагностика автомобиля и, в частности, самодиагностика (бортовая диагностика) [5]. Начиная с 1988 года действуют соответствующие международные стандарты (от ISO 9141 до ISO 9141-2, стандарт OBD 11 и т.п.). При разработке стандартов учитывается три критерия. Во-первых, автомобили должны быть оснащены электронной системой диагностики. Во-вторых, любые неисправности, относящиеся к выпускной системе (в том числе и состав выхлопных газов), должны отображаться с помощью контрольной лампы самодиагностики на панели приборов. В-третьих, неисправность должна быть записана в памяти электронного модуля управления и может быть извлечена из памяти с помощью устройства считывания кодов неисправностей (сканера) или путём “световых вспышек” (последовательный код, передаваемый зажигающимся светодиодом для визуального отображения). Ведутся работы по обеспечению адаптивной подстройки регулируемых параметров, т.е. работа деталей постоянно отслеживается, и настройки регулируются. Адаптивная подстройка может быть осуществлена на основе данных, собранных за довольно долгий период наблюдения, после их статистической обработки (например, по средним значениям сигнала). Это обуславливает актуальность разработки метрологического обеспечения микрокомпьютерных систем технологической диагностики.

В качестве примера управления, основанного на диагностике, рассмотрим организацию технического обслуживания и ремонта автомобилей в автотранспортном предприятии. Эта организация может быть представлена в виде замкнутой системы управления (регулирования) с обратной связью, состоящей из объекта управления О, датчика Д, органа управления У и исполнительного органа И [6]. Эта система включает две части: подсистему контроля (О-Д-У) и подсистему управления (У-И-О). Каждая из указанных подсистем, рассматриваемая в отдельности, является разомкнутой. Применительно к автотранспортному предприятию регулируемым объектом является автомобиль (техническая система, которая при функционировании становится технологической), а датчиком (измерительным органом) – станция диагностики. Управляющий орган (технический отдел) воспринимает “сигналы датчика” (станции диагностики) и передаёт команду исполнительному органу (в зону технического обслуживания и ремонта), который восстанавливает заданное значение регулируемой величины (технического состояния автомобилей). Из анализа функциональной структуры указанной системы управления следует, что при отсутствии функции контроля процесса управляющая подсистема не будет выполнять своей функции из-за отсутствия необходимой информации о техническом состоянии автомобилей.

В заключение отметим, что независимо от вида технологических систем для их диагностики широкое применение получили экспресс-методы, реализуемые соответствующим оборудованием, аппаратным и программным обеспечением компьютерных систем диагностики. Например, стенды для проверки углов установки колёс по назначению классифицируются: для экспресс-диагностирования; для углублённого контроля и регулировки углов установки колёс [7]. По конструктивному исполнению стенды подразделяются на площадочные, роликовые (баранье), оптические, электрооптические, электронные и др. Установка управляемых колёс легковых автомобилей проверяется по величине схождения и углам развала управляемых колёс, а также по углам наклона шкворня поворотного кулака в поперечной и продольной плоскостях, соотношению углов поворота управляемых колёс, параллельности передней и задней осей, смещённости моста вбок и др. На экране дисплея по команде оператора выдаются: подробная технологическая последовательность, нормативы и результаты измерений, рекомендации по выполнению необходимых регулировочных работ на автомобиле (режим советчика оператора).

Литература

1. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении. - Тр.Одес.политехн. ун-та. - Одесса, 1999. - Вып.3(9). - С.55-58.
2. CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении / Научн.ред. А.Г.Братухин. - М.: Изд-во МАИ, 2002. - 676 с.
3. Ларшин В.П., Якимов А.В. Технология ремонта машин, как раздел технологии машиностроения // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Тр. 8-й Междунар.научн.-техн.конф.-Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. -С.25-28.
4. Ипатов М.И. Техничко-экономический анализ проектируемых автомобилей.- М.:Машиностроение, 1982.- 272 с.
5. Системы диагностики. Коды неисправностей автомобилей. Практическое руководство. Под ред. С.Афонина.- Ростов-на Дону: ПОНЧиК, 1999.- 288 с.
6. Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей.- М.: Транспорт, 1970.- 256 с.
7. Технологическое оборудование для технического обслуживания и ремонта легковых автомобилей: Справочник / Р.А.Попржедзинский, А.М.Харазов, В.Г.Карцев, З.Г.Евсеева.- М.: Транспорт, 1988.-176с.

УДК 621.992.4

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ РЕЗЬБОШЛИФОВАНИИ**Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф., Лищенко Н.В.***(г.Одесса, Украина)**In work forecasting a temperature field is made at grinding a groove*

Основным видом дефектов при резьбошлифовании ходовых винтов качения являются структурные превращения в поверхностном слое и шлифовочные трещины. Глубина дефектного слоя при резьбошлифовании зависит от интенсивности и времени воздействия теплового источника на поверхностный слой резьбы и определяется глубиной проникновения температуры, при которой начинают происходить структурные изменения в обрабатываемом металле. Глубина зон структурных превращений обычно не превышает десятых долей миллиметра, и лишь в отдельных случаях достигает величины 1,0-1,5 мм. Следовательно, для определения глубины дефектного слоя, как было определено выше, необходимо знать закономерности распространения тепловых потоков и температуры в поверхностном слое заготовки. Основой математической модели при описании тепловых процессов при шлифовании заготовки является дифференциальное уравнение теплопроводности, которое дополняется начальными и граничными условиями.

Сопоставление размеров теплового источника и области структурных превращений с размерами детали показывает, что ввиду превышения последних по величине на один-два порядка, рационально считать винт полубесконечным телом. В связи с тем, что радиус профиля резьбы более чем на порядок меньше диаметра винта, винтовую резьбовую поверхность можно представить цилиндрической, расположенной на поверхности полубесконечного тела (рис.1).

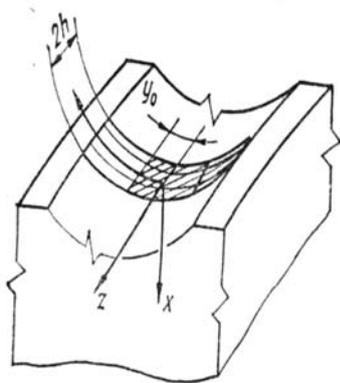


Рис.1. Схема теплового источника при резьбошлифовании.

Если ось нагреваемого кругового цилиндра совпадает с осью z , а начальные и граничные условия не зависят от координат φ и z , то температура цилиндра зависит только от координаты r и времени τ . В этом случае одномерное дифференциальное уравнение теплопроводности принимает вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right). \quad (1)$$

Процесс шлифования полукруглого профиля резьбы может быть охарактеризован следующими краевыми условиями

$$\left. \begin{aligned} T(r, \tau) \Big|_{\tau=0} &= T_0; \\ \left. \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r \rightarrow \infty} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (2,3)$$

$$\left. \begin{aligned} -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} &= q; \\ \left. T(r, \tau) \right|_{r \rightarrow \infty} &= T_0. \end{aligned} \right\} \quad (4,5)$$

При черновом шлифовании резьбы ходовых винтов качения длина дуги контакта изменяется по профилю незначительно, поэтому представим тепловой источник в виде полосы, которая расположена на поверхности резьбовой канавки с радиусом R и движущейся по ней со скоростью V .

Известно, что решение данного уравнения применительно к схеме выделения тепла на круговом цилиндре будет выражаться через функции Бесселя (цилиндрические функции). Полученное для указанных условий решение одномерного дифференциального уравнения теплопроводности имеет следующий вид (в интервале времени $0 \leq \tau \leq \tau_m$).

$$T = -\frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{a \cdot \tau}{R^2} \cdot \zeta^2\right) \right] \cdot \frac{J_0\left(\zeta \cdot \frac{r}{R}\right) \cdot Y_1(\zeta) - Y_0\left(\zeta \cdot \frac{r}{R}\right) \cdot J_1(\zeta)}{\zeta^2 \cdot [J_1^2(\zeta) + Y_1^2(\zeta)]} d\zeta \times \frac{q \cdot R}{\lambda}, \quad (6)$$

где r — текущий радиус-вектор рассматриваемой точки, м; R — радиус граничной цилиндрической поверхности, м; q — плотность теплового потока, Вт/м²; τ — время действия теплового источника, с; τ_m — максимальное время действия теплового источника, с; J_0, J_1 — функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка; Y_0, Y_1 — функции Бесселя второго рода нулевого и первого порядка; ζ — переменная интегрирования.

Уравнение (6) можно представить в обобщенной форме

$$T = T\left(\frac{a \cdot \tau}{R^2}\right). \quad (7)$$

Для получения уравнения, работающего в большем интервале (т.е. при $\tau \geq \tau_m$), применим метод суперпозиции, заключающийся в суммировании температурных полей от действия двух тепловых источников, действующих в разное время: при $0 \leq \tau \leq \tau_m$ и при $\tau \geq \tau_m$, соответственно (рис.2). С учётом уравнения (6) получим

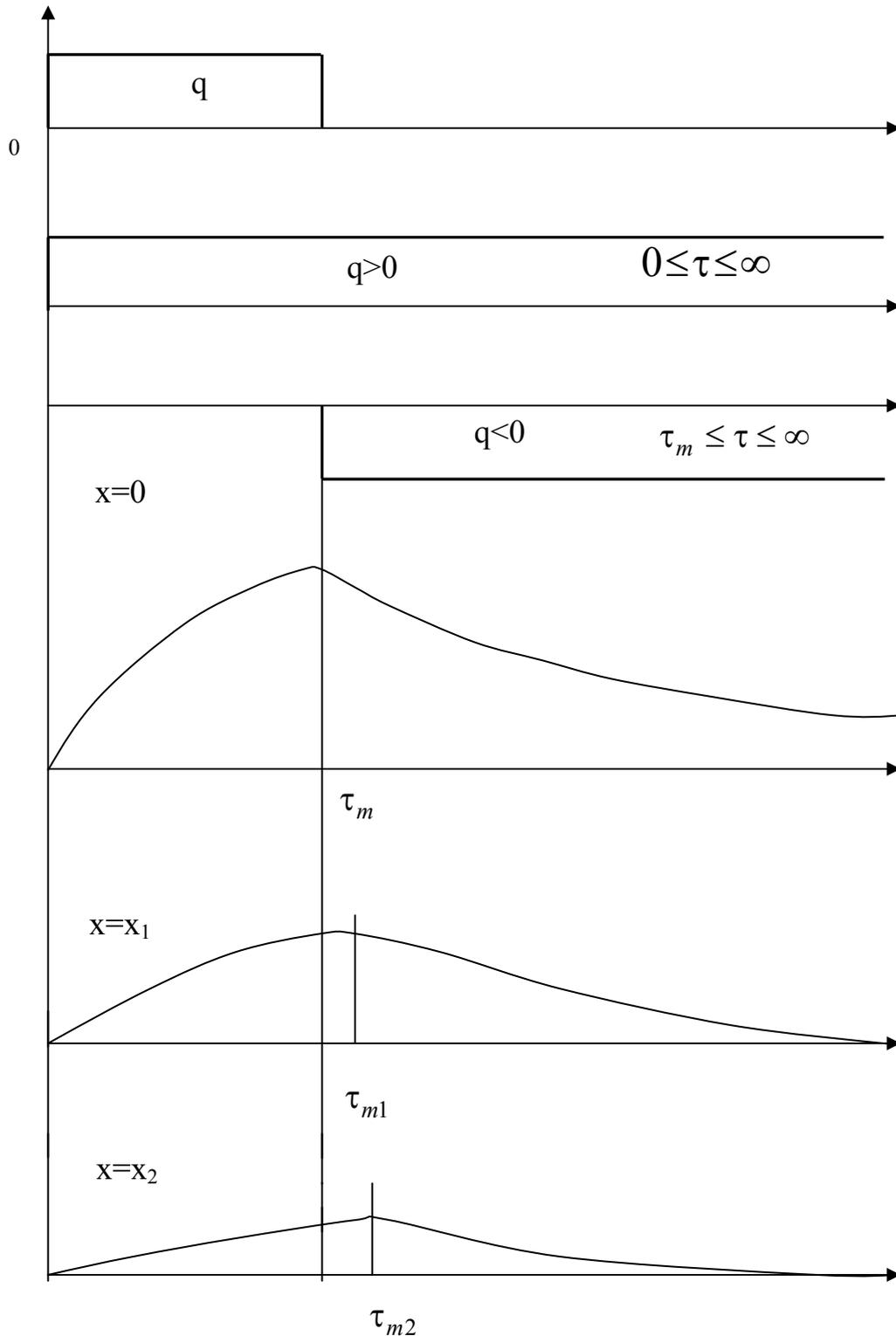


Рис.2. Изменение температурного поля в зависимости от времени действия теплового источника и расстояния до рассматриваемой точки.

$$T = T\left(\frac{a \cdot \tau_m}{R^2}\right) - T\left(\frac{a \cdot (\tau - \tau_m)}{R^2}\right). \quad (8)$$

Для практических расчетов по уравнениям (6) и (8) необходимо применить пакет программ типа

MathCAD. Из рис.2 видно, что максимальное значение температуры на поверхности ($X = 0$) совпадает с задней кромкой теплового источника. В тоже время по мере увеличения расстояния от поверхности ($x=x_1$ и $x=x_2$) максимальное значение температуры сдвигается вправо. Практика выполненных расчетов с применением пакета MathCAD показала, что результаты этих расчетов существенно зависят от выбранного численного значения верхнего предела интегрирования. Установлена зависимость верхнего предела интегрирования от безразмерного критерия Фурье $F_0 = \frac{a\tau}{R^2}$ и радиуса профиля R , позволяющая обеспечить наименьшую погрешность вычислений температуры по уравнениям (6) и (8). Исследования проведены при $\dot{a} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\tau = 0,0268 \text{ с}$. Из них следуют рекомендации в соответствии с которыми, зная радиус профиля резьбы (или критерий Фурье), можно выбирать верхний предел интегрирования для практических расчетов по приведенным уравнениям. На основе уравнений (6) и (8) разработано математическое обеспечение компьютерной системы диагностики процесса резьбошлифования ходовых винтов.

УДК 621.923

СТРУКТУРА РАБОЧЕГО ЦИКЛА СЪЁМА ПРИПУСКА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф., Гречиха А.А., Фадеев В.А., канд. техн. наук, проф.
(г.Одесса, г.Харьков, Украина; г.Тирасполь, Приднестровье)

In work the structure of a running cycle an allowance is proved at grinding cutting stamps

Величина припуска связана с допусками на промежуточные размеры, получаемые на разных операциях технологического процесса или на разных переходах (для одной операции). Межоперационный припуск (на границе двух смежных операций) предопределяется величинами допусков двух смежных операций ($(i-1)$ -я и i -я операции). При выполнении одной операции (например, операция шлифования) за несколько технологических переходов припуски на эти переходы предопределяются допусками на промежуточные размеры, получаемые на этих переходах ($(i-1)$ -ый и i -й переходы). Припуск на i -й технологический переход называется межпереходным и связан с одним из трех элементов режима резания – глубиной резания (которая в свою очередь может быть лимбовой t_n) и фактической t_f . Различие между глубинами t_n и t_f характеризуют величину упругого технологического отжатия Y_i . Для операций лезвийной обработки, как правило, глубину резания принимают равной величине межоперационного (межпереходного) припуска, а затем с учетом выбранной глубины резания определяют величину подачи, скорость резания, частоту вращения шпинделя. Особенностью операций шлифования является многопереходное или многопроходное удаление припуска, соответственно, для переменных и постоянных глубин шлифования.

Глубина резания при шлифовании оказывает существенное влияние на теплонапряжённость процесса и, как следствие, на производительность обработки [1]. По этой причине шлифовальные операции оказываются более трудоемкими по сравнению с другими операциями механической обработки лезвийным инструментом. Проведенные нами экспериментальные исследования операций черного и получистового шлифования труднообрабатываемых материалов показали, что глубина, образуемого на предшествующем переходе шлифования, дефектного слоя (h_0) часто превышает другие составляющие межпереходного припуска (высота шероховатости R_z и пространственное отклонение ρ от предшествующего перехода, и погрешность установки ε_y для данного перехода). По этой причине для указанных случаев величину минимального припуска на соответствующий переход (проход) шлифования можно выбирать исходя из условия, что образуемый на предшествующем переходе (проходе) дефектный слой по величине не должен превышать припуска, оставшегося на последующие переходы (проходы) шлифования [2].

В качестве примера расположения межпереходных припусков, удаляемых при шлифовании (например, плоском шлифовании на станках с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем), рассмотрим структурную схему расположения припусков и допусков для различных технологических переходах шлифования (рис.1). На схеме (правая сторона рис.1) показаны положения шлифовального круга, выставленного по лимбу настроенного на размер станка (метод автоматического получения размеров МАПР).

Заштрихованные зоны соответствуют допускам на промежуточные размеры, получаемые в ходе послыонного удаления припуска. Величина этих допусков определяется, например, разностью упругих отжатий при шлифовании с разной глубиной резания или колебаниями жесткости плоско-шлифовальных станков, имеющих в цехе (на участке). Например, для $(i-2)$ -ого и $(i-1)$ -ого и i -ого технологических переходов, соответственно, получаем следующие допуски на промежуточные размеры (рис.1,а)

$$S_{i-1} = Y_{(i-2)\max} - Y_{(i-2)\min}, \quad (1)$$

$$S_{i-1} = Y_{(i-1)\max} - Y_{(i-1)\min}, \quad (2)$$

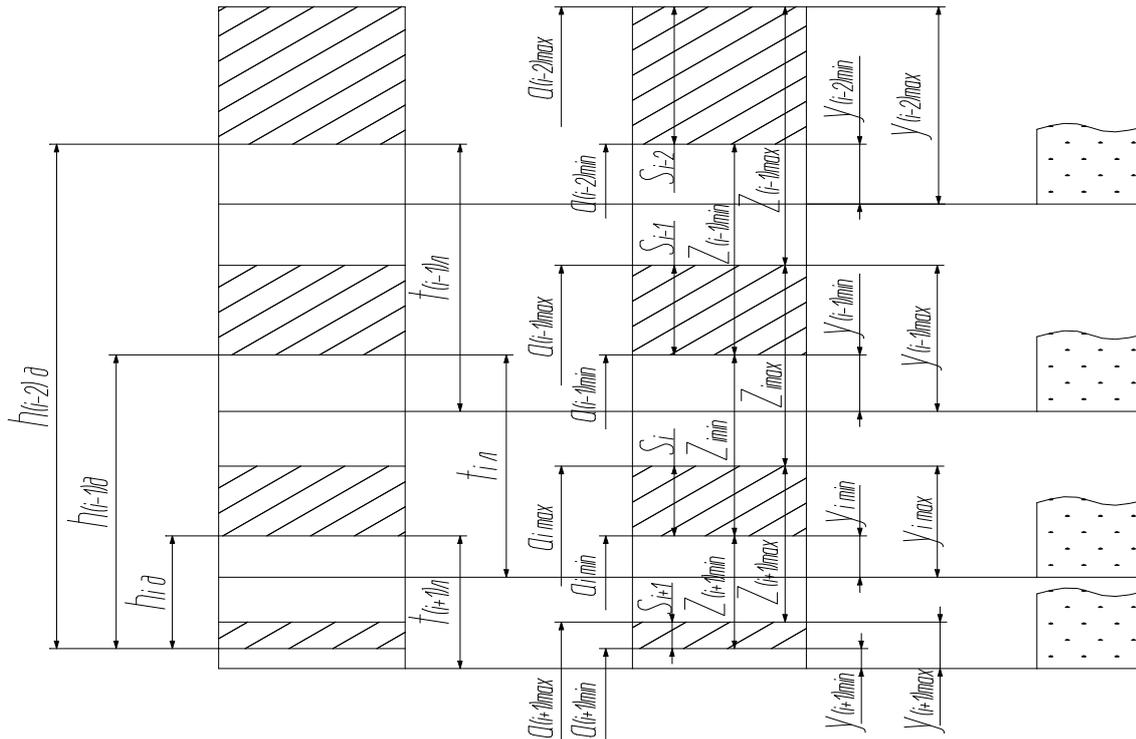


Рис. 1. Схема расположения припусков и допусков при шлифовании по МАПР для (i-2)-ого, (i-1)-ого и i-ого технологических переходов (а) и в частном случае при $y_i = y_{i\min}$ ($1 \leq i \leq n$) (б).

$$S_i = y_{i\max} - y_{i\min}, \tag{3}$$

и фактические глубины резания при шлифовании (рис.1,б)

$$Z_{(i-2)\min} = t_{(i-2)\phi}, \tag{4}$$

$$Z_{(i-1)\min} = t_{(i-1)\phi}, \tag{5}$$

$$Z_{i\min} = t_{i\phi}. \tag{6}$$

Кроме того, на рис.1,б принято, что величины упругих сжатий $y_{(i-2)}$, $y_{(i-1)}$, y_i и $y_{(i+1)}$ равны минимальным значениям, т.е. $y_{(i-2)\min}$, $y_{(i-1)\min}$, $y_{i\min}$, $y_{(i+1)\min}$, соответственно.

Для определения трудоемкости операции шлифования необходимо решить задачу распределения припуска на переходы шлифования с учётом упругих технологических отжатий. Максимальная производительность шлифования может быть обеспечена при оптимальном распределении припуска на переходы при условии

$$h_{\partial.k} = \frac{Z_{ост.k} + Z_0}{\xi_k}, \tag{7}$$

где $Z_{ост.k}$ — оставшийся к моменту k-го перехода припуск на данной операции шлифования; Z_0 — припуск, предусмотренный на последующую операцию; ξ_k — коэффициент запаса по прижогу, показывающий, на какую часть припуска может проникать дефектный слой.

Оставшийся припуск на данной операции после любого k-го перехода можно представить в виде

$$Z_{ост.k} = \sum_{i=k+1}^n t_i, \tag{8}$$

где t_i — глубина шлифования на i-м переходе, n — число переходов шлифования, необходимое для удаления припуска.

Учитывая для каждого k-го перехода величину отжатия, получим

$$t_{pk} = t_{лк} - \Delta y_k \tag{9}$$

где $t_{л}$ — установленная по лимбу глубина шлифования; Δy_k — величина упругого технологического отжатия (рис.2).

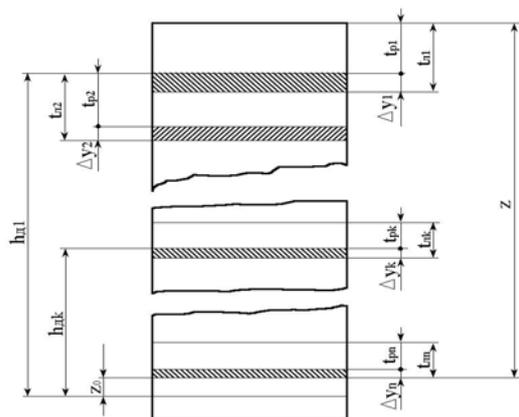


Рис. 2. Схема для расчёта распределения припуска на переходы шлифования.

Припуск на обработку Z удаляется за n переходов. Фактическая и установленная по лимбу глубины резания на первом технологическом переходе составляют, соответственно, t_{p1} и t_{l1} , а величина упругого отжатия Δy_1 . На втором переходе указанные параметры, соответственно, равны: t_{p2} , t_{l2} , Δy_2 . На любом k -м переходе ($1 \leq k \leq n$): t_{pk} , t_{lk} , Δy_k . На последнем переходе t_{pn} , t_{ln} , Δy_n . Задача расчета распределения припуска на переходы заключается в определении такой глубины резания t_{pk} , при которой образуется дефектный слой h_{dk} , равный оставшемуся припуску (или части его) на обработку для любого k -го перехода. Величина Z_0 также включается в этот оставшийся припуск. Кроме того, видно, что упругие отжатия Δy_1 , $\Delta y_2, \Delta y_k, \Delta y_n$ последовательно уменьшаются по величине, что соответствует общепринятой схеме расположения полей припусков и допусков на раз-

личных технологических переходах (рис.1 и рис.2). Взаимосвязь между рис.1 и рис.2 обуславливается выполнением условий $i - 2 = 1$, $i - 1 = 2$, $i = 3$ и $i + 1 = 4$.

Литература

1. Терган В.С. Плоское шлифование: Учебник для профессионально-техн. училищ. –3-е изд., перераб. и доп.. –М.: Высш. школа, 1980. –168 с.
2. Ларшин В.П., Гречиха А.А. Повышение эффективности шлифования вырубных штампов при использовании твердых технологических смазок / Тр. Одес. политехн. ун-та.— Одесса, 2000.— Вып. 3(12).— С. 45-48.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖОПЕРАЦИОННЫХ И МЕЖПЕРЕХОДНЫХ ПРИПУСКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф., Гречиха А.А.
(г.Одесса, Украина, г.Тирасполь, Приднестровье)

In work allowances between operations and between transitions for various methods of maintenance of accuracy of processing are determined.

Известно, что назначение припусков на различные операции и переходы механической обработки оказывает существенное влияние на точность и качество изготовления деталей машин и приборов. Завышенная величина припуска увеличивает длительность технологического процесса, что отражается в увеличении себестоимости продукции. Неоправданное уменьшение припуска приводит к браку и, как следствие, - к увеличению производственных затрат. Следовательно, задача определения оптимального припуска на операции и переходы механической обработки является актуальной в технологии машиностроения.

Анализ существующей технической литературы, посвященной вопросу определения припуска, показывает, что нет единой методики назначения припусков для различных методов обеспечения точности механической обработки, а именно: метода пробных проходов и промеров (МППП) и метода автоматического получения размеров (МАПР). Так в работе [1] приводится подробный анализ составляющих элементов припуска, вводится понятие общего припуска на обработку, операционного припуска, номинального (расчетного) припуска, минимального и максимального операционных припусков. Приводятся формулы связи между ними. Однако, не указывается для какого из указанных выше методов обеспечения точности (МППП или МАПР) распространяется методика автора.

В работе [2] приводятся схемы расположения промежуточных припусков и их составляющих для обоих методов обеспечения точности (МППП и МАПР). Из анализа работы [2] следует, что методика, предложенная в работе [1], относится к МППП.

В технологии машиностроения для любого из указанных методов обеспечения точности принято прежде всего определять величину минимального припуска, которую находят либо табличным (опытно-статистическим), либо расчетным путём (расчетно-аналитическим). Расчёт припусков может быть также произведён по предельным размерам составляющих звеньев, когда припуск принимается в качестве замыкающего звена размерной цепи [1], для этого применяется размерный анализ технологического процесса, который в свою очередь чаще всего основывается на методе полной взаимозаменяемости. Следовательно, при размерном анализе предполагается использование МППП. С другой стороны известно, что размерный анализ применяется для станков, настроенных на размер, т.е. при использовании МАПР. Возникшее противоречие в работе [3] предлагается разрешить построением третьей (расчетной) схемы расположения припусков и допусков пу-

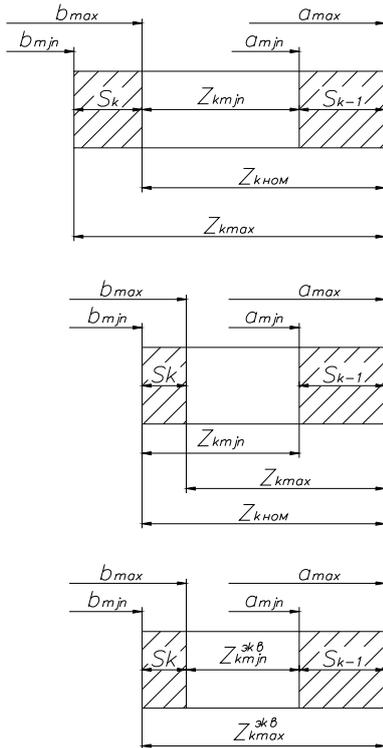


Рисунок. Схемы расположения припусков и допусков: для МПП (а), МАП (б) и эквивалентная схема (в).

(i-2)-ом) - разница составит $S_i + S_{i-1} + S_{i-2}$. Таким образом, принятые условия эквивалентности обеспечивают преимущества МАП по отношению к МПП с точки зрения общего припуска на обработку. В то же время, эквивалентная схема (рисунок, в) соответствует подходу, принятому в работе [3]. Как следует из рисунка

$$Z_{i\max}^{\text{экв}} - Z_{i\min}^{\text{экв}} = S_i + S_{i-1}, \quad (1)$$

где $Z_{i\max}^{\text{экв}}, Z_{i\min}^{\text{экв}}$ - эквивалентные максимальный и минимальный припуски.

В свою очередь

$$Z_{i\max}^{\text{экв}} = Z_{i\max}^{\text{МАП}} + S_i, \quad (2)$$

где $Z_{i\max}^{\text{МАП}}$ - максимальный припуск для МАП

$$Z_{i\min}^{\text{экв}} = Z_{i\min}^{\text{МАП}} - S_i, \quad (3)$$

где $Z_{i\min}^{\text{МАП}}$ - минимальный припуск для МАП

Предположенная методика преобразования структурных схем расположения припусков и допусков может найти применение при решении различных задач оптимизации распределения припуска по операциям и технологическим переходам, что позволит увеличить эффективность технологических процессов (уменьшить трудоемкость, увеличить производительность труда).

Литература

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 496 с.
2. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов]. - 4-е изд., перераб. и доп. - Мн: Выш. школа, 1983. - 256 с.
3. Якимов А.В., Линчевский П.А., Якимов А.А. Обоснование маршрута обработки и размерный анализ технологических процессов: Учебн. пособие. - К.: НМК ВО, 1993. - 128 с.

тём введения так называемой расчетной величины $Z_{i\min}^{\text{расч}}$. Эта величина отличается от теоретической (или справочной) и используется в размерном анализе технологических процессов. Предполагается, что после получения результатов размерного анализа будет осуществлен переход к МАП (имеющему место в действительности). Предложенная авторами работы [3] идея позволила разрешить указанное противоречие применительно к задачам размерного анализа. Эту идею можно распространить на другие области, связанные с определением межоперационных и межпереходных припусков, т.е. для решения более общей задачи - пересчета составляющих припусков для двух методов обеспечения точности: МАП и МПП. Такой пересчет необходим в тех случаях, когда имеются результаты расчета составляющих припуска для одного из двух методов обеспечения точности и требуется преобразовать их для получения результатов применительно к другому методу обеспечения точности.

Условия эквивалентного перехода из одной расчетной схемы (например, МПП) в другую (например, МАП) следующие (см. рисунок):

1) равенство минимальных припусков для обоих методов, т.е.

$$Z_{i\min}^{\text{МАП}} = Z_{i\min}^{\text{МПП}}$$

2) равенство допусков на предшествующую (i-1) и текущую

(i) операции (переходы) для обоих методов, т.е. $S_{i-1}^{\text{МАП}} = S_{i-1}^{\text{МПП}}$;

$$S_i^{\text{МАП}} = S_i^{\text{МПП}}.$$

При принятых условиях эквивалентности каждый i-й блок-схемы для МПП будет больше соответствующего блока для МАП на величину S_i (рисунок, а, б). При двух блоках (i-ом и (i-1)-ом) разница составит $S_i + S_{i-1}$, при трех блоках (i-ом, (i-1)-ом,

УДК 621.923: 621.921.34

**К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ
МОНОКРИСТАЛЛОВ ПАРАТЕЛЛУРИТА****Лавриненко В.И., докт. техн. наук, Проц Л.А.***(г. Киев, г. Ужгород, Украина)*

One of the most important problems and tasks to be solved is the quality improvement of mechanical processing in the above materials. Experience gained within many years has shown that among all known abrasive materials that based on diamond both in free and bound states is the most effective one.

Одними из перспективных материалов, которые находят все более широкое применение в различных электронных приборах, являются монокристаллы парателлурифта (TeO_2), изделия из которого представляют интерес для исследователей и производителей в качестве оптического материала рабочих элементов приборов функциональной оптоэлектроники: акустооптические модуляторы, дефлекторы, фильтры, спектрометры, модуляторы бегущей волны и др. При этом требования к шероховатости, плоскостности и чистоте поверхности рабочих элементов довольно жесткие, а разработки по изготовлению качественных рабочих элементов из монокристаллов парателлурифта, с учетом особенностей их механической обработки, практически отсутствуют. Поэтому, актуальными становятся вопросы исследования процесса качественной механической обработки монокристаллов парателлурифта.

Целью настоящей работы было изучение возможностей применения методов рентгеновской дифракции для оценки качества рабочей поверхности монокристаллов парателлурифта на различных этапах механической обработки.

Для рентгенодифрактометрических исследований применялась установка ДРОН-2, в которой была установлена рентгеновская трубка с медным антикатодом. Поскольку для случая парателлурифта рефлексы (максимумы интенсивности когерентного рассеивания) от K_α - и K_β -излучения четко разделялись, то все измерения проводились используя рефлексы от $Si K_\beta$ -излучения при входных и выходных щелях 0,1 мм.

Для монокристалла TeO_2 были подготовлены три плоские поверхности, сориентированные по кристаллографическим плоскостям решеток (100), (110) и (001) соответственно (отклонение плоскости реальной поверхности от соответствующих кристаллографических плоскостей составляло не больше $0,15^\circ$). Сориентированные поверхности последовательно шлифовались и полировались. Этапы механической обработки поверхностей монокристалла парателлурифта состояли из последовательного сошлифовывания электрокорундовыми шлифпорошками М63 зернистостью 63/50 (этап 1), М28 зернистостью 28/20 (этап 2) и сошлифовывания алмазным микропорошком АСМ зернистостью 5/3 (этап 3).

Затем эти поверхности полировались алмазной полировальной пастой ПВОМ АСМ 2/1 (этап 4), а заключительным циклом механической обработки поверхностей монокристалла парателлурифта было химико-механическое полирование с использованием химического травителя – оксида цезия (этап 5). После каждого этапа механической обработки проводился цикл рентгенодифрактометрических исследований формы максимумов интенсивности когерентного рассеивания, характерных для сориентированных плоскостей и определяющихся соответствующими кристаллографическими индексами (рефлексами). Такие исследования проводились рентгенодифрактометрическим сканированием $\Theta/2\Theta$ -методом (Θ - углы Брэгга) и сканированием по углу Θ при фиксированном в максимуме отражения угле 2Θ (метод качания) для рефлексов от плоскостей, которые характеризуются кристаллографическими индексами (200), (110) и (004) - первый порядок, и (400), (220) и (008) - второй порядок.

Оказывается, оба эти метода рентгеновской дифрактометрии чувствительны к размерам шероховатости и чем она ниже, тем более четким и интенсивным является рефлекс. Нами установлено, что при грубом шлифовании монокристалла абразивными шлифпорошками электрокорунда М63 и М28 могут проявляться рефлексы, которые не соответствуют рефлексам основной плоскости. Это вызвано наличием значительных дефектов на ее поверхности. Косвенные рефлексы практически не наблюдаются после шлифования алмазным микропорошком АСМ 5/3 и после обработки алмазной полировальной пастой с зернистостью микропорошка АСМ 2/1, когда формируется поверхность со значительно меньшим количеством дефектов. О наличии значительных нарушений приповерхностного слоя при механической обработке шлифпорошками зернистостью 63/50 свидетельствуют наблюдаемые на кривых качания отдельные максимумы.

При механической обработке мелкозернистыми абразивными материалами наблюдается сближение ширины рефлексов разного порядка отражения до практического их совпадения, из чего следует, что нарушения вдоль нормали к поверхности практически отсутствуют. Сужение рефлексов на заключительных этапах обработки указывает на уменьшение угловой разориентации, которая может быть вызвана соответствующей шероховатостью поверхности. При этом характер снижения величины шероховатости в зависимости от этапа обработки при рентгенодифрактометрическом сканировании методом качания более реально отражается в изменении ширины рефлексов.

Следует отметить, что при использовании метода качания наблюдалось сужение ширины кривых качания в 2.5 – 5 раз, в зависимости от шероховатости поверхности, а в результате сканирования $\Theta/2\Theta$ -методом пики сужались только в 1.5 – 2 раза. При этом наибольшее сужение рефлексов наблюдается для поверхности (001), а наименьшее для поверхности (110). Из выше изложенного следует, что метод качания более чувствителен к общему состоянию поверхности, чем метод сканирования по углам $\Theta/2\Theta$. Тонкое шлифование и полирование, вследствие сошлифовывания и споллировывания дополнительных слоев, позволяет увеличить прозрачность кри-

сталлов и уменьшить шероховатость поверхности рабочих образцов монокристаллов TeO_2 . При обработке кристаллов, особенно на начальной стадии, крупными абразивными порошками поверхность может повреждаться отдельными царапинами, которые не устраним и последующая доводка с полированием. Таких отдельных дефектов можно избежать используя методику предварительного получения и использования максимально однородного зернового состава абразивных порошков.

Таким образом, в результате проведенной работы методами рентгенодифрактометрического сканирования $\Theta/2\Theta$ и качания (угол 2Θ - фиксированный) получены зависимости ширины рефлексов двух порядков от K_β -излучения ориентированных монокристаллов TeO_2 по различным кристаллографическим плоскостям. Установлено, что метод качания более информативен, поскольку он более чувствителен к общему состоянию обработанной поверхности монокристалла для всех видов обработки (раскалывания, разрезания, шлифования, полирования). В целом, на примере парателлурида показано, что приведенными выше методами рентгеновской дифракции можно проводить исследования высококачественных поверхностей бесконтактным способом и эффективно использовать их для оценки качества обработанных поверхностей монокристаллов, когда традиционные методы малоэффективны.

УДК 621.923

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ АЛМАЗНИХ КРУГІВ

Шепелєв А.О., докт. техн. наук, Пасічний О.О., канд. техн. наук

(м. Київ, Україна)

In article the technological system is considered on the basis of the COMPUTER. The system allows to adjust in parameters of process: in temperature, pressure and capacity of heating under the any program.

Сучасний стан інструментального виробництва вимагає постійного оновлення технологічного процесу для покращення конкурентноздатності виробництва інструментів із НТМ. Як відомо, ступінь реалізації часом унікальних властивостей надтвердих матеріалів в інструментах багато в чому залежить від технології виготовлення інструменту та визначення області і способу їх ефективного застосування і використання. Орієнтація на традиційні, навіть високоефективні, рішення, які з самого початку не враховують усіх нюансів використання НТМ, здатні нівелювати переваги використання останніх, а іноді і створити видимість нераціональності їхнього застосування в окремих випадках.

Традиційний технологічний процес виготовлення кругів з НТМ шляхом спікання в печі з наступним ущільненням у нагрітому стані має той недолік, що при цьому методі важко забезпечити необхідну температуру в зоні ущільнення і практично неможливо нею керувати. Для компенсації цього збільшують час витримки інструменту в печі і необрунтовано завищеними питомі зусилля пресування, що негативно позначається на якості спеченого інструментального композита, і приводить до зниження його експлуатаційних показників.

З метою значного поліпшення якості і конкурентноздатності інструмента з НТМ в ІНМ НАН України розроблена автоматизована комп'ютерна система спікання абразивного (алмазного) інструменту, яка дозволяє забезпечити можливість точного керування температурою в конкретній зоні композита абразивного (алмазного) інструмента, що спікають, і синхронну зміну тиску пресування.

Структурна схема автоматизованої комп'ютерної системи включає джерела вхідних сигналів (у розробленій системі — хромель-алюмелеві (ХА) термопари, датчик тиску МП 22517, датчик току і напруги живлення нагрівача). Термо-ЕДС термопар подається на фільтр і нормуючі підсилювачі. Підсилювачі виконані на прецизійних малощумних ОП К140УД20А за класичною схемою інвертуючого підсилювача, з тією відмінністю, що на прямий вхід подається інвертована і приведена до рівня номінального статичного перетворення (ХА) напруга з виходу блоку вимірювання температури навколишнього середовища.

Блоку вимірювання температури навколишнього середовища виконано на базі датчика температури К1019ЕМ1, по типовій схемі з стабілізацією току живлення.

Блок АЦП побудований на базі ВІС AD974BN — 4-х канального, 12 розрядного, швидкодіючого (120 кГц) аналого-цифрового перетворювача. Блок зібраний по схемі, що рекомендується розроблювачем, з використанням інтегрованого джерела опорної напруги і схеми коректування його значення.

Регулювання напруги на нагрівальному елементі печі забезпечується тиристорним регулятором напруги, який зібраний за схемою широтно імпульсної модуляції на лічильниках КМ555ІЕ7 та симисторах ТС142-80.

Для зв'язування всіх блоків в одну систему та електричної розв'язки всього комплексу від силових блоків технологічної установки та від комп'ютера, для запобігання його ушкодження при позаштатних ситуаціях і поломах, розроблено блок сполучення. Зв'язок з комп'ютером здійснюється по паралельному (LPT) порту.

Управління комплексом здійснюється програмою написаною на Visual Basic, при цьому оброблена інформація із датчиків (термопар, датчика тиску) виводиться на екран і може бути збережена у файл для подальшої обробки іншими програмами (Excel, MathCad, і ін.).

При цьому, можливо регулювати зусилля спікання по довільно заданому (обмеженими лише технічними характеристиками пресово-нагрівальної установки) тимчасово-температурному закономі, що дозволяє максимально оптимізувати і стабілізувати процес виготовлення кругів, і збільшити повторюваність технічних характеристик кругів, спечених при різних температурах навколишнього середовища, температурі охолодженої води

(охлаждения термо-барьерных плит преса) і величині напруги живильної мережі.

Розроблена комп'ютеризована система керування процесом спікання дозволяє у реальному масштабі часу відслідковувати температуру в нагрівальній камері пресово-термічної установки, що дозволяє безупинно будувати картину теплових полів прес-форми і шляхом відповідного управління напругою на нагрівачі стабілізувати температуру спікання алмазовмісного композиту. Дана комп'ютерна система реалізована на пресово-термічному комплексі при спіканні алмазних кругів форм 11V9-70⁰, 1A1R, 1A1R SS.

УДК [621.923.4:621.922.34]:678

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОДНОСЛОЙНОГО АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА НИКЕЛЕВО-ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

Шепелев А.А., докт. техн. наук, Сороченко В.Г., канд. техн. наук

(г. Киев, Украина)

The simulation model of volume structure of working surface of single-layer diamond-containing working layer on nickel-galvanic bond that allows determining basic volume and surface geometrical characteristics of the working layer of the tool and their reasonable control is developed.

Изучение вопросов механики контактного взаимодействия алмазного инструмента с деталью является перспективным направлением в области изучения и научного прогнозирования эффективности алмазно-абразивной обработки полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1 – 4, 7, 8]. При этом для процесса алмазно-абразивного шлифования ПКМ важны данные о структуре алмазосодержащего слоя инструмента и состоянии его рабочей поверхности.

Рабочая поверхность однослойного алмазно-абразивного инструмента является шероховатой поверхностью, представляющей собой сложную многофазную гетерогенную систему, состоящую из зерен неэлектропроводных алмазов и связки, прочно соединенных между собой. Принципиальная схема профиля композиционного алмазно-гальванического покрытия показана на рис.1. На

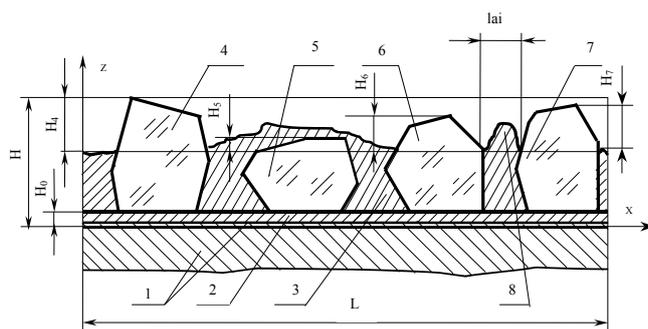


Рис.1. Профиль рабочей поверхности однослойного алмазного круга: 1 – корпус с предварительно закрепленным слоем меди гальваническим методом; 2 – промежуточный безалмазный слой; 3 – связка никелево-гальваническая Э1; 4, 5, 6 и 7 – зерна синтетических алмазов; 8 – наплывы связки («дендриты»).

предварительно медненном гальваническом методом металлическом корпусе 1 с промежуточным безалмазным слоем 2 закреплены в никелевой связке 3 гальваническим методом в один ряд синтетические алмазы 4, 5, 6 и 7. При этом, основное количество зерен алмазов (4, 6 и 7) выступают над поверхностью связки на величину H_i ($i=4,6,7$). Наличие токопроводящих примесей на поверхности алмазов [1,6], а также отклонения от технологического регламента режима окончательного закрепления алмазов [6], приводит к полному зарастанию алмазов в связке (зерно 5) и образованию наплывов («дендритов») 8 в виде отдельных возвышений связки над ее основным номинальным уровнем. Дендритообразование обусловлено электрохимическими факторами процесса и наличием электропроводящих примесей на поверхности алмазных зерен и их малым электрическим сопротивлением [1,6]. Меднение металлического корпуса и промежуточный безалмазный слой 2 толщиной H_0 обеспечивают высокую прочность сцепления алмазосодержащего слоя с корпусом круга.

Рельеф алмазосодержащей композиции круга, формируемый методом гальваностегии, характеризовали профилем рабочей поверхности, геометрической формой алмазов, а также номинальной площадью контакта алмазов, связки и круга с полимерными композиционными материалами.

Профиль рабочей поверхности однослойного алмазного круга определяли в зависимости от зернистости порошка синтетических алмазов d , мкм; количества зерен алмазов на единице поверхности n , шт/мм² и расстояния между алмазами l_{ai} , мм (см. рис.1), а также геометрической формой алмазов, выступающих над связкой.

Измерения производили с 36 рабочих элементов круга. При исследовании применяли алмазные порошки АС32 зернистостью от 200/160 до 1000/800 (200/160, 400/315, 500/400, 630/500, 800/630 и 1000/800) по ДСТУ 3292-95 «Порошки алмазные синтетические». Для уменьшения разновысотности алмазов при изготовлении рабочих элементов специально отбирали шлифпорошки с узким диапазоном зернистости. При этом основная фракция алмазов для определения зернистостей шлифовальных порошков составляла 75...80 %.

Основными требованиями, которые предъявляются к синтетическим алмазам для алмазно-гальванических покрытий, являются требование к электропроводности и чистоте поверхности. Удельное электрическое сопротивление не должно быть меньше 10^{10} Ом·м, а поверхность зерен не должна содержать посторонних примесей, особенно электропроводящих [1,6].

тодом, с деталью отличается от контакта двух однородных шероховатых тел внедрением алмазов в обрабатываемый материал [1,5,7]. Поэтому номинальная площадь контакта круга с полимерными композиционными материалами должна включать в себя суммарную площадь рабочих поверхностей алмаза, расположенных над поверхностью связки, и контактирующих с обрабатываемым материалом.

Таким образом, предложена и обоснована имитационная модель однослойного алмазно-абразивного рабочего слоя инструмента, изготовленного методом гальваностегии, которая базируется на объектно-статистической методологии – статистическом моделировании и позволяет выявлять общие закономерности формирования рабочей поверхности алмазно-абразивного инструмента в процессе шлифования и создает предпосылки их использования при описании рабочей поверхности алмазно-абразивного инструмента в процессе работы. Методология включает в себя: задание формы и размеров однослойного алмазно-абразивного пространства; статистических характеристик алмазных зерен и их состава; требований к электропроводности и чистоте поверхности; размещение зерен алмазов в один слой на рабочей поверхности инструмента; задание поверхности связки и формирование рабочей поверхности алмазно-абразивного инструмента с учетом величины заделки зерен в связке; диагностику состояния и качества рабочей поверхности инструмента и статистический анализ элементов его рельефа. Разработанная имитационная модель позволяет исследовать статистические характеристики поверхности однослойного алмазосодержащего рабочего слоя на никелево-гальванической связке, устанавливать основные закономерности формирования и изменения номинальной и фактической площади контакта алмазов, связки и круга, определять объем зазора в контакте инструмент – деталь, создавать новые конструктивные формы и обоснованно управлять структурой и рельефом рабочей поверхности алмазно-абразивного инструмента.

Таблица 2

Номинальная площадь контакта алмазов, связки и круга с полимерными композиционными материалами (при геометрической площади контакта 100 мм²)

| Зернистость алмазного порошка по ДСТУ 3292-95 | Среднее количество выступающих зерен круга, $n_{ср}$, шт | Площадь проекции алмаза на плоскость связки, мм ² | Суммарная площадь проекций зерен на плоскость связки, мм ² | Номинальная площадь контакта, мм ² /100 мм ² | | | |
|---|---|--|---|--|------------------------------------|--------|---------|
| | | | | Единичного зерна алмаза | Суммарного количества зерен алмаза | Связки | Круга |
| 200/160 | 859 | 0,006 | 5,154 | 0,016 | 13,744 | 94,846 | 108,590 |
| 400/315 | 217 | 0,033 | 7,161 | 0,074 | 16,058 | 92,839 | 108,897 |
| 500/400 | 157 | 0,055 | 8,635 | 0,122 | 19,154 | 91,365 | 110,519 |
| 630/500 | 100 | 0,077 | 7,700 | 0,177 | 17,700 | 92,300 | 110,000 |
| 800/630 | 62 | 0,132 | 8,184 | 0,300 | 18,600 | 91,816 | 110,416 |
| 1000/800 | 39 | 0,249 | 9,711 | 0,726 | 28,314 | 90,289 | 118,603 |

Литература

1. Инструменти з надтвердих матеріалів / Під ред. М.В.Новікова. – Київ: ІНМ НАНУ, 2001. – 528 с.
2. А.И.Грабченко, В.Л.Доброскок. Генезис моделирования алмазно-абразивных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. Научн.-техн. Сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2002. – Вып.63. – С.41-61.
3. Доброскок В.Л., Гарашенко Я.Н. Трансформация статистических характеристик рельефа рабочей поверхности шлифовальных кругов при износе зерен // Наука і освіта: Збірник наукових праць (до 40-річчя співпраці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” та Мішкольцького університету). – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – С.83 – 98.
4. Федорович В.А., Русанов В.В., Кавалец М. И др. Методология 3D моделирования для определения оптимальных характеристик алмазных кругов // Наука і освіта: Збірник наукових праць (до 40-річчя співпраці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” та Мішкольцького університету). – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – С.144 – 150
5. Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Дрожжин В.И. Температура при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов // Наука і освіта: Збірник наукових праць (до 40-річчя співпраці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” та Мішкольцького університету). – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – С.231 –242.
6. Прудников Е.Л. Алмазный инструмент на гальванической связке // Инструментальный світ. – 2000. - № 9. – С. 28-30.
7. Новиков Ф.В., Кривошапка Ю.Н. Проблемы решения технологических задач с применением компьютерной техники //Технологические системы. -2002.-№3(14).-С.63-67.
8. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 7-й Международной научно-технической конференции, 27-28 мая 2003 г.-Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003 г. -279 с.

УДК 621.924.6.088.8

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНЫХ МНОГОЗАХОДНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ЗУБОРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Настасенко В.А., канд. техн. наук, доц.

(г. Херсон, Украина)

On the basis of analyses errors of multiple-start worm gear cutting tools, will be possibility of reducing their sizes was shown at the expense of manufacturing worm on the basic of single cavity hyperboloid of rotation, and can be provided by the technologies which is manufacturing.

1. Связь проблемы с основными научными направлениями, цель и задачи работы.

Червячные зуборезные инструменты относятся к наиболее распространенному виду инструментов для обработки зубчатых изделий. Поскольку зубчатые изделия составляют основную часть большинства машин и механизмов для передачи вращательного движения, требования к точности и качеству которых постоянно растут, то адекватно растут требования к повышению точности и качества их обработки, что влечет за собой рост требований к точности червячных зуборезных инструментов. Учитывая, что мировой выпуск зубчатых изделий только в автомобильной промышленности составляет около 1 млн. штук в день и непрерывно растет, то адекватно растут требования к повышению производительности зубообработки, а также к производительности применяемых для этого червячных зуборезных инструментов. Таким образом, их точность и производительность во многом влияет на технико-экономические показатели зубообработки, а в конечном итоге – и на технико-экономические показатели готовых изделий, что остро ставит проблему их повышения, в решении которой заинтересованы как производители, так и потребители зубчатых механизмов.

В работах [1-3] доказано, что реальное повышение производительности червячной зубообработки возможно только за счет увеличения подачи на оборот фрезы, что ведет к увеличению волнистости от выхода инструмента вдоль зубьев изделия и адекватно снижает качество и точность обрабатываемых поверхностей. Поскольку в работах [1-3] доказано, что устранение данного недостатка возможно лишь за счет увеличения числа заходов червячных зуборезных инструментов, то важной и актуальной становится проблема повышения их точности, поскольку она снижается при увеличении угла подъема винтовой линии основного червяка. Устранение данного недостатка является главной целью выполненной работы. Однако ее решение в рамках традиционных подходов затруднено, т.к. эти погрешности неизбежны у известных червячных инструментов. Поэтому поиск новых подходов к решению поставленной проблемы является главной задачей данной работы.

2. Разработка путей решения проблемы.

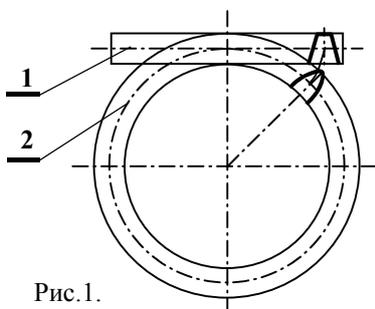


Рис.1.

При решении данной задачи учитывали необходимость выяснения главной причины, ведущей к росту погрешностей при увеличении числа заходов червячных зуборезных инструментов.

Проведенный анализ показал, что ею является несовпадение исходной инструментальной рейки с цилиндрической поверхностью основного червяка, упрощенная схема которых в торцовом сечении показана на рис.1. При этом во всех точках, кроме осевой, контакт рейки 1 и цилиндрической поверхности червяка 2 отсутствует, что и приводит к появлению погрешностей профиля зубьев инструмента и условий формообразования зубьев изделия, величина которых растет с увеличением угла наклона рейки, что характерно многозаходным червячным зуборезным инструментам.

Традиционный путь уменьшения погрешностей перехода от плоского производящего контура рейки к винтовой поверхности основного червяка связан с увеличением его наружного диаметра. Однако он ограничен не только ростом габаритов таких инструментов и его негативными последствиями (повышением расхода инструментальных материалов, ростом трудоемкости изготовления инструмента, ухудшением условий его обслуживания, увеличением затрат на переточку и др.), но и потребностью увеличения мощности и габаритов применяемого оборудования, со своим комплексом негативных последствий (увеличением машинного времени на врезание и перебег инструмента, ростом стоимости зубообрабатывающих станков и их ремонтной сложности, увеличением энергетических затрат, занимаемых площадей и др.). Поэтому такой путь приемлем лишь для мелко модульных червячных инструментов, в основном – шлифовальных кругов. Кроме того, в этом случае конструктивные погрешности червяка не исключаются, а только уменьшаются.

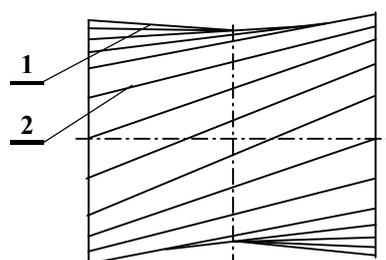


Рис.2..

Предлагаемый путь уменьшения указанных погрешностей возможен при исключении привязки рейки вне осевой точки к цилиндру основного червяка, т.е. при сохранении рейки исходной прямолинейной формы, что возможно при выполнении основного червяка (рис.2) в виде однополостного гиперболоида вращения 1, формируемого прямолинейными образующими 2. Таким образом, в основу

Предлагаемый путь уменьшения указанных погрешностей возможен при исключении привязки рейки вне осевой точки к цилиндру основного червяка, т.е. при сохранении рейки исходной прямолинейной формы, что возможно при выполнении основного червяка (рис.2) в виде однополостного гиперболоида вращения 1, формируемого прямолинейными образующими 2. Таким образом, в основу

предлагаемой конструкции положена неискаженная исходная инструментальная рейка, которая на всех участках гиперболоидного основного червяка находится в точном зацеплении с нарезаемым зубчатым колесом.

Создание лезвийного инструмента данного вида возможно на базе конструкций, предложенных в патентах РФ № 2147496, 2169061, а изготовление – на базе патента РФ № 2200262. При этом традиционная методика профилирования инструмента и традиционная технология его изготовления (с осевым движением инструментов второго порядка по гиперболе), могут быть упрощены. Наиболее простая реализация данного принципа возможна при совмещении продольной подачи инструментов второго порядка с наклоном рейки. При этом инструменты второго порядка лишь копируют профиль исходной инструментальной рейки, а их движение остается прямолинейным, что не только упрощает воспроизведение всех поверхностей червячных инструментов на станке, но и значительно повышается их точность. Кроме этого, предложенные в патентах РФ № 2134183, 2134184, 2147495, 2147496 и в работах [4,5] многозубые конструкции с неперетачиваемыми режущими пластинами (имеющие 60 и более зубьев на виток фрезы), устраняют другой недостаток многозаходных фрез – увеличение огранки поперек зуба нарезаемого колеса.

3. Общие выводы и рекомендации

Предлагаемые многозаходные многозубые червячные инструменты являются наиболее перспективным видом зуборезных инструментов, поскольку обеспечивают реальное повышение производительности, а все их конструктивные погрешности могут быть исключены и переведены в разряд технологических, уменьшаемых более простым путем, что открывает широкие перспективы для их внедрения. Кроме того, совокупность предлагаемых технологий и станков позволяет приступить к производству не только нового вида червячных зуборезных инструментов, но и к новой разновидности червячных передач – гиперболоидных (ZH1 и ZH2). Их главные преимущества: - они имеют промежуточные показатели по прочности и нагрузочной способности между цилиндрическими (всех типов) и глобоидными, но превышают их по точности изготовления и долговечности при эксплуатации, а глобоидные червяки – еще и по простоте изготовления, что, в свою очередь, раскрывает широкие перспективы для их применения. Предлагается совместное сотрудничество по разработке данных червячных инструментов и червячных передач, а также оборудования для их изготовления (73000, а/я 141, Херсон, Украина).

Литература

1. Настасенко В.А. Дополнительный анализ возможности повышения производительности зубофрезерования увеличением числа заходов фрезы. //Вестник машиностроения, 1996, №1. -С.38-40.
2. Настасенко В.А. Зубонарезание многозаходными червячными фрезами как альтернатива зубопроотягиванию. //СТИН, 2001, №1. –С.27-31.
3. Настасенко В.А. Комплексная оценка путей повышения производительности червячных фрез. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2003, Т3. –С. 290-297.
4. Настасенко В.А. Червячные фрезы нового вида и их САПР //Вестник машиностроения, 2000, № 8.- С.28-32
5. Настасенко В.А. Новое поколение пружинно-пластинчатых червячных зуборезных инструментов // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 7-й Междунар. науч.-техн. конф. –Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С.. 94-97.

УДК 621.9

МНОГОШПИНДЕЛЬНАЯ СВЕРЛИЛЬНАЯ ГОЛОВКА

Карпуть В.Е., докт. техн. наук, Граница В.А.

(г. Харьков, Украина)

The article is dedicated to the problem how to increase the productivity of the multiuniversal NC-machines by the means of application of multispindle heads.

В современном многономенклатурном машиностроительном производстве эффективным средством автоматизации процессов механической обработки являются металлорежущие станки с ЧПУ и, в первую очередь, многоцелевые. Вместе с тем широкое распространение металлорежущего оборудования с ЧПУ сдерживает их высокая стоимость, а также немалые расходы на подготовку и отладку управляющих программ. Последовательная концентрация технологических переходов, характерная для многоцелевых станков, обеспечивает повышение производительности обработки по сравнению со станками с ручным управлением в несколько раз, в то время, как стоимость многоцелевого станка в десятки раз выше. Сократить это несоответствие и тем самым повысить эффективность многоцелевых станков можно применяя параллельную концентрацию технологических переходов, то есть многоинструментную обработку с помощью многошпиндельных головок для одновременной обработки (сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы) нескольких отверстий в одной заготовке.

В мировом и отечественном станкостроении имеется опыт применения многошпиндельных головок. Наибольшее развитие это направление повышения производительности многоцелевых станков получило в 80-х годах прошлого столетия [1,2,3]. Применение трехшпиндельной головки для сверления сетки отверстий на станке фирмы Kolb (ФРГ) позволило сократить время обработки на 31%. На станках фирмы Burkhardt und We-

ber (ФРГ) небольшие многошпиндельные головки устанавливаются в тех же магазинах, что и отдельные инструменты. Автоматическая смена инструментов, в том числе многошпиндельных головок, осуществляется двухзахватным автооператором, который устанавливает хвостовик головки в шпиндель станка. При этом корпус головки автоматически фиксируется и закрепляется на шпиндельной бабке.

Крупные многошпиндельные головки, как правило, устанавливают в отдельных магазинах. Так, некоторые многоинструментные станки фирмы Heller (ФРГ) имеют два инструментальных магазина: цепной для отдельных инструментов и барабанного типа – 12-местный для переналаживаемых многошпиндельных головок (до 12 шпинделей в каждой) с размерами корпуса 500x500 мм. Головки меняются по команде от системы ЧПУ. По такому же принципу сконструированы многоцелевые станки фирм Rheinstall (ФРГ), Burr (ФРГ), Cincinnati Milacron (США).

На Ивановском станкостроительном производственном объединении для многоцелевых станков мод. ИР320ПМФ4, ИР500МФ4, ИР800МФ4 были разработаны конструкции переналаживаемых многошпиндельных головок [4], которые поставлялись по дополнительным заказам.

В последний период ситуация существенно изменилась. Основным направлением повышения производительности многоцелевых станков является переход к высокоскоростной обработке, а развитию многоинструментной обработки уделяется неоправданно мало внимания. Так, на европейском станкостроительном рынке многошпиндельные головки к многоцелевым станкам производит только фирма BERGER. В украинском машиностроении этот вид высокопроизводительной технологической оснастки не применяется вовсе. В то же время проведенные нами исследования целесообразности применения многошпиндельных головок на многоцелевых станках подтверждают их эффективность.

По степени гибкости многошпиндельные головки подразделяются на специальные (переналаживаемые) и универсальные (переналаживаемые и гибкие). Специальные многошпиндельные головки целесообразно применять при обработке серий деталей одного типоразмера в крупносерийном производстве, а универсальные – в мелко- и среднесерийном производстве. Причем, в переналаживаемых многошпиндельных головках положение шпинделей изменяется в соответствии с расположением отверстий в деталях вручную, а в гибких – автоматически.

В специальных многошпиндельных головках обработка может осуществляться разными режущими инструментами в соответствии с требованиями к точности и качеству отверстий, поэтому частоты вращения рабочих шпинделей, а следовательно и передаточные числа, представляющие собой отношение числа оборотов режущего инструмента к числу оборотов шпинделя станка, определяются для каждого рабочего шпинделя отдельно. В универсальных многошпиндельных головках, применяющихся для обработки широкой номенклатуры деталей, частоты вращения рабочих шпинделей целесообразно принимать одинаковыми, а передаточные числа близкими к единице, то есть параметры режущих инструментов не должны существенно отличаться.

Число рабочих шпинделей в универсальных многошпиндельных головках невелико (4-6 штук) и ограничивается габаритами, предельно допустимой осевой силой подачи и мощностью станка. В специальных многошпиндельных головках может быть 10-15 шпинделей.

В ХНПК «ФЭД» спроектирована и изготовлена переналаживаемая четырехшпиндельная головка, предназначенная для применения на многоцелевом станке мод. Horizon-2 производства итальянской фирмы «Olivetti», оснащенного инструментальным магазином на 30 инструментов с наибольшей массой сменяемого инструмента 12 кг. Габариты этой многошпиндельной головки позволяют размещать ее в инструментальном магазине допуская установку оправок с инструментами в соседних гнездах .

Таблица

Нормы времени на технологические операции

| Модель станка | Деталь | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | ГП21.303 | | | ГП23.379 | | ГП25.304 | | 30.26.933 | | ГП23.5 51 |
| | T _о , мин | T _ш , мин |
| 2Н118 | 2,66 | 14,93 | 2,03 | 8,78 | 0,93 | 11,11 | 1,00 | 12,37 | 0,13 | 6,42 |
| 2Р135Ф2 | 2,02 | 8,42 | 1,10 | 5,52 | 0,91 | 3,61 | 1,16 | 5,50 | 0,13 | 3,99 |
| Horizon-2 | 2,02 | 8,24 | 1,10 | 5,49 | 0,91 | 3,58 | 1,16 | 5,37 | 0,13 | 3,91 |
| Horizon-2 (мно- гошпиндельная обработка) | 0,68 | 6,78 | 0,45 | 4,60 | 0,27 | 2,27 | 0,45 | 4,82 | 0,05 | 3,78 |

Установка этой головки в шпиндель станка и возврат ее в гнездо инструментального магазина осуществляется автоматически с помощью двухплечевого автооператора. Нами выполнен сравнительный анализ производительности обработки системы однотипных отверстий в корпусах некоторых агрегатов на универсальном вертикально-сверлильном станке с ЧПУ мод.2Н118, вертикально-сверлильном станке с ЧПУ мод. 2Р135Ф2 и многоцелевом станке «Horizon-2» (одно- и многошпиндельная обработка). Результаты расчета основного и штучного времени на технологические операции обработки системы отверстий приведены в таблице.

Установлено, что в данном случае многоцелевой станок превосходит по производительности универсальный в 1,6-3,1 раза, а станок с ЧПУ – в 1,01-1,02 раза, так как затраты времени на смену режущего инструмента вручную и автоматически существенно не отличаются. Дальнейшая интенсификация обработки на многоцелевом станке связана с применением многошпиндельной обработки. Как видим, применение многошпиндельной головки повышает производительность многоцелевого станка на 10-20%. Причем, рост производительности тем больше, чем больше доля основного времени в штучном. При обработке системы отверстий в более простых деталях небольших размеров типа фланцев и крышек производительность возрастает в 1,5-2 раза.

Таким образом, производственные исследования показали, что переналаживаемые многошпиндельные головки позволяют существенно повысить производительность многоцелевых станков при обработке систем отверстий диаметром до 7-8 мм, особенно в деталях из цветных металлов и сплавов.

Литература

1. Кузнецов Ю.И. Интенсификация обработки на станках с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы // Станки и инструмент. 1977. №10. С.32-35.
2. Кордыш Л.М., Кашелава М.Я. Многооперационные сверлильно-фрезерно-расточные станки с автоматической сменой инструментов на выставке "Станки ФРГ-80" // Станки и инструмент. 1981. №5. С.29-33.
3. Волощенко П.В., Куликов С.И. Вопросы совершенствования металлорежущих станков с ЧПУ // Станки и инструмент. 1983. №8. С.4-5.
4. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – М.: Машиностроение. 1990. – 512с.

УДК 621.9.06

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ АГРЕГАТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пермяков А.А., докт. техн. наук, Гулиев Д.А.
(г. Харьков, Украина)

In the article the algorithm of optimization of parameters of technological layout of multiposition unit-building technological systems by criterion of the technological cost price surveyed.

Производительность агрегатированных технологических систем механообработки (АТСМ) определяется требованиями заводов-заказчиков для осуществления действующих производственных программ. Поскольку повышение производительности оборудования не планируется, часто допускается снижение режимов резания при проектировании операций механической обработки, порождая неэффективное технологическое использование многоинструментных наладок (МН) дорогостоящего станочного оборудования.

Качество АТСМ закладывается при их проектировании, которое ведется по следующей схеме: формулирование технической задачи - разработка вариантов решения - сравнительный анализ вариантов - принятие решения. Та особенность проектирования специальных агрегатных станков, что они создаются единицами для обработки сложных по геометрии деталей большой номенклатуры, предполагает вариантность конструкторско-технологических решений, принимаемых на ранних этапах проектирования (разработки технического задания и технического предложения). Эти этапы традиционно выполняются проектировщиками из числа наиболее квалифицированных конструкторов. Отсутствие аппарата оценки вариантов технологических компоновок (ТК) в условиях дефицита времени при проектировании зачастую приводит к получению малоэффективных решений. Повышение качества станков в большинстве случаев достигается их "доводкой", удлинняя сроки и увеличивая затраты на создание оборудования.

При переходе к автоматизированному проектированию возникает необходимость изменения самой технологии проектирования. В сущности, процесс проектирования - это процесс отбора из ряда альтернативных вариантов наиболее рационального путем их оценивания (количественного, экспертного). На каждой стадии проектирования процесс отбора может повторяться до тех пор, пока выходные характеристики проектируемого объекта не окажутся в допустимых пределах. Итерационный характер процесса проектирования дает основание представить его в виде системы управления эффективностью МН АТСМ. Под управлением эффективностью МН АТСМ следует понимать возможность целенаправленного изменения их структуры и параметров для достижения одной из целей проектирования (снижения себестоимости обработки, повышения производительности обработки и т.п.).

Задача расчета производительности Q АТСМ фактически сводится к определению такта выпуска τ детали, который, в свою очередь, зависит от технологической компоновки и параметров режима резания:

$$\tau = f(t_{px}, t_{xx}),$$

где t_{px} - время рабочего хода, затрачиваемое непосредственно на обработку заготовки; t_{xx} - время холостого хода, затрачиваемое на различные вспомогательные перемещения.

Для АТСМ характерно преобладание основного времени обработки над вспомогательным. Вспомогательное время, в основном, зависит от конструкторско-эксплуатационных параметров силовых агрегатов, поворотного делительного стола, характера загрузки-выгрузки детали, а основное время определяется структурой и параметрами процесса обработки. Указанное обстоятельство позволяет предположить, что поиск эффективных проектных технологических решений на ранних этапах проектирования следует осуществлять путем варьирования величиной основного времени обработки посредством выбора оптимального варианта структуры и параметров процесса обработки.

Невозможность оценки эффективности рассматриваемого варианта структуры и параметров процесса обработки в традиционном проектировании при переходе к автоматизированному проектированию может быть преодолено использованием методики формирования множества вариантов и аппарата их сравнения. При этом эффективность варианта может быть оценена как относительная величина сравнения конкурирующих вариантов.

Свидетельством эффективности уникального дорогостоящего технологического оборудования является, прежде всего, обеспечение минимально возможной себестоимости обрабатываемых на нем изделий. Определим задачу поиска эффективного варианта технологической компоновки АТСМ как задачу поиска наиболее экономичного варианта:

$$C_э \rightarrow \min, Q \geq Q_з,$$

где $C_э$ – технологическая себестоимость обработки детали в АТСМ, грн.; $Q, Q_з$ – расчетная и заданная производительность АТСМ соответственно, дет/час.

В процессе проектирования ТК АТСМ на этапе синтеза плана обработки детали может быть сформировано множество возможных вариантов, обеспечивающих идентичное качество, из которых необходимо выбрать экономически целесообразный вариант и только потом осуществить его детальную проработку.

При построении целевой функции $C_э$ оценки проектных решений на ранних этапах проектирования в состав эксплуатационных затрат необходимо включить только те составляющие, которые меняются при изменении технологического процесса обработки детали в АТСМ и не зависят от конструкторской реализации, выполняемой на последующих этапах проектирования:

$$C_э = Z_о + C_эл + C_{ин},$$

где $Z_о$ – заработная плата основных производственных рабочих; $C_эл$ – затраты на электроэнергию; $C_{ин}$ – затраты на режущий инструмент, приходящиеся на одну деталь.

В свою очередь

$$Z_о = C_n \cdot K_{обсл} \cdot \tau,$$

где C_n – норматив заработной платы оператора за одну минуту со всеми начислениями, грн/мин; $K_{обсл}$ – коэффициент, учитывающий многостаночное обслуживание;

$$C_{эл} = 60 \cdot C_{эл} \cdot N_p \cdot \tau,$$

где $C_{эл}$ – нормативная стоимость 1 кВт·час электроэнергии, грн/кВт·час; N_p – мощность резания, необходимая для производства одной детали на станке, кВт.

Стоимость комплекта режущего инструмента, необходимого для выполнения производственной программы,

$$C_{ин}' = \sum_{j=1}^J C_{u_j} \cdot U_j;$$

где C_{u_j} – стоимость j-го инструмента, грн; U_j – количество j-ых инструментов, необходимых для выполнения производственной программы;

$$C_{u_j} = C_{опj} + (C_{зj} + C_{нj}) \cdot K_{перj},$$

где $C_{опj}$ – оптовая цена инструмента, грн; $C_{зj}$ – затраты на заточку инструмента, грн; $C_{нj}$ – затраты на подналадку инструмента, грн; $K_{перj}$ – число допустимых переточек инструмента;

$$U_j = (60 \cdot \Phi_г \cdot K_{номj}) / (T_j \cdot (K_{перj} + 1))$$

где $\Phi_г$ – годовой фонд времени работы оборудования, час; $K_{номj}$ – коэффициент учета внеплановых потерь инструмента; T_j – календарная стойкость j-го инструмента;

$$T_j = \frac{T_{npj} \cdot T\bar{b} \cdot n_{bj}^\mu}{(T_{npj} - T\bar{b}) \cdot n_{\min j}^\mu + T\bar{b} \cdot n_{bj}^\mu} \cdot \frac{\tau}{t_{резj}} \cdot K_{номj, мин},$$

где T_{npj} - предельно достижимое значение стойкости для данных условий обработки и типа инструмента, мин; $T\bar{b}=100$ - базовое значение стойкости резания, мин; n_{bj} - базовая частота вращения режущего инструмента, об/мин; $n_{\min j}$ - минимальная частота вращения инструмента, обеспечивающая заданную производительность, об/мин; $t_{резj}$ - время резания инструмента:

$$t_{резj} = l_{резj} / (n_{\min j} \cdot S\bar{b}_j),$$

где $S\bar{b}_j$ - базовая подача инструмента, мм/об.

Затраты на инструмент, приходящиеся на одну деталь:

$$C_{ин} = C_{ин}' / N_{год},$$

где $N_{год}$ - годовая программа выпуска деталей, шт/год.

$$N_{год} = \Phi_2 \cdot 60 / \tau.$$

Тогда

$$C_{ин}' = \sum_{j=1}^J \frac{(C_{онj} + (C_{зj} + C_{нj}) \cdot K_{нерj}) \cdot K_{номj}}{T_j \cdot (K_{нерj} + 1)} \cdot \tau.$$

Выполнив подстановки, получим целевую функцию

$$C_{э} = (C_{эл} \cdot N_{уд} + C_{н} \cdot K_{обсл} + \sum_{j=1}^J \frac{(C_{онj} + (C_{зj} + C_{нj}) \cdot K_{нерj}) \cdot K_{номj}}{T_j \cdot (K_{нерj} + 1)}) \cdot \tau,$$

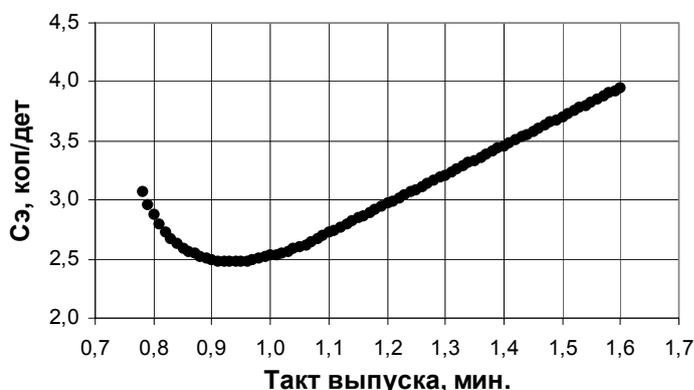


Рис.1. Зависимость себестоимости обработки от такта выпуска.

Анализ целевой функции $C_{э}=f(\tau)$ показывает, что сокращение такта выпуска детали в некотором интервале ведет к снижению себестоимости обработки (рис.1). Очевидно, что ограничение $Q \geq Q_3$ делает неперспективными варианты ТК, у которых $\tau_{opt} > \tau_3$. Обеспечение требуемой производительности для этих вариантов ведет к росту затрат. Для остальных вариантов ТК задача обеспечения наименьшей себестоимости обработки может решаться путем сокращения основного времени обработки $t_{рх}$ за счет максимально возможной интенсификации процесса обработки.

Поскольку $t_{рх}$ является функцией параметров режима резания (подачи S и скорости резания V), а скорость резания V имеет пределы варьирования, определяемые зоной действия закона "скорость-стойкость", можно предположить возможность направленного выбора проектных параметров ТК, обеспечивающих минимум целевой функции.

Выбор рациональных факторов управления проектными параметрами процесса резания является многовариантной задачей. Задача поиска эффективного варианта управляющего воздействия R формулируется как задача минимизации целевой функции при условии выполнения ограничений.

$$C_{э}(R) = \min_R \{C_{э}(R)\}$$

Параметры, входящие в формулу целевой функции, оказывают различное влияние на процесс резания, определяя нормальную работу станка, рациональную эксплуатацию режущего инструмента и т.д. На ряд параметров накладываются ограничения, определяемые конкретными условиями технологического, конструкторского и организационно-производственного характера.

Проектируемая АТСМ должна обеспечить требуемое качество обрабатываемой детали в течение всего срока эксплуатации с производительностью, не ниже заданной, при коэффициенте технического использования $K_{тн}$, установленном заказчиком.

$$\tau_{opt} \leq 60 \cdot K_{тн} / Q_з.$$

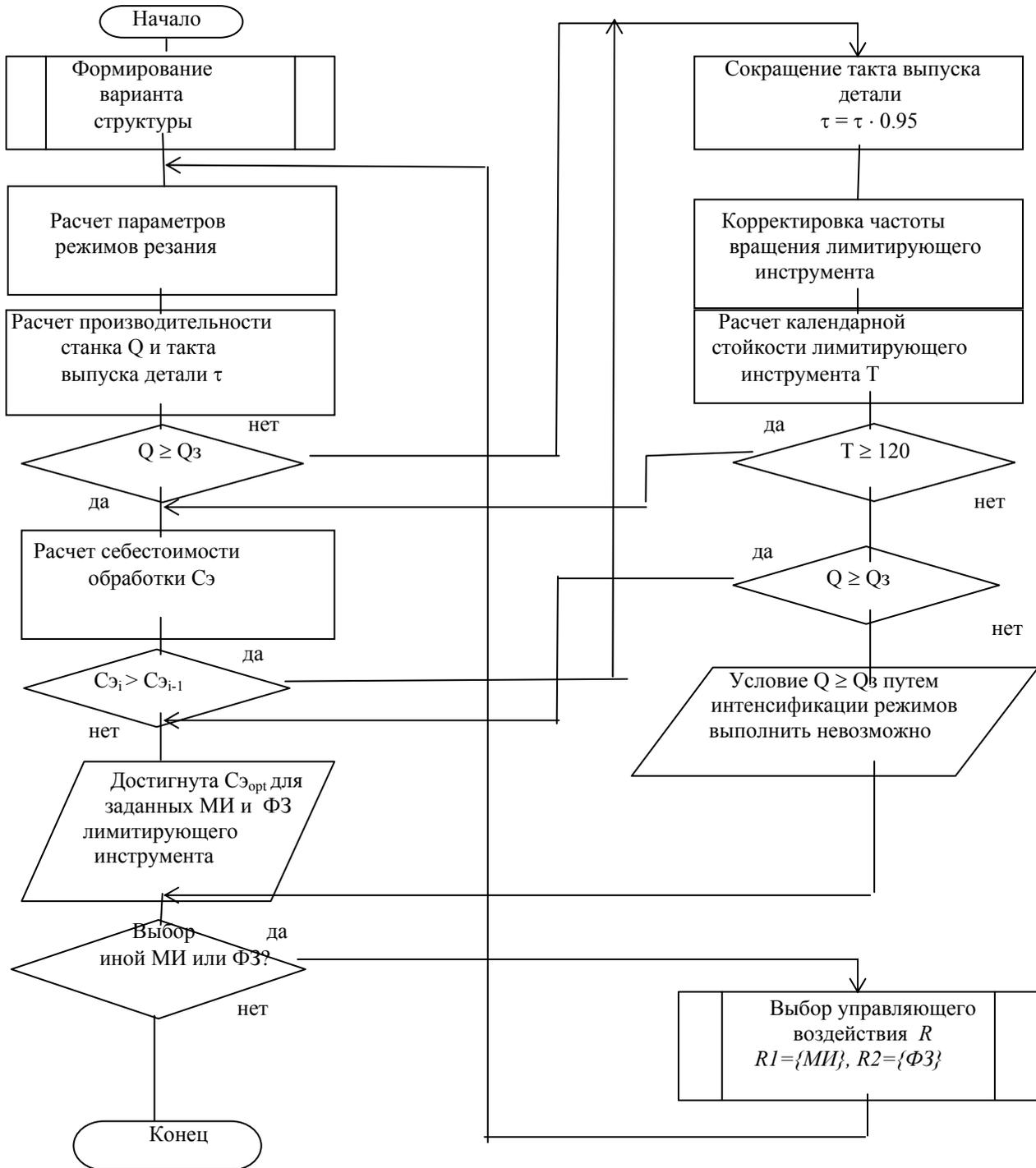


Рис.2. Укрупненный алгоритм синтеза эффективного варианта технологической компоновки АТСМ.

Организационно-производственные ограничения обусловлены мощностями инструментального хозяйства предприятия-заказчика и определяют возможность использования при реализации процесса обработки детали оригинального режущего инструмента или инструмента с заточкой, отличной от нормальной.

Конструкторские ограничения связаны с техническими возможностями силовых узлов и узлов технологического оснащения по допустимой силе резания, крутящему моменту, мощности резания:

$$P_{oc} \geq [P_{oc}], M_{кр} \geq [M_{кр}], N_{р} \geq [N],$$

где $[Poc]$, $[Mкр]$, $[N]$ - допускаемые конструкцией силового узла значения силы резания, крутящего момента, мощности привода.

При выборе рациональных значений подачи и частоты вращения справедливы следующие технологические ограничения:

$$S_{min} \leq S_j \leq S_{max}, V_{min} \leq V_j \leq V_{max},$$

где S_{min} , S_{max} , V_{min} , V_{max} - наименьшие и наибольшие значения подачи и скорости резания, задающие область корректности аналитических зависимостей расчета S и V для отношений "технологический переход - обрабатываемый материал - материал инструмента". Выразив скорость резания через частоту вращения, получим

$$n_{min} \leq n_j \leq n_{max}.$$

Анализ параметров, входящих в формулу целевой функции, показывает, что их значения определяются типом режущего инструмента РИ и его исполнением (маркой инструментального материала МИ, формой заточки ФЗ):

$$Con = f(PI, MI, \Phi Z); Cз = f(\Phi Z); Cn = f(PI); \\ Kнеp = f(PI, \Phi Z); T = f(MI).$$

Очевидно, что существование пределов варьирования параметрами MI и ΦZ позволяют принять их в качестве управляющих воздействий системы управления эффективностью многоинструментных наладок АТСМ.

$$R = \{R1, R2\}, R1 = \{MI\}, R2 = \{\Phi Z\}.$$

Разработанная математическая модель управления проектными параметрами положена в основу алгоритма синтеза эффективного варианта ТК АТСМ (рис.2).

С использованием подсистемы "РЕЖИМ" САПР АС, реализующей данный алгоритм, был осуществлен поиск оптимальных параметров процесса резания при обработке группы соосных поверхностей деталей, обрабатываемых в АТСМ.

Таким образом, использование методик синтеза структуры и направленного поиска оптимальных проектных параметров процесса обработки позволяет повысить эффективность проектных решений, принимаемых на ранних стадиях проектирования. Возможность проведения вариантного проектирования ТК АТСМ в реальные сроки, отводимые на него, определяет практическую ценность выполненных исследований.

Литература

1. Ю.В.Тимофеев, В.Д.Хицан, М.С.Васерман, В.В.Громов. Агрегатные станки средних и малых размеров. – М.:Машиностроение, 1985. – 248 с.

УДК 621.941.025

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСЛОВИЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ НА ДЕРЖАВКЕ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНОГО РЕЗЦА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Матюха П.Г., докт. техн. наук, проф., Скрынников В.С., аспирант

(г. Донецк, Украина)

The article contain mathematical model of conditions fixing of universal-assembly cutting tool.

Современное производство ориентировано на запросы рынка и должно обладать достаточной гибкостью, обеспечивающей быструю переналадку на выпуск новой продукции. Такому производству должно соответствовать и гибкое инструментальное обеспечение. В связи с этим создание математической модели условий закрепления режущей части на державке универсально-сборного резца в процессе резания, позволяющей определить области применения конструкций инструмента, является актуальной задачей.

Математическая модель условий закрепления пластины используется для поиска оптимальных конструктивных параметров элементов крепления резцов, оснащенных многогранными пластинами [1], универсально-сборных резцов [2], а также определения технологических возможностей резцов модульных конструкций [3]. Исследования условий закрепления режущей части универсально-сборных резцов с заменяемыми опорными подкладками в литературе отсутствует.

Целью работы является разработка математической модели условий закрепления режущей части универсально-сборного резца в процессе резания, расширенное универсальности которого достигается за счет заменяемых опорных подкладок, несущих многогранные неперетачиваемые пластины (МНП) [4]. В таких резцах заменяемые опорные подкладки кроме функций опоры выполняют дополнительную функцию закрепления. В результате конструкция позволяет устанавливать на одну державку МНП с различным числом граней и разными углами в плане.

Математическая модель условий закрепления режущей части на державке включает:

- усилия закрепления подкладки с режущей пластиной на державке в процессе сборки;
- усилия закрепления подкладки с режущей пластиной на державке в процессе резания.

При определении усилий закрепления подкладки с режущей пластиной на державке универсально-сборного резца в процессе резания примем следующие допущения: силы резания приложены к вершине МНП; распределенные нагрузки заменим сосредоточенными силами, приложенными в центре контактирующих участков поверхностей.

Для удобства исследований сил, действующих на подкладку с режущей негативной пластиной универсально-сборного резца, составляющие силы резания P_x , P_y и P_z , заданные в статической системе координат XYZ (рис. 1), связанной с инструментом, представим в системе координат $X_n Y_n Z_n$, связанной с передней поверхностью резца.

В соответствии с конструктивным решением узла крепления рабочей части к державке опорная поверхность заменяемой подкладки параллельна передней поверхности МНП и отстоит от нее на величину b , а ее продольная ось перпендикулярна направлению проточки в державке.

Начало системы координат $X_n Y_n Z_n$ проходит через вершину МНП, ось Z_n перпендикулярна опорной поверхности заменяемой подкладки и направлена вниз; ось Y_n перпендикулярна продольной оси подкладки, лежит в плоскости параллельной опорной поверхности подкладки; ось X_n перпендикулярна осям Y_n и Z_n .

Проекции P_{x_n} , P_{y_n} и P_{z_n} равнодействующей силы резания R в системе координат $X_n Y_n Z_n$ определяются по формулам:

$$P_{x_i} = P_x (\cos \mu \cdot \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \cos \chi - \sin \chi \cdot \sin \mu \cdot \cos \lambda_{\dot{a}} - \sin \chi \cdot \cos \mu \cdot \sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \lambda_{\dot{a}}) + P_y (-\cos \mu \cdot \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \chi - \cos \chi \cdot \sin \mu \cdot \cos \lambda_{\dot{a}} - \cos \chi \cdot \cos \mu \cdot \sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \lambda_{\dot{a}}) + P_z (\sin \mu \cdot \sin \lambda_{\dot{a}} - \cos \mu \cdot \sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \cos \lambda_{\dot{a}});$$

$$P_{y_i} = P_x (\sin \mu \cdot \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \cos \chi + \sin \chi \cdot \cos \mu \cdot \cos \lambda_{\dot{a}} - \sin \chi \cdot \sin \mu \cdot \sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \lambda_{\dot{a}}) + P_y (-\sin \mu \cdot \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \chi - \cos \chi \cdot \cos \mu \cdot \cos \lambda_{\dot{a}} - \cos \chi \cdot \sin \mu \cdot \sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \lambda_{\dot{a}}) + P_z (-\cos \mu \cdot \sin \lambda_{\dot{a}} - \sin \mu \cdot \sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \cos \lambda_{\dot{a}});$$

$$P_{z_i} = P_x (\sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \cos \chi + \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \lambda_{\dot{a}} \cdot \sin \chi) + P_y (-\sin \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \chi + \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \sin \lambda_{\dot{a}} \cdot \cos \chi) + P_z \cdot \cos \alpha_{N\dot{a}} \cdot \cos \lambda_{\dot{a}}.$$

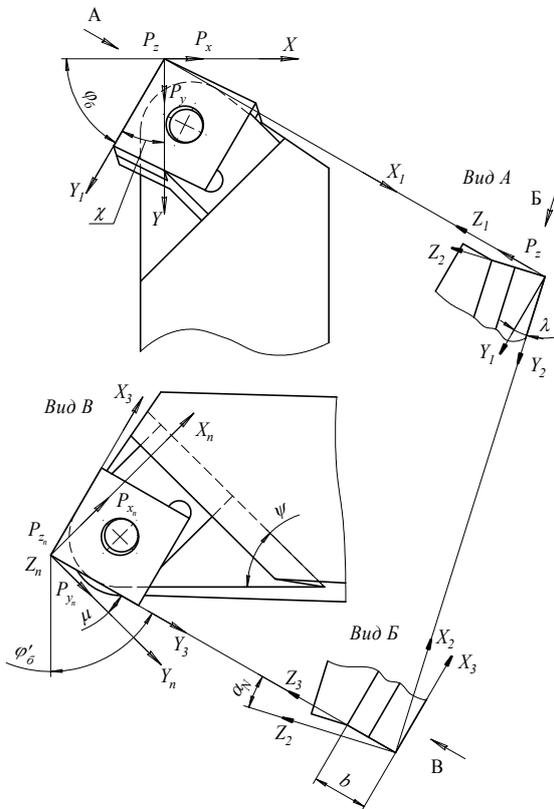


Рис. 1. Проекция сил резания в системах координат XYZ и $X_n Y_n Z_n$.

В процессе сборки в результате затяжки штифта на подкладку с МНП действует сила P_2 (рис. 2), которая поджимает МНП к подкладке, а подкладку к наклонной поверхности проточки в державке, а также сила P_3 которая буртом втулки поджимает подкладку к опорной поверхности проточки в державке. Значение сил P_2 и P_3 в процессе сборки определены нами ранее.

В процессе резания на подкладку с МНП действуют составляющие силы резания P_{x_n} , P_{y_n} и P_{z_n} (см. рис. 1, 2). Сила P_{x_n} складываясь с силой P_2 вызывает на наклонной поверхности проточки реакцию R_6 с вертикальной R_{66} и горизонтальной R_{z6} составляющими. Совместное действие сил P_{z_n} , P_3 и R_{z6} обусловит на опорной поверхности проточки реакции R_7 и R_8 . Под действием силы P_{y_n} подкладка с режущей пластиной стремится сдвинуться в направлении проточки, в результате, от силы P_3 и реакций R_6 , R_7 и R_8 возникают силы трения F_3 , F_6 , F_7 и F_8 .

Условия равновесия подкладки под действием приложенных сил описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N P_{x_i} = 0; \\ \sum_{i=1}^N P_{y_i} = 0; \\ \sum_{i=1}^N P_{z_i} = 0; \\ \sum_{i=1}^N M_{D-D_i} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Проекция сил на оси системы координат $X_n Y_n Z_n$ и моменты сил относительно осей $D-D$ полученные на основании системы (1) описывается следующей системой

$$\begin{cases} P_{x_n} + P_2 - R_{z6} = 0; \\ P_{y_n} - F_3 - F_6 - F_7 - F_8 = 0; \\ P_{z_n} + F_2 + P_3 + P_{66} - R_7 - R_8 = 0; \\ -P_{z_n} \cdot m + P'_{x_n} \cdot b + P'_{y_n} \cdot b + P'_2 \cdot \left(b - \frac{s}{2}\right) + F_2 \cdot l'_2 + \\ + P_3 \cdot l'_3 - R'_{z6} \cdot \frac{b}{2} + R_{66} \cdot l'_6 - R_8 \cdot l'_8 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

С другой стороны, также ограничено условием отсутствия сдвига, которое получим на основании второго уравнения из системы (2)

$$P_{y_n} \leq F_3 + F_6 + F_7 + F_8; \quad (3)$$

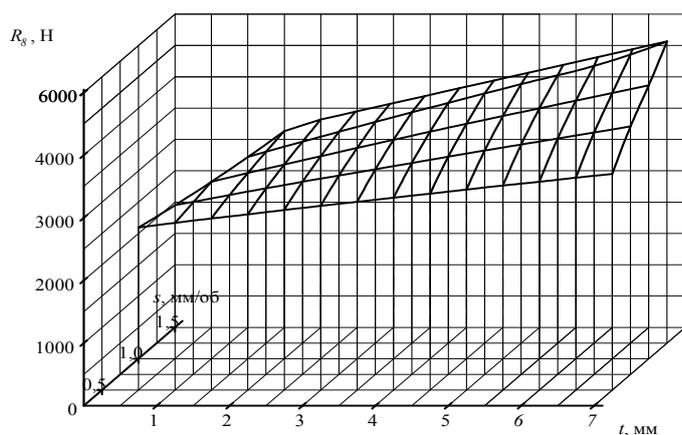


Рис. 3 Влияние глубины резания t и подачи s на значение реакции R_8 .

Правая часть выражения (3) представляет собой сумму сил трения F_{mpc} , удерживающих подкладку с режущей пластиной от сдвига силой P_{y_n}

$$F_{mpc} = F_3 + F_6 + F_7 + F_8. \quad (4)$$

Тогда, общая запись условия надежного закрепления подкладки с МНП на державке примет вид

$$\begin{cases} R_8 \geq 0; \\ F_{mpc} \geq P_{y_n}. \end{cases} \quad (5)$$

Предлагаемая математическая модель условий закрепления режущей части на державке реза реализовано на ПЭВМ в виде специально программы, которая позволяет, с учетом неравенств (5) оптимизировать конструктивные параметры узла крепления, а также определить допустимые режимы резания (t и s), и следовательно, область

возможного применения реза в зависимости от конструктивных параметров узла крепления.

Расчет влияния режимов резания на условия закрепления подкладки с МНП на державке проводили при глубинах резания, ограниченных размерами режущей кромки МНП, а подачах, ограниченных прочностью пластины из твердого сплава [5]. Из результатов расчета для реза с державкой 25x25, представленных в виде графиков (рис. 3, 4), видно, реакция R_8 имеет положительное значение во всем рассматриваемом диапазоне и с увеличением режимов резания ее значение увеличивается, так же, с увеличением режимов резания сила трения F_{mpc} , удерживающая подкладку на державке от сдвига, возрастает.

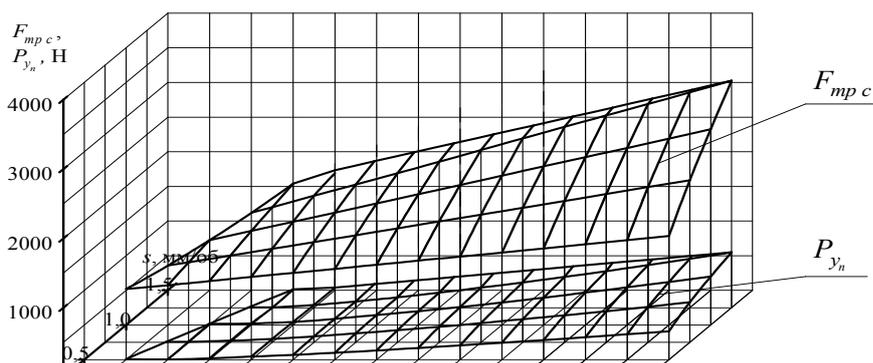


Рис. 4 Влияние режимов резания t и s на силу трения F_{mpc} , удерживающую подкладку на державке от сдвига, и силу P_{y_n} , сдвигающую подкладку относительно державки при $\varphi_6 = 60^\circ$.

Таким образом, силы закрепления подкладки с МНП не накладывают ограничений на режимы резания, а наличие математической модели условий закрепления

режущей части на державке в процессе резания позволяет определить режимы резания допустимые силами закрепления подкладки с МНП к державке не прибегая к трудоемким экспериментам.

Литература

1. Круглов Е.И., Игнатенко Ю.В., Андрейчиков О.С. Повышение надежности и долговечности резцов со сменными механически закрепляемыми пластинами/ Проблемы повышения качества, надежности и долговечности машин: Сб. науч. тр. – Брянск: БИТМ, 1989. – 148 с.

2. Матюха П.Г., Гринев Ю.А. Исследование условий закрепления поворотной подкладки с режущей пластиной на державке универсально-сборного резца./ Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2000. Вып. 10 – 318 с.
3. Савенков В.А., Матюха П.Г. Система расточных резцов для обработки отверстий диаметром 70-100 мм./ Современные металлорежущие системы машиностроения/ Материалы 3-й Всеукраинской студенческой конференции. Выпуск 4-й. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 179 с.
4. Патент на винахід №54432 В23В27/16. Різальний інструмент./ Матюха П.Г., Гринев Ю.О., Федченко О.Г.. Опубл. 17.03.2003. Бюл. №3.
5. Выгодский Я.В. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1965. 872 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА ПРАВКИ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА АБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ

Калафатова Л.П., докт. техн. наук, проф., Поколенко Д.В., Шевченко В.А.

(г. Донецк, Украина)

In this article the problems of increasing of dressing's method of diamond wheels whith free abraseav are discussed. The problem is solved at the expense of abraseav's suspension which contained abrasive powder of certain size, non-organic binder and liquid faze as water solution of surface active substances.

Совершенствование способов шлифования различных конструкционных материалов обеспечивает возрастание удельного веса шлифовальных операций в технологических процессах механической обработки. При этом шлифование успешно заменяет не только окончательные, но и заготовительные операции, связанные со снятием значительных припусков. Однако несомненные достоинства процесса шлифования реализуются наиболее полно лишь в том случае, когда вместе с развитием технологии шлифования получает аналогичное или даже опережающее развитие технология восстановления режущей способности шлифовальных кругов. Повышение технического уровня процессов правки и правящих инструментов способствует значительному росту эффективности процесса шлифования.

При шлифовании абразивные и алмазные инструменты изнашиваются под действием сил резания и температур, а также динамического, контактного и химического взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки. Износ рабочей поверхности круга (РПК) в зависимости от технологических условий шлифования проявляется в различных видах и зачастую сочетается с искажением его геометрической формы. Работа затупленными кругами сопровождается ростом силового воздействия на обрабатываемый материал, снижением качества формируемой поверхности по параметру дефектности, ухудшением эксплуатационных характеристик изделий, повышенным непроизводительным расходом алмазных кругов [1, 2]. В связи с этим через некоторый период времени (период стойкости), определяемый технологическими условиями шлифования, абразивный круг настолько теряет свою режущую способность либо изменяет геометрическую форму, что требуется применение специальных мер, позволяющих восстановить способность инструмента производить обработку заготовок с заданными показателями. Превышение степени износа сверх допустимого уровня вызывает необходимость правки РПК, которая осуществляется разнообразными способами.

Тем не менее, многие существующие технологические процессы обработки изделий не предусматривают правку алмазного инструмента. Там же, где правка используется, она не всегда бывает достаточно эффективной. Установлено, что расход абразивного (алмазного) и правящего инструмента, производительность, качество и эффективность шлифования во многом зависят от того, насколько обоснованно выбрана технология правки, на которую затрачивается до 40-80% (а в некоторых случаях до 90 - 95%) полезного объема шлифовальных кругов. При этом затраты времени на правку нередко достигают 30-40% штучного времени операции шлифования. Таким образом, установление минимального припуска, снимаемого с круга при правке, также представляет важную технологическую и экономическую задачи. Следовательно, выбор рациональных технологических условий правки способен в значительной мере снизить себестоимость и увеличить эффективность шлифования.

Исходя из сказанного, целью выполненных исследований является разработка способа правки, отличающегося достаточно высокими технико-экономическими показателями и универсальностью. Предполагается, что использование предлагаемого способа правки будет реализовываться в условиях обработки хрупких материалов, в частности изделий из керамики технических стекол и ситаллов.

Вопросам правки шлифовальных алмазных кругов посвящено значительное количество исследований [3-5]. В настоящее время известны два основных направления в разработке перспективных способов правки алмазных инструментов различных конструкций и типов: специальные, к которым, прежде всего, относятся электроэрозийные и электрохимические способы, основанные на электрическом и электрохимическом воздействии на связку алмазных кругов; способы механической правки и профилирования кругов (рис. 1).

Среди способов первого направления наиболее изучаемым является электроэрозионный способ правки. Несмотря на общепризнанные достоинства этого способа, необходимо отметить и присущие ему недостатки. Сложность реализации в производственных условиях; большие энергозатраты; ограничения, накладываемые материалами связки кругов на эффективность процесса правки; сложности при соблюдении правил техники безопасности в условиях повышенной влажности в зоне работы станочника и наличия в ней же мощного источника электрических разрядов. Электроэрозионные способы применяются для правки кругов на металлических связках; алмазно-абразивный инструмент на неметаллических связках электроэрозионной правке не подлежит. В этом случае применимы механические способы правки.



Рис.1 Технологические методы правки шлифовальных кругов.

Способы механической правки нашли широкое распространение на производстве. Их многообразие определяется многообразием операций механического воздействия на абразивный инструмент. Все эти способы преследуют цель: исправить геометрию подвергаемого правке инструмента и создать требуемый микропрофиль его рабочей поверхности.

Прослеживаются следующие тенденции в развитии механических способов правки, отличающихся, прежде всего, видом правящего инструмента, в качестве которого могут выступать: абразивный инструмент - абразивные круги, ролики, карандаши, шарошки; кристаллический инструмент - моно и поликристаллы алмаза, нитрида бора и др.; неабразивный или комбинированный инструмент - молибденовые, танталовые, ниобиевые пластины, стержни, пластины из естественного камня, керамики и т.д.; свободный абразив, подающийся в зону правки различными способами.

Наиболее широко распространены способы правки абразивным правящим инструментом. Однако они имеют существенные недостатки: интенсивный износ алмазных зерен инструмента, подвергаемого правке; низкая эффективность процесса вышлифовывания межзеренного пространства; большой расход правящих инструментов; низкая режущая способность правящих кругов. Применение кристаллического и неабразивного правящих инструментов, имеющих форму остrokонечных стержней, пластин и т. д. также не обеспечивает надежного повышения эксплуатационных характеристик шлифовальных кругов и используется, в основном, при правке специальных профильных кругов.

Достаточное применение находит способ механической правки алмазных кругов с использованием свободного абразива с учетом разнообразия конструкций устройств для его реализации [5-7]. Этот вид правки является универсальным для кругов с различными типами связок и может быть реализован без прерывания процесса шлифования [7]. Он показал свою эффективность при обработке материалов на основе стекла [1] и был апробирован также при шлифовании образцов из инструментальной и конструкционной керамики.

Один из первоначальных вариантов реализации способа состоял в следующем [7]. Возле поверхности вращающегося круга, подвергаемого правке, устанавливают притир с зазором, не превышающим размер зерен основной фракции шлифовального инструмента. В этот зазор всыпают порошок свободного абразива. Притиру сообщают колебания вдоль образующей инструмента и в направлении инструмента с частотами, не кратными

частоте вращения инструмента. Но из-за небольшой интенсивности движения притира и случайного попадания частиц свободного абразива в промежуток между кругом и притиром, невозможно обеспечить высокую производительность и качество правки. Зерна абразива, которые в недостаточном количестве попадают к поверхности круга, не успевают эффективно вышлифовать его связку и обеспечивать выступание неизношенных алмазных зерен.

В настоящей статье представлены результаты исследований, позволивших устранить указанный недостаток способа правки свободным абразивом. Для повышения эффективности процесса правки целесообразно абразив подавать в зону правки в составе абразивных суспензий. Известен вариант реализации способа правки свободным абразивом [6], в соответствии с которым в промежуток между шлифовальным кругом 1 и притиром 2, установленным под углом α к вектору скорости круга V в точке их соприкосновения, подают свободный абразив 3 в виде суспензии и сообщают инструменту и притиру относительные возвратно-поступательные перемещения вдоль образующей и непрерывное движение по направлению к рабочей поверхности инструмента (рис. 2). Свободный абразив берут размером, равным 0,6-0,9 размера зерен абразивного инструмента. Используют следующий состав абразивной суспензии, масс. %: абразив 46,0-50,0; глина 23,0-27,0; вода – остальное. Этот способ позволяет увеличить производительность и качество правки абразивного инструмента, практически сравнив их с вариантом использования электроэрозионной правки. Однако из-за высокой плотности абразивной суспензии она является недостаточно текучей, что ограничивает преимущества названного способа.

Для повышения показателей правки в жидкостной фазе суспензии предлагается использовать 0,5-1,5 % водный раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ) при следующем соотношении компонентов суспензии, масс. %: абразив - 51,0-60,0; глина - 20,0-25,0; водный раствор ПАВ – остальное [Заявка на патент (№2004032173/К от 23.03.04)]. Абразивная суспензия представляет собой многокомпонентную свобододисперсную систему, где в качестве дисперсной фазы выступает абразивный шлифовальный порошок, а в качестве дисперсионной среды – жидкостная фаза суспензии (в нашем случае это водные растворы ПАВ) и неабразивные примеси. Неабразивные примеси нужны для обеспечения стойкости системы, так как дисперсная фаза представляет собою частицы значительных геометрических размеров – от 20 до 200 мкм в зависимости от зернистости подвергаемого правке инструмента.

Неабразивные примеси должны обеспечить подвижность (пластическую вязкость) абразивной суспензии, которая содержит нужное для реализации эффективной правки круга количество абразивного порошка. Подвижность характеризует скорость текучести смеси и определяется предельным сопротивлением сдвига пластов суспензии один относительно другого. При недостаточной подвижности суспензии свободный абразив будет работать в условиях недостаточного смазывания, абразивные зерна будут неравномерно распределены в рабочей зоне, что отрицательно повлияет на эффективность процесса правки. В случае чрезмерно высокой подвижности процесс правки происходит недостаточно продуктивно из-за снижения концентрации зерен абразивного порошка в зоне правки и быстрого выноса их из этой зоны. Все эти явления регулируются, благодаря свойствам и удельному объему жидкостной фазы в составе суспензии.

В качестве ПАВ могут выступать синтетические моющие средства (СМС), водные растворы которых эффективно используются как СОЖ при шлифовании неметаллических материалов [8].

Выбор в качестве жидкостной фазы суспензии водного раствора ПАВ позволяет оптимизировать пластическую вязкость суспензии. Добавления к воде СМС, которые являются активными ПАВ, приводит к двукратному снижению поверхностного натяжения жидкостной фазы суспензии в сравнении с чистой водой. Существенно

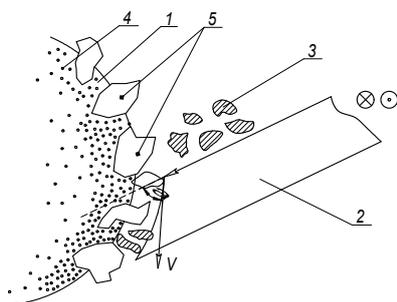


Рис. 2. Схема правки свободным абразивом: 1 – алмазный круг, подвергаемый правке; 2 – притир; 3 – свободный абразив; 4 – связка круга; 5 – алмазные зерна круга.

повышается смачивающая способность жидкостной фазы суспензии. В совокупности это повышает пластичность раствора глины, благодаря чему частицы абразивного порошка равномерно обволакиваются глинистым раствором. Поверхностно-активная жидкость не дает им слипаться, коагулировать, за счет чего повышается однородность и достигается более равномерное распределение большей массы порошка в объеме суспензии. В свою очередь, увеличение доли абразивного порошка в составе суспензии без потери ею целостности приводит к повышению производительности процесса правки – более интенсивному удалению связки круга при высоком качестве правки.

Размер основной фракции абразивного порошка берется равным 0,6-0,9 размера зерен абразива основной фракции алмазно-абразивного инструмента, подвергаемого правке. В качестве свободного абразива можно использовать, например, порошки электрокорунда нормального, карбида кремния и прочие абразивные материалы соответствующей зернистости, которая согласована с зернистостью корректируемого инструмента.

Выбранные конечные границы содержания ПАВ в составе суспензии определяются следующими факторами. Уменьшение концентрации ПАВ ниже указанной границы (ниже 0,5%) приводит к потере положительного эффекта действия жидкостной фазы суспензии. В этом случае при выбранном количестве абразивного порошка и глины суспензия теряет стабильность, расслаивается. Увеличение концентрации ПАВ выше обозначенной границы (более 1,5%) сопровождается повышенной текуче-

стью суспензии, недостаточной вяжущей способностью ее неабразивной фазы. Содержимое глины в составе абразивной суспензии зависит от количества абразивной фазы и необходимого уровня пластической вязкости суспензии.

Избранные предельные границы содержимого абразивного порошка в составе суспензии определяются, исходя из следующих соображений: количество абразива в рабочей зоне должно обеспечить оптимальные условия протекания процесса правки, что зависит от его концентрации в абразивной суспензии. Уменьшение концентрации абразивного порошка ниже указанной границы приводит к снижению производительности процесса правки, что сказывается на его продолжительности, необходимой для обеспечения выхода на максимально возможный уровень режущей способности шлифовального круга, обеспечиваемой данным способом. Превышения концентрации абразивного порошка против указанной верхней границы ведет к потере стойкости суспензии и к отказам в системе ее подачи к рабочей зоне.

Чрезмерное количество глины снижает подвижность суспензии. В этом случае абразив работает в условиях недостаточного смазывания, оказывается осложненным доступ суспензии, которая несет абразивный порошок в зону правки, через зазор между кругом и притиром. Зерна свободного абразива будут неравномерно распределены в зоне правки, поступление их в зону станет прерывистым. Описываемое явление отрицательно скажется на производительности правки. Из-за неравномерности удаления связки круга, подвергаемого правке, не будет обеспечена требуемая макрогеометрия профиля круга из-за образования концентрических канавок на его рабочей поверхности, то есть снизится качество правки.

Процесс правки реализуется следующим образом. Согласно рис. 2 подача суспензии осуществляется в промежуток между вращающимся шлифовальным кругом и притиром, повторяющим форму круга и установленным под определенным углом α ($\alpha = 20 - 60^\circ$) к вектору скорости круга в точке их соприкосновения. При этом притиру сообщают возвратно-поступательные движения вдоль образующей инструмента и движения подачи по направлению к его рабочей поверхности со скоростью 5 – 18 мкм/с. При подаче абразивной суспензии в рабочую зону происходит захват свободного абразива вращающимся кругом. Попавший между кругом и притиром свободный абразив, затормаживается в притире или шаржируется в нем и тем самым вышлифовывает связку круга, обнажая его неизношенные алмазные зерна, практически не повреждая их. Одновременно происходит шлифование притира свободным абразивом. Формируется рабочий зазор между кругом и притиром, который автоматически поддерживается на определенном уровне при условии непрерывного подвода свободного абразива в зону правки. Полученные при проведении экспериментов результаты показывают следующее. Применение способа правки свободным абразивом с использованием абразивной суспензии предлагаемого состава обеспечивает сокращение времени правки, то есть повышение производительности процесса правки по сравнению с известным вариантом [6], на 15%. Например, при соотношении размеров зерен свободного абразива и круга $d_{св.а.}/d_{кр.} = 0,8$ для состава суспензии, описанного выше, время восстановления режущей способности инструмента составляет 22,4 с без прерывания процесса шлифования и при улучшении качества правки. Об этом свидетельствует улучшение качества шлифованной поверхности испытуемых образцов минералокерамики – снижение ее шероховатости. Уменьшение времени правки инструмента существенно снижает непроизводительные расходы алмазоносного слоя шлифовального круга и свободного абразива.

Применение приведенного выше состава суспензии при шлифовании многогранных неперегретаемых пластин из минералокерамики кругами на бакелитовой связке позволило при незначительных затратах времени на правку и минимальном расходе алмазоносного слоя инструмента увеличить количество пластин, выпускаемых между правками, на 50% при улучшении качества обрабатываемой поверхности в 1,5 раза по сравнению с использовавшимся на производстве способом правки алмазными брусками.

Литература

1. Калафатова Л.П. Влияние эффективности способа правки инструмента на дефектность шлифованной поверхности изделий из ситаллов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. Научно-техн. сб. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 54. – С. 122-124.
2. Чачин В. Н., Дорофеев В. Д. Профилирование алмазных шлифовальных кругов. – Мн: Наука и техника, 1974. – 160 с.
3. Шлифование с автоматической стабилизацией режущей способности круга / Голубев И. В., Гродзинский Э. Я., Свешников В. К., Стебаев А. И. // Станки и инструменты, 1984. – № 1. – с. 20-22.
4. Пахали Ю. А. Алмазное контактно-эрозионное шлифование. – Л., Машиностроение, 1985. 178 с.
5. Заявка №63-41707 Япония, МКИ В 53/04, 53/013. Способ правки шлифовального круга / Тоеда коки К.К. - №55-5326. Заявлено 22.01.80; Опубл. 18.08.88, Бюл. №2-1043.
6. А.с. 1839393 СССР, МКИ В 24 В 53/00. Способ правки абразивного инструмента / В.В. Бурмистров, А.В. Байков, А.Н. Емельянов, Л.П. Калафатова, А.Д. Хроменко (СССР). - № 4765299. Заявлено 14.12.89; Опубл. 30.12.93, Бюл. № 47-48. - 2 с.
7. А.с. 967784 СССР, МКИ В 24 В 53/00. Способ правки абразивного инструмента / В.В. Бурмистров (СССР) - № 3766567. Заявлено 12.07.81; Опубл. 14.08.82, Бюл. № 36. – 2 с.
8. Калафатова Л.П. Технологические среды как способ интенсификации процессов механической обработки стекломатериалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научн. трудов. – Донецк: ДонГТУ. – 1997. – Вып. 4. – С. 66-75.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО ЗЕРНА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Гусев В. В., канд. техн. наук, доц., Белов С.Г.

(г. Донецк, Украина)

In the paper 3D simulation of intense-deformed state of system abrasive grain – material being machined was performed by means of program ANSYS. Calculation of 3D intense-deformed state of material being machined allows studying the character of allocation of stresses for the different grain shape and condition of forming of defect layer in brittle not-metal materials.

Работы по керамическим материалам во всем мире резко интенсифицируются, расширяются области применения этих материалов и рост капиталовложений в разработку материалов, технологию их производства и изготовления. Объем производства деталей из керамики каждые 5 лет удваивается [1,2]. Основным методом обработки керамических материалов является шлифование. Рентабельность предприятий непосредственно зависит от потребительского спроса на высококачественные изделия из керамики, что непосредственно связано с предотвращением дефектов обработки, приводящих к снижению прочности изделий, надежности их работы.

Шлифование керамики сопровождается в основном хрупким разрушением припуска, в основе которого лежит образование трещин. Ранее проведенные исследования [3] дефектного поверхностного слоя деталей из шлифованной керамики, показали преимущественную ориентацию трещин в направлении вектора скорости резания и анизотропии структуры дефектов поверхности. Она оказывает непосредственное влияние на прочностные свойства поверхностного слоя конструкционной керамики после алмазного шлифования [4]. Известно, что формирование дефектного слоя в керамических материалах зависит от напряженно-деформированного состояния зоны резания [5]. 3D моделирование напряженно-деформированного состояния зоны шлифования [6] позволяет прогнозировать и оптимизировать процесс бездефектной обработки сверхтвердых материалов. Однако в литературе не нашло достаточного отражение исследование влияния формы зерен шлифовального круга (ШК) на состояние зоны резания перед зерном.

Целью настоящей работы является исследование методом 3D моделирования влияния формы зерна ШК на напряженно-деформированное состояние системы зерно – обрабатываемый материал (ОМ) без учета влияния температурного поля при шлифовании с помощью пакета физического моделирования «ANSYS».

Расчет напряженно-деформированного состояния обрабатываемого материала с помощью пакета физического моделирования «ANSYS» ведется на основе модели взаимодействия алмазного зерна с ОМ. При моделировании процесса резания алмазным зерном, его реальная форма заменяется упрощенными геометрическим телом: шаром, цилиндром, эллипсоидом вращения, конусом с округленной или заостренной вершиной, прямоугольным параллелепипедом [6,7]. Нами были использованы наиболее часто используемые модели зерен в виде четырехгранной усеченной пирамиды, прямоугольного параллелепипеда и сферы с площадкой износа. Для любой формы зерен размер описанной окружности был принят постоянным 112 мкм, что соответствует зернистости 125/100. Вылет зерен из связки (70 мкм) и глубина резания ($t=12$ мкм) также были приняты постоянными для всех схем. Вылет зерна принятой зернистости из связки соответствует максимально возможной величине после правки электроэрозионным методом [8]. Величина площадки износа на зерне в виде четырехгранной усеченной пирамиды и сферы были приняты одинаковыми $2 \times 10^{-10} \text{ м}^2$, а для прямоугольного параллелепипеда $63 \times 10^{-10} \text{ м}^2$. Коэффициент трения алмаза по керамике приняли равным 0,1. Модули упругости алмаза и керамики были приняты соответственно 1140 ГПа и 85-365 ГПа, в зависимости от ОМ [9]. Значение коэффициентов Пуассона принималось для алмаза $\mu=0,12$ и для керамики соответственно $\mu=0,21-0,28$.

Силы резания, возникающие в процессе обработки, моделировались в виде давления приложенного к соответствующим граням алмазного зерна: вертикальное давление соответствовало нормальной составляющей силы резания $P_n=6$ Н; горизонтальное давление соответствовало горизонтальной составляющей – $P_t=1,2$ Н. Соотношение составляющих силы резания ($P_t/P_n=0,2$) соответствует значению при обработке хрупких неметаллических материалов.

Характер разрушения материалов можно предсказать, пользуясь феноменологическим критерием прочности (неразрушения), предложенный Г.С. Писаренко и А.А. Лебедевым [9] на основе многочисленных теоретических и экспериментальных исследований

$$\chi \cdot \sigma_i + (1 - \chi) \cdot \sigma_1 A^{1-J} \leq \sigma_p, \quad (1)$$

где $\sigma_i = (\sqrt{2})^{-1} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$; $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ – интенсивность напряжений в зависимости от главных напряжений ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$); $\chi = \sigma_p / \sigma_c$ – отношение прочности материала на разрыв σ_p и сжатие σ_c ; A – коэффициент ($A=0,75$); $J = 3 \cdot \sigma_0 / [\chi \cdot \sigma_i + (1 - \chi) \cdot \sigma_1]$; $\sigma_0 = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / 3$ – шаровой тензор напряженного состояния. Параметр χ характеризует степень участия в разрушении сдвиговых деформаций, приводящих к предразрушению и затем к разрушению ($\chi=1$ – идеальная пластичность, $\chi=0$ – идеальная хрупкость). Для спаллов AC-418, AC-370 ($\chi=0,04$), для оксидных керамик Al_2O_3 ($\chi=0,11$), ZrO_2 ($\chi=0,06$), нитридной Si_3N_4 ($\chi=0,12 \dots \chi=0,14$).

Рассматриваемые материалы близки к идеально хрупким материалам, в которых связь между напряжениями и деформациями подчиняется закону Гука вплоть до разрушения.

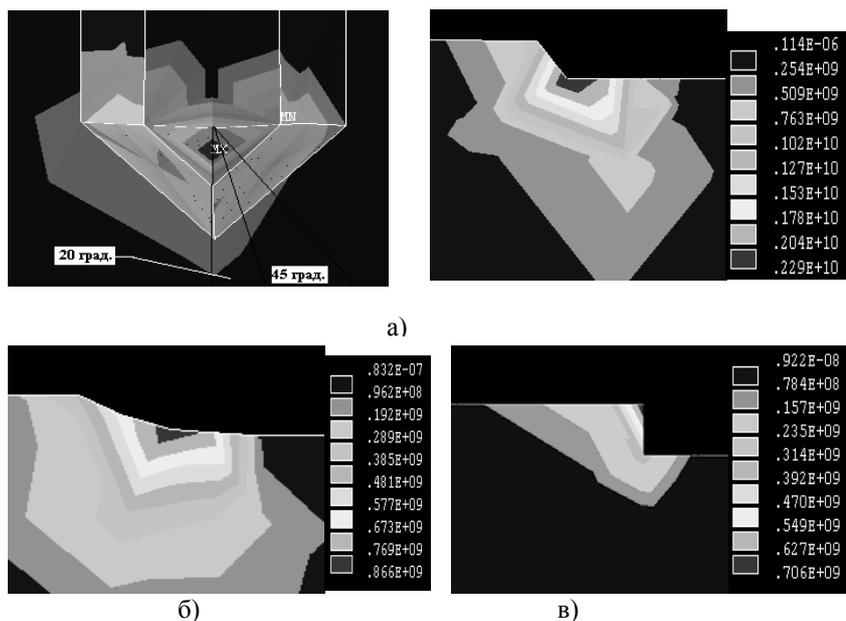


Рис.1. Распределение эквивалентных напряжений σ_i в обрабатываемом материале при обработке зерном в виде: а) усеченной четырехгранной пирамиды; б) шара с площадкой износа; в) прямоугольного параллелепипеда.

относительно направления движения зерна. В сечениях, проходящих через ось зерна под углом α по отношению к направлению его движения, в плоскости канавки были определены эквивалентные напряжения. Зависимости эквивалентных напряжений от расстояния z (мкм) от поверхности зерна носят линейный характер (рис.2). С увеличением угла α напряжения уменьшаются. Такой характер распределения напряжений перед зерном может оказывать влияние на формирование дефектного слоя в ОМ, на появление трещин в поверхностном слое с преимущественной ориентацией в направлении движения зерна [3].

Используя зависимость (1), можно определить предельное значение составляющих силы резания, при которой будет происходить разрушение материала у вершины зерна, в зависимости от прочности материала керамики на разрыв σ_p и сжатие σ_c . Физико-механические свойства керамики (нитрида кремния Si_3N_4 , горячепрессованного оксида алюминия Al_2O_3 Гп, спеченого оксида алюминия Al_2O_3 Сп и ситалла АС-418) выбирались из справочной литературы [9].

Результаты расчета нормальной составляющей силы резания, при которой будет происходить разрушение матери-

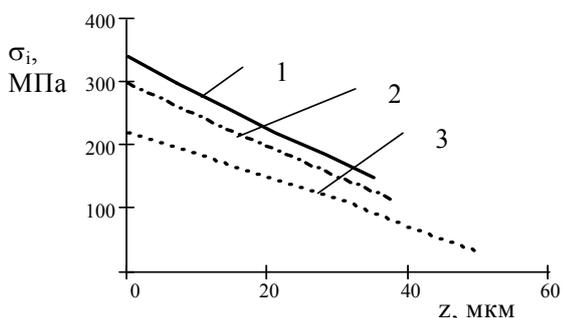


Рис. 2. Зависимость эквивалентных напряжений σ_i на различном расстоянии z (мкм) от зерна в форме усеченной четырехгранной пирамиды для различных направлений, задаваемых углом α от вектора скорости зерна: 1 – $\alpha=0^\circ$; 2 – $\alpha=20^\circ$; 3 – $\alpha=45^\circ$.

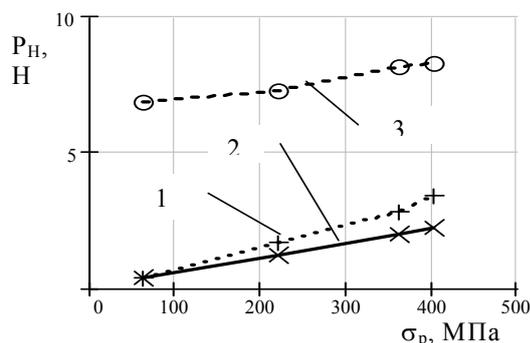


Рис. 3. Зависимость нормальной составляющей силы резания от прочности обрабатываемого при испытаниях на разрыв σ_p по результатам моделирования: 1 – зерно в форме сферы, 2 – зерно в форме усеченной четырехгранной пирамиды; 3 – по результатам эксперимента.

ала у вершины зерна, от прочности обрабатываемого при испытаниях на разрыв σ_p показано на рис.3. Форма зерна ШК оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние системы зерно – обрабатываемый материал, что сказывается на величине силы резания необходимой для разрушения материала припуск а. На рис.3 приведены также результаты экспериментальных исследований нормальной составляющей силы резания (кривая 3) при плоском врез-

Полученные в результате расчета в среде «ANSYS» эквивалентные напряжения в обрабатываемом материале при различной форме зерна представлены на рис. 1. Наибольшие эквивалентные напряжения возникают либо непосредственно под площадкой износа на зерне (рис. 1. а) - усеченная четырехгранная пирамида) или у вершины зерна в направлении его движения. При равенстве сил резания наибольшие эквивалентные напряжения возникают при обработке зерном в форме прямоугольного параллелепипеда. Так как реальная форма зерна может быть только приблизительно описана той или иной геометрической фигурой, то и при шлифовании существует разброс реальной силы резания вызывающей разрушения материала припуска. Та же причина сказывается и на формировании дефектного слоя хрупких неметаллических материалов.

На формирования дефектного слоя в поверхностном слое ОМ оказывает влияние распространение напряжений

ном шлиф овании периферией круга 1A1 250x20x3x76 AC6 125/100–4–M2-01. Обработка керамики производилась на следующих режимах резания: глубина $t=0,12$ мм; скорость заготовки 0,5м/с; скорость круга 24м/с. Сила резания приведена к единице высоты рабочей части шлифовального круга. Из рисунка видно, что результаты физического моделирования разрушения материалов у вершины зерна при резании керамики качественно совпадают с экспериментальными значениями силы резания при шлифовании.

Как показали результаты исследование методом 3D с помощью пакета физического моделирования «ANSYS», форма зерна ШК оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние системы зерно – обрабатываемый материал. Распределения напряжений перед зерном может оказывать влияние на формирование дефектного слоя в ОМ, на появление трещин в поверхностном слое с преимущественной ориентацией дефектов в направлении движения зерна. Используя физическое 3D моделирование и критерий прочности Г.С. Писаренко и А.А. Лебедева, на основании физико-механических характеристик материала можно оценить обрабатываемость керамики при шлифовании.

Литература

1. Келин Ю.И., Ножницкий Ю.А., Зиновьев С.Н. Конструкционная керамика за рубежом // Огнеупоры. – 1992. - №3. – С.35 – 39.
2. Беляков А.В. Технология машиностроительной керамики // Серия. Технология силикатных тугоплавких неметаллических материалов. – М.: ВИНТИ, 1988. – Том 1. - С.3-71.
3. Новоселов Ю.К., Гусев В.В. Влияние направления обработки керамики на ее прочность при изгибе // Вестник СевГТУ Автоматизация процессов и управление. - Севастополь: Издательство СевГТУ. – 2002.- Вып.36.- С.212-217.
4. Гусев В.В. Обеспечение эксплуатационных характеристик поверхностного слоя конструкционной керамики // Справочник. Инженерный журнал с приложением. - М.: Машиностроение. - 2002. - Приложение №9 к журналу Инженерия поверхности.– С.2-5.
5. Калафатова Л.П. Прогнозирование качества поверхностного слоя при обработке изделий из технических сплавов Справочник. Инженерный журнал с приложением. - М.: Машиностроение. - 2002. - Приложение №9 к журналу Инженерия поверхности.– С.5-8.
6. Федорович В.О. Розробка наукових основ та способів практичної реалізації управління пристосованістю при алмазному шліфуванні надтвердих матеріалів: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2002. – 33с.
7. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263с.
8. Гусев В.В., Калафатова Л.П. Вплив стану робочої поверхні алмазного інструмента на процес шліфування крихких неметалевих матеріалів // Вісник ЖДТУ - №2 (26). – 2003. – С.49-54.
9. Андриевский А.Р., Спивак И.И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: Справ. изд. – Челябинск: Металлургия, 1989. – 368с.

УДК 621.9.01

КОМБИНИРОВАННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ - АНАЛИЗА

Деревянченко А.Г., докт. техн. наук, проф., Полякова М.В., канд. техн. наук,

Бовнегра Л.В.

(г. Одесса, Украина)

In work the approach to the combined diagnosing refusals of cutting tools is offered.

Непрерывно возрастающие требования к качеству обработки при изготовлении высокоточных деталей обуславливают необходимость применения сложных, дорогостоящих режущих инструментов. Внезапные отказы режущих инструментов (РИ) приводят к значительным простоям оборудования, потерям качества обработки. Поэтому задача создания автоматизированных систем и методов технической диагностики РИ является актуальной.

Диагностирование состояний РИ производится по результатам прямого, косвенного или комбинированного контроля [1]. Наиболее перспективные результаты выявления как постепенных, так и внезапных отказов обеспечивает комбинированный контроль и соответственно – комбинированное диагностирование состояний РИ.

В данной работе предлагается выполнять диагностирование инструментов на основе вейвлет – анализа данных двух типов. Это, во-первых, проекции (“профилограммы”) активных участков режущих кромок РИ, периодически регистрируемые в контрольной позиции станка с использованием контактных датчиков или систем технического зрения. Во – вторых, непрерывно обрабатывается сигнал от датчика вибраций РИ.

Приведенная в [1] автоматизированная система диагностики РИ предусматривает выполнение операций сегментации и идентификации проекций режущих кромок и виброакустических сигналов. Они имеют низкую помехоустойчивость и предусматривают ручную настройку параметров, которая требует от оператора квали-

фикации эксперта и связана с большими затратами времени. Это снижает производительность и точность диагностирования.

В силу того, что система резания характеризуется множеством случайных факторов, целесообразно рассматривать проекции режущих кромок (РК) и виброакустические сигналы, регистрируемые при диагностировании РИ, как реализации случайного процесса с изменяющимися свойствами.

При работоспособном состоянии РИ свойства (характеристики) исследуемого процесса на протяжении регистрации сигнала не изменяются. Изнашивание инструмента, дефекты его режущей части отображаются в различных изменениях свойств случайного процесса. Диагностирование состояния источника сигнала с изменяющимися свойствами (РИ и процесса резания) выполняется с использованием методов распознавания образов. Здесь возникает задача сегментации и идентификации реализаций случайных процессов, решаемая методами обнаружения изменений их свойств. Анализ существующих методов обнаружения изменений свойств случайных процессов позволил выделить в качестве наиболее адекватных задаче диагностики РИ методы вейвлет-анализа.

Рассмотрим основные положения обработки диагностических сигналов.

Интервал, на котором определен случайный процесс, можно представить в виде совокупности непересекающихся сегментов. В качестве границ сегментов целесообразнее использовать моменты изменения свойств случайного процесса, так как они связаны с физической природой нарушения работоспособности РИ.

Модель профилограмм РК и виброакустических сигналов РИ как реализаций случайных процессов с изменяющимися свойствами прежде всего предусматривает построение отображения h , ставящего в соответствие каждой t -ой точке сигнала соответствующий набор параметров. Во избежание хранения избыточной информации, любую сегментацию будем задавать списком границ сегментов, то есть списком моментов изменения свойств случайного процесса.

Примем, что t — некоторый параметр, например, временная или пространственная координата, который может принимать дискретные значения $t=1, \dots, N$. Предположим, что имеются эквидистантные по этому параметру значения наблюдений y_1, \dots, y_N . Совокупность этих наблюдений представляет собой последовательность $y(t) = (y_1 = y(1), \dots, y_N = y(N))$, моделирующую один из сигналов датчика прямого или косвенного контроля системы диагностирования РИ.

В случае контроля РИ с помощью контактных датчиков сигнал $y(t)$ моделирует профилограмму кромки РИ и представляет собой реализацию случайного процесса, образуемого совокупностью профилограмм РК.

При контроле РИ с помощью виброакустических сигналов $y(t)$ моделирует один из сигналов и представляет собой реализацию случайного процесса, образуемого совокупностью виброакустических сигналов контролируемых РИ.

Представим сигнал $y(t)$ в виде разбиения на последовательные непересекающиеся сегменты

$$y(t) = \bigcup_{i=1}^k \left\{ h_i(t) = c_i(t) + \sum_j a_{ij} \sin(\omega_j t + \theta_{ij}) + n_i(t), \quad t \in [q_i, q_{i+1} - 1] \right\}, \quad h_i(t) \in H, \quad q_i \in \{1, \dots, N\}, \quad (1)$$

где $c_i(t)$ — гладкий тренд на i -ом сегменте сигнала, a_{ij} , ω_j , θ_{ij} — амплитуда, частота, фаза j -ой гармонической составляющей на i -ом сегменте сигнала, $n_i(t)$ — случайная составляющая на i -ом сегменте сигнала, (q_1, q_k) — вектор сегментации сигнала, содержащий его моменты изменения свойств.

Среднее значение сигнала $y(t)$ на границах сегментов, выраженное трендом, амплитуда и частота могут скачкообразно изменяться случайным образом по релеевскому закону. Это изменение ограничено:

$$\frac{c_i(q_{i+1} - 1)}{c_{i+1}(q_{i+1})} \geq \varepsilon_{\min}, \quad |c_i(q_{i+1} - 1) - c_{i+1}(q_{i+1})| \geq A_{\min},$$

$$\frac{a_{ij}}{a_{i+1j}} \geq \delta, \quad \frac{\omega_j}{\omega_{i+1j}} \geq \gamma, \quad |a_{ij} - a_{i+1j}| \geq \gamma_{\min}, \quad i = 1, \dots, k,$$

где ε_{\min} , A_{\min} , δ , γ , γ_{\min} — параметры модели.

Число k наборов параметров случайного процесса (СП), определяющее число его сегментов, неизвестно. Информацию о чередовании отдельных наборов параметров СП содержит вектор сегментации $H = \{h_1(t), \dots, h_k(t)\}$, который неизвестен, так как процесс изменений значений параметров не наблюдается. Неизвестны также моменты изменения свойств СП q_i , под которыми понимаем значения t , в которых наблюдаются скачки среднего значения СП, а также параметров гармонических составляющих СП — амплитуды и частоты. Предположим, что в качестве случайной составляющей выступает белый гауссовский шум, а также, что моменты изменения свойств СП q_i разделены во времени достаточно для того, чтобы были возможны их индивидуальные обнаружения.

Последнее требование довольно существенно для применения методов вейвлет-анализа. В противном случае, если моменты изменения свойств СП расположены достаточно близко во времени, их лучше анализировать с использованием фрактальных методов.

В силу особенностей регистрации профилограмм РК и виброакустических сигналов РИ, их моменты изменения свойств отстоят друг от друга на расстоянии, достаточном для индивидуального обнаружения. Так, для

профилограмм РК расстояние между отсчетами составляет 3 — 4,5 мкм, а определяющая локальные особенности сигнала предельная ширина износа — 180 — 200 мкм. Что касается виброакустических сигналов РИ, то предельное время периода ускоренного износа составляет 140 — 200 с, в то время как частота считывания сигнала составляет 0,2 — 0,3 с.

Дадим определение модели (1) с помощью понятия разности СП. Определим разность порядка d сигнала $y(t)$ как сигнал $y_d(t)$, значения которого вычисляются по формуле

$$y_d(t) = y(t+d) - y(t), \quad t=1, \dots, N-d.$$

Тогда определение модели (1) имеет вид:

$$y_d(t) = \bigcup_{i=1}^k \left\{ h_i^d(t) = \sum_j a_{ij}^d \sin(\omega_{ij}^d t + \theta_{ij}^d) + n_i^d(t), \quad t \in [q_i, q_{i+1}-1] \right\}, \quad h_i^d(t) \in H^d, \quad q_i \in \{1, \dots, N\}, \quad d \in [1, d_{max}],$$

где a_{ij}^d , ω_{ij}^d , θ_{ij}^d — амплитуда, частота, фаза j -ой гармонической составляющей на i -ом сегменте разности порядка d сигнала $y(t)$, $n_i(t)$ — случайная составляющая на i -ом сегменте разности порядка d сигнала $y(t)$, d_{max} — максимальный порядок разности, являющийся параметром модели.

Отметим, что $h_i^d(t)$ отличны от $h_i(t)$, а $n_i^d(t)$ из-за применения разностного оператора представляет собой окрашенный гауссовский шум, если $n_i(t)$ — белый гауссовский шум. Моменты изменения свойств СП q_i совпадают с представлением (1).

Из изложенного следует, что модель (1) соответствует предположению о том, что d -я разность сигнала является стационарной на каждом из сегментов (сегментно-стационарной) и гармонической. Сегментная стационарность d -ой разности сигнала $y(t)$ следует из того, что на каждом из сегментов она может быть представлена реализацией гармонического процесса со случайной равномерно распределенной на $(0, 2\pi)$ фазой, меняющейся от реализации к реализации, и детерминированной частотой и амплитудой. Известно, что этот СП эргодический. Так как реализация эргодического СП стационарна, то отсюда следует сегментная стационарность d -ой разности сигнала $y(t)$ в представлении (1).

Таким образом, в работе впервые разработана математическая модель профилограмм РК и виброакустических сигналов РИ как реализаций СП с сегментно-стационарными гармоническими разностями. Разработанная модель позволяет учесть скачкообразные изменения свойств СП в АС технической диагностики РИ, вызванные различными дефектами инструментов в результате их изнашивания. При этом интенсивность изменения износа выражается в терминах разностей СП, которые предполагаются стационарными на сегментах сигналов, отражающих умеренный износ РИ. К тому же разработанная модель профилограмм РК и виброакустических сигналов РИ позволяет учесть, что эти сигналы содержат как гармонические составляющие с различной частотой, так и локальные особенности, обусловленные многочисленными возмущениями СП различного происхождения и длительности.

Если профилограммы РК и виброакустические сигналы РИ описываются моделью (2.1) с сегментно-стационарными гармоническими разностями, то задача сегментации этих сигналов формулируется следующим образом: для сигнала $y(t)$ построить разбиение Y на последовательные непересекающиеся сегменты $[q_i, q_{i+1}]$ вида $Y = \{[q_i, q_{i+1}], q_i \in \{1, \dots, N\}, i=1, \dots, k\}$. При этом предполагается, что заданы ограничения на величину изменения параметров модели, то есть величины ε_{min} , A_{min} , δ , γ , γ_{min} . Так как разбиение определяется границами сегментов, в качестве которых рассматриваются моменты изменения свойств сигнала, задача сегментации профилограмм РК и виброакустических сигналов РИ сводится к обнаружению изменений свойств соответствующего СП.

Выполнена разработка помехоустойчивых процедур сегментации и идентификации проекций режущих кромок РИ и виброакустических сигналов. Усовершенствован метод совместного обнаружения скачков среднего значения и параметров гармонических компонент случайного процесса в области вейвлет-преобразования, что позволило автоматизировать процедуру выбора порогов.

Предложена методика идентификации реализаций случайных процессов по моментам изменения их характеристик, обеспечивающая инвариантность к тренду и масштабу и позволяющая принимать статистическое решение о гармоническом характере проекций режущих кромок.

Литература

1. Деревянченко А.Г., Павленко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояний режущих инструментов при прецизионной обработке.- Одесса.: Астропринт. 1999 г. - 184 с.

УДК 515.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОГО ИНСТРУМЕНТА ГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ НА БАЗЕ МЕТОДА ДИАГРАММ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВИНТА

Тигарев В.М.

(г. Одесса, Украина)

The graphic way of definition of a range of change of parameters of the projected tool which allows to simplify development of algorithms of the automated definition of parameters and formations of computer models of the connected screw surfaces is offered and to simplify optimization of definition of parameters created tools.

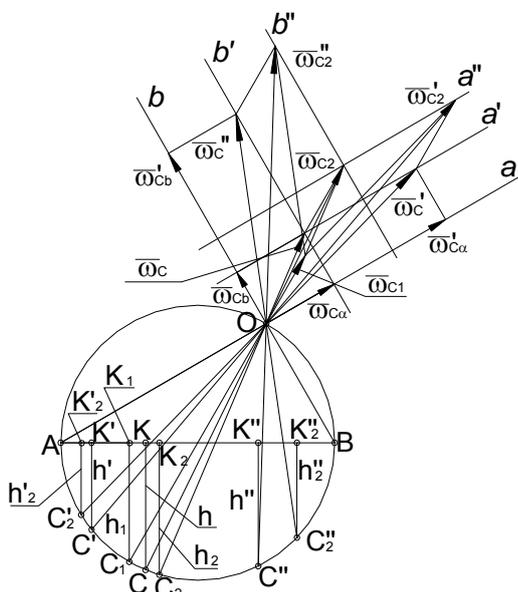
На текущем этапе развития производства и компьютерных технологий все актуальней ставится задача оптимизации формирования поверхности инструмента на стадии его разработки. Компьютерные технологии позволяют рассчитывать и моделировать различные технологические процессы изготовления инструмента и деталей сложной формы. Решение оптимизационных задач требует большого объема расчетных работ. Применение графических методов оптимизации с использованием современных САПР, например Solid Works, Autodesk Mechanical Desktop, позволит сократить объемы расчетных работ без потери точности. Возможно комплексное использование расчетных и графических методов оптимизации определения параметров поверхностей инструмента и детали.

При проектировании инструмента с винтовой поверхностью используется графический метод диаграмм кинематического винта. Метод позволяет по исходным трехмерным данным построить двумерную диаграмму. Построенная диаграмма кинематического винта дает возможность определить параметры сопряженных поверхностей детали и инструмента, параметры их взаимного расположения, параметры мгновенного относительного винтового движения, а также параметры их взаимного расположения. На основании этих параметров, возможно, разработать конструкцию инструмента, а также сформировать трехмерную компьютерную модель технологического процесса обработки детали с помощью созданного инструмента. Подробно определение параметров различных сопряженных поверхностей рассмотрено в работах [1,3,5,6].

Рассмотрим применение метода диаграмм кинематического винта для определения диапазона изменения параметров проектируемого инструмента для случая, когда сопряженные поверхности являются эвольвентными линейчатыми винтовыми поверхностями (эвольвентными геликоидами).

При построении диаграммы кинематического винта необходимо производить действия с векторами круговых скоростей, а именно последовательно складывая или вычитая их. Например, при определении параметров сопряженных эвольвентных геликоидов при качении со скольжением используется диаграмма кинематического винта для нахождения параметров эвольвентного геликоида инструмента \sum_2 , кото-

Рис. 1. Определение диапазонов изменения параметров проектируемого инструмента при последовательном изменении векторов угловых скоростей.



рая отражает сумму или разность параметров эвольвентного геликоида $\sum_1 (c_1, h_1, \omega_{C1})$ и параметров мгновенного относительного винтового движения (c, h, ω_C) [1,2,7]:

$$(c_2, h_2, \omega_{C2}) \sim (c_1, h_1, \omega_{C1}) \pm (c, h, \omega_C). \quad (1)$$

Мгновенное винтовое движение (c, h, ω_C) можно разложить на сумму двух вращений (a, ω_{Ca}) и (b, ω_{Cb}) в соответствии с [97, 111]:

$$(c, h, \omega_C) \sim (a, \omega_{Ca}) + (b, \omega_{Cb}). \quad (2)$$

Окончательно получаем:

$$(c_2, h_2, \omega_{C2}) \sim (c_1, h_1, \omega_{C1}) \pm [(a, \omega_{Ca}) + (b, \omega_{Cb})]. \quad (3)$$

Необходимо определить диапазоны изменения параметров мгновенного относительного винтового движения (c, h, ω_C) и параметров эвольвентного геликоида инструмента \sum_2 . На первом этапе определяем величину вектора $\bar{\omega}_C$ как сумму векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ при их изменении:

$$\bar{\omega}_C = \bar{\omega}_{Ca} + \bar{\omega}_{Cb}, \quad (4)$$

а затем определяем величину вектора $\bar{\omega}_{C2}$ с учетом полученных диапазонов изменения вектора $\bar{\omega}_C$

$$\bar{\omega}_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}_C. \quad (5)$$

Диаграмма кинематического винта, соответствующая описанному явлению показана на рис. 1.

Исходными данными являются: направление сопряжённых осей a и b . 2. величина и направление вектора $\bar{\omega}_{C1}$.

Определяем величину и направление вектора $\bar{\omega}_C$, при этом величина одного из векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ или $\bar{\omega}_{Cb}$ может изменяться, а величина второго остаётся неизменным. Окончание вектора $\bar{\omega}_C$ будет располагаться на вспомогательных прямых a' и b' , которые проходят через концы векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ и параллельны соответственно осям a и b ($a' \parallel a, b' \parallel b$). Получаем

$$\bar{\omega}'_C = \bar{\omega}'_{Ca} + \bar{\omega}_{Cb} \quad (6a)$$

$$\text{или } \bar{\omega}''_C = \bar{\omega}_{Ca} + \bar{\omega}'_{Cb}. \quad (6b)$$

Следовательно, решена первая часть задачи, а именно определено положение вспомогательных прямых a' и b' , которые ограничивают диапазоны изменений вектора $\bar{\omega}_C$. Для решения второй части задачи необходимо определить положение вспомогательных прямых a'' и b'' .

1. Определяем расстояния от конца вектора $\bar{\omega}_{C1}$ до осей a и b .
2. Откладываем на осях a и b определённые расстояния от точек их пересечения с вспомогательными осями a' и b' соответственно.
3. Через полученные точки проводим вспомогательные прямые a'' и b'' .
4. Используя вспомогательные прямые a'' и b'' определяем величину и направление векторов $\bar{\omega}_{C2}$, $\bar{\omega}'_{C2}$ и $\bar{\omega}''_{C2}$, которые соответственно равны:

$$\bar{\omega}_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}_C, \quad (7a)$$

$$\bar{\omega}'_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}'_C, \quad (7b)$$

$$\bar{\omega}''_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}''_C. \quad (7b)$$

Величины и направления векторов $\bar{\omega}_{C2}$, $\bar{\omega}'_{C2}$ и $\bar{\omega}''_{C2}$ определены, как результат последовательного сложения нескольких векторов. В результате определены диапазоны возможных изменений промежуточных $\bar{\omega}_C$, $\bar{\omega}'_C$, $\bar{\omega}''_C$ и результирующих $\bar{\omega}_{C2}$, $\bar{\omega}'_{C2}$, $\bar{\omega}''_{C2}$ векторов.

В рассмотренном случае изменялся один из векторов входящих в сумму, а второй оставался неизменным. Результирующий вектор изменял свою величину и направление.

Рассмотрим вариант, когда результирующий вектор должен быть неизменен по величине, а суммируемые вектора могут изменять величину и направление. Диаграмма кинематического винта для данного случая показана на Рис. 2 и описывает сопряжение 3-х эвольвентных геликоидов в соответствии с формулами (1 – 3).

Исходными данными являются: 1. направление сопряжённых осей a и b , 2. величина вектора $\bar{\omega}_C$, 3. величина и направление вектора $\bar{\omega}_{C1}$.

На первом этапе определим диапазон изменений величин и направлений векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ при известной величине вектора $\bar{\omega}_C$. Построим векторные суммы при различных значениях векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ и получим:

$$\bar{\omega}_C = \bar{\omega}_{Ca} + \bar{\omega}_{Cb}, \quad (8a)$$

$$\bar{\omega}'_C = \bar{\omega}'_{Ca} + \bar{\omega}'_{Cb}, \quad (8b)$$

$$\bar{\omega}''_C = \bar{\omega}''_{Ca} + \bar{\omega}''_{Cb}, \quad (8b)$$

$$\bar{\omega}'''_C = \bar{\omega}'''_{Ca}, \quad (8г)$$

$$\bar{\omega}^{\parallel'}_C = \bar{\omega}^{\parallel'}_{Cb}. \quad (8d)$$

Соединив концы векторов $\bar{\omega}_C$, $\bar{\omega}'_C$, $\bar{\omega}''_C$, $\bar{\omega}'''_C$, $\bar{\omega}^{\parallel'}_C$ получаем, что они лежат на окружности с центром в точке O и радиусом равным величине вектора $\bar{\omega}_C$.

Следовательно, диапазон изменения векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ равен:

$$0 \leq \bar{\omega}_{Ca} \leq |\bar{\omega}_C|, \quad (9)$$

$$0 \leq \bar{\omega}_{Cb} \leq |\bar{\omega}_C|. \quad (10)$$

При увеличении одного из векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ или $\bar{\omega}_{Cb}$ происходит уменьшение второго. Направление векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ могут изменяться от 0 до 360° для различных направлений вектора $\bar{\omega}_C$.

Следующим этапом будет определение диапазона изменений величины и направления векторов $\bar{\omega}_{C2}$ при заданной величине и направлении вектора $\bar{\omega}_{C1}$, а так же при известном диапазоне изменения направления и постоянной величине вектора $\bar{\omega}_C$.

Определяем величину и направление вектора $\bar{\omega}_{C2}$ при различных направлениях вектора $\bar{\omega}_C$ и неизменности вектора $\bar{\omega}_{C1}$, получаем:

$$\bar{\omega}_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}_C, \quad (11a)$$

$$\bar{\omega}'_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}'_C, \quad (11б)$$

$$\bar{\omega}''_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}''_C, \quad (11в)$$

$$\bar{\omega}'''_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}'''_C, \quad (11г)$$

$$\bar{\omega}^{||/}_{C2} = \bar{\omega}_{C1} + \bar{\omega}^{||/}_C. \quad (11д)$$

Соединив концы векторов $\bar{\omega}_{C2}$, $\bar{\omega}'_{C2}$, $\bar{\omega}''_{C2}$, $\bar{\omega}'''_{C2}$, $\bar{\omega}^{||/}_{C2}$ получаем, что они лежат на окружности с центром в конце вектора $\bar{\omega}_{C1}$ и радиусом равным величине вектора $\bar{\omega}_C$.

Следовательно, диапазон изменения вектора $\bar{\omega}_{C2}$ равен:

$$\bar{\omega}_C - \bar{\omega}_{C1} \leq \bar{\omega}_{C2} \leq \bar{\omega}_C + \bar{\omega}_{C1}. \quad (12)$$

Направление вектора $\bar{\omega}_{C2}$ может изменяться от 0 до 360° для различных направлений вектора $\bar{\omega}_C$.

По результатам проведенных построений делаем вывод, что для случая изменения двух слагаемых векторов $\bar{\omega}_{Ca}$ и $\bar{\omega}_{Cb}$ при неизменной величине результирующего вектора $\bar{\omega}_C$, конец располагается на окружности радиусом равным его величине, а направление всех трёх векторов может изменяться от 0 до 360°.

При суммировании изменяемого вектора $\bar{\omega}_C$ и неизменного известного вектора $\bar{\omega}_{C1}$ окончание результирующего вектора $\bar{\omega}_{C2}$ располагается на окружности радиусом равным величине вектора $\bar{\omega}_C$, с центром расположенным на конце вектора $\bar{\omega}_{C1}$.

Нами рассмотрены два варианта возможных изменений составных элементов векторных сумм, определены диапазоны изменения элементов векторных сумм, при изменении одного или нескольких суммируемых векторов.

Предложенный нами графический способ определения диапазона изменения параметров проектируемого инструмента позволяет упростить разработку алгоритмов автоматизированного определения параметров и формирования компьютерных моделей сопряженных винтовых поверхностей и упростить оптимизацию определения параметров создаваемых инструментов. Рассмотренный способ позволяет упростить решение обратной задачи, а именно: по известному диапазону параметров поверхности инструмента и параметрам относительного движения качения со скольжением определить параметры поверхности детали

$$(c_1, h_1, \omega_{C1}) \sim (c_2, h_2, \omega_{C2}) - (c, h, \omega_C), \quad (13)$$

а также решить задачу определения параметров относительного мгновенного винтового движения (для качения со скольжением) по известным параметрам поверхностей детали \sum_1 и инструмента \sum_2 :

$$(c, h, \omega_C) \sim (c_1, h_1, \omega_{C1}) - (c_2, h_2, \omega_{C2}). \quad (14)$$

Литература

1. Николаев А.Ф. Диаграмма винта и её применение к определению сопряженных линейчатых поверхностей с линейчатым касанием. //Труды семинара по теории механизмов и машин //АН СССР Институт машиноведения. – М.–Л.: Изд-во АН СССР. 1950. – Т.10. – Вып.37. – С.52-108.
2. Подкорытов А.Н., Браилов А.Ю., Тигарев В.М. Геометрическое определение условий сопряжения эвольвентных геликоидов. – К.: КДТУБА, 1997. – Вып.61 – С.22-24.
3. Подкорытов А.Н., Браилов А.Ю., Тигарев В.М. Сопряжение эвольвентных геликоидов при качении со скольжением. – К.: КДТУБА, 1997. – Вып.62 – С.23-28.
4. Подкорытов А.Н., Браилов А.Ю., Тигарев В.М. Построение сопряженных поверхностей эвольвентных геликоидов. // Сучасні проблеми геометричного моделювання. – Харків: ХІПБ МВС України, 1998. – Частина 2. – С.9-14.
5. Подкорытов А.Н., Тигарев В.М. Условие сопряжения конволютного и архимедового геликоидов при качении со скольжением. / Труды учёных ОПУ. – Одесса, 1998. – Вып.1(5). – С.60-62.
6. Brailov A.Yu. and Tigarev V.M. The mechanical treatment of screw surface by cutting. – The 8th ICTCGDG conference, Austin, Texas, USA, 1998. – Vol. 1. – P. 114-116.

7. Тигарев В.М. Графический способ определения параметров сложных движений. Прикладная геометрия и инженерная графика. //Труды /Таврическая государственная агротехническая академия. – Мелитополь: ТГАТА, 1999. – Вып.4 – Т.5. – С.117-120.
8. Tigaryev V.M. Automated shaping of conjugate ruled surfaces with use of the system AutoCAD 2000i. – The 10th International conference on geometry and graphics, Ukraine, Kyiv, 2002. – Vol.2 – P.200-204.

УДК 621. 923

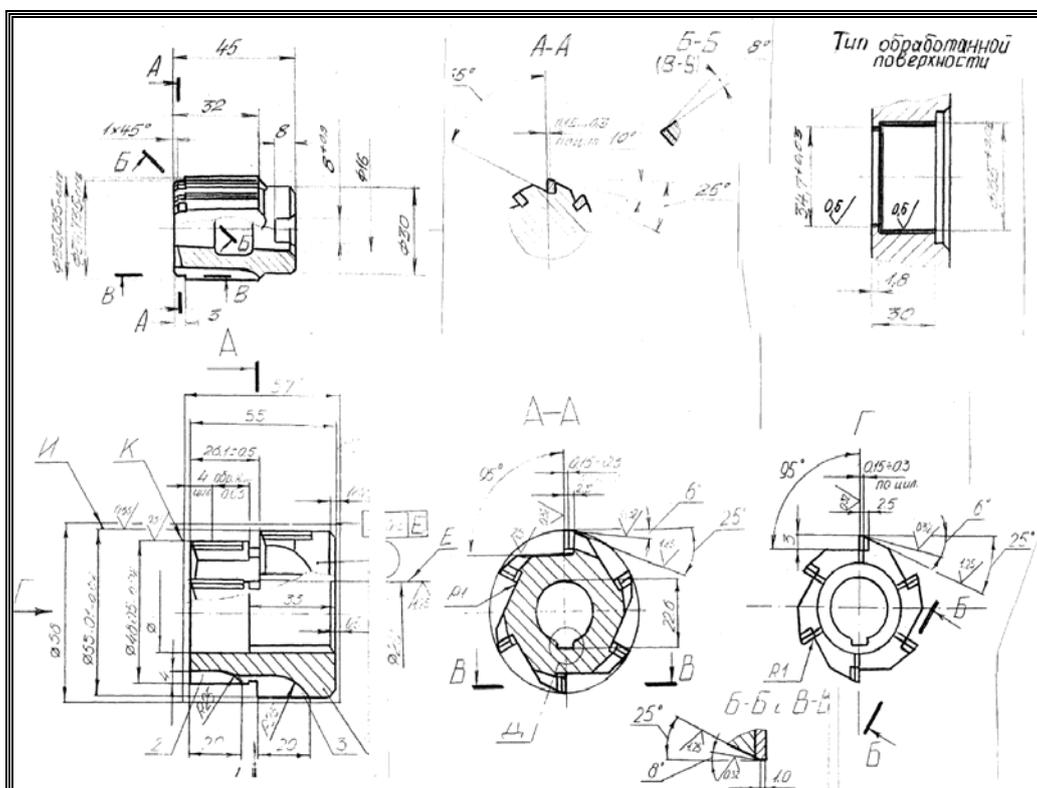
КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Малыхин В.В., канд. техн. наук, доц., Новиков С.Г., канд. техн. наук, Писклов Л.А.
(г. Курск, Россия)

Classification of dimensional combined firmly floatable tool to technological attributes is submitted.

В настоящее время существует большая гамма твердосплавного цельного и составного инструмента, подлежащего при изготовлении шлифованию и затачиванию. Количество шлифовальных и заточных операций зависит от конструкции инструмента и требований к точности и шероховатости его поверхностей.

Таблица 1



В свою очередь точность и шероховатость наиболее ответственных поверхностей на рабочей части инструмента зависит от точности, формы и сложности поверхностей, которые обрабатываются данным инструментом, а также от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Одними из сложных размерных осевых лезвийных инструментов с точки зрения технологии их изготовления являются зенкера и развертки для обработки ступенчатых отверстий по 6-7 качеству точности в корпусных деталях. При этом инструменты могут быть как с концевой присоединительной частью, так и насадные. Примеры таких инструментов и формы поверхностей, которые они обрабатывают, приведены в табл.1,2.

Данные таблицы не охватывают всего многообразия цельного и напайного твердосплавного инструмента, а представляют один из сложных и широко распространенных видов мерного осевого инструмента.

Как показал анализ конструкции и технических требований твердосплавных напайных инструментов, применяемых на предприятиях автотракторных, авиаприборостроительных и других профилей общего машиностроения, эти инструменты по технологии их изготовления можно классифицировать следующим образом:

- 1) по конструкции: одно- и многоступенчатые (комбинированные); с простой и фасонной рабочей частью;
- 2) по назначению: для предварительной (получистовой) и чистовой обработки;
- 3) по качествам точности размеров и шероховатости поверхностей на режущей и калибрующей части мерных осевых инструментов: нормальной точности (8 качество $R_a = 0,63 \dots 0,4$ мкм) и повышенной точности (6 качество $R_a =$

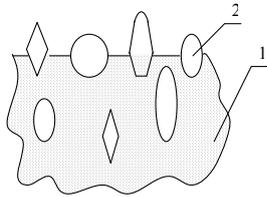


Рис. 1. Форма абразивных зерен.

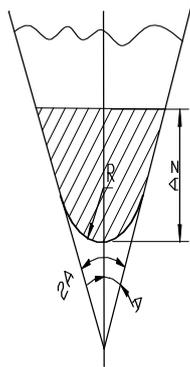


Рис. 2. Сечение абразивного зерна.

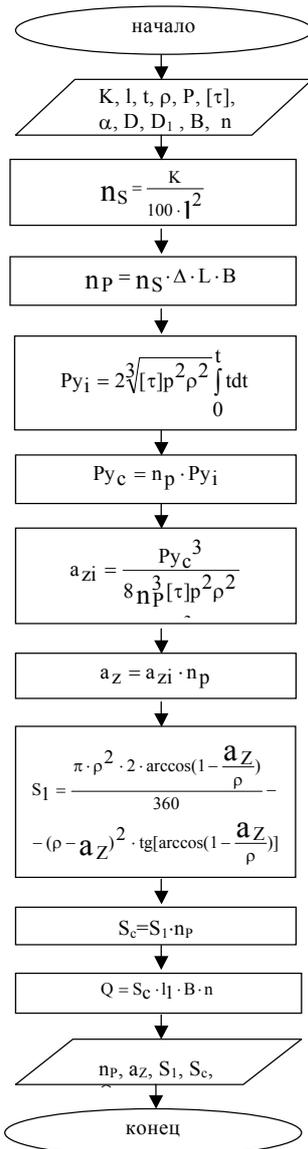


Рис. 3. Схема программы расчета и анализа производительности шлифования.

учетом рельефа режущей поверхности круга возможно при наличии зависимости плотности распределения от высоты выступания зерен над уровнем связки $\eta(H_i)$. С этой целью для данного круга необходимо определить распределение зерен по высоте на режущей поверхности [1], что позволит установить для любой глубины внедрения режущего профиля в обрабатываемый материал реальное количество зерен, участвующих в сьеме материала, и произвести расчет производительности.

Известны модели для расчета производительности, в которых недостаточно учитывается геометрическая форма абразивных зерен. Рассмотрим математическая модель, которая учитывает геометрическую форму зерен. Абразивные зерна могут быть различной формы, с множеством режущих кромок. Можно выделить четыре типа наиболее распространенных формы зерен: конусообразные, сферообразные, эллипсоидные, призматические, (рис. 1), где 1- связка круга, 2- принятая форма зерна. У всех этих форм есть общие геометрические параметры: радиус округления режущей кромки и половина угла при вершине зерна, рисунок 2.

С целью ускорения и повышения точности расчетов производительности целесообразно для ее вычисления использовать ЭВМ. На рис. 3 приведена схема программы для расчета производительности Q с учетом плотности распределения высот зерен над уровнем связки, заданной нормальной силой прижима круга к заготовке, формы зерен. Исходными данными для ее реализации являются: номер структуры или концентрация шлифовального круга K ; среднее расстояние между зернами l_1 ; радиус округления режущей кромки зерна ρ ; сила прижима круга к детали P ; условное напряжение резания τ ; половина угла при вершине зерна α ; диаметр круга D ; диаметр заготовки D_1 ; ширина режущей части круга B ; частота вращения круга n ; процент работающих зерен Δ . Величина Δ и τ принимаются по справочным данным [2].

В схеме приведены зависимости полученные ранее [2]. Отличием представленной модели от известных ранее является учет геометрической формы зерна. В одном из блоков предложенной схемы, рассматривается расчет площади сечения канавки в зависимости от геометрии зерна:

$$S_i = \frac{\pi \cdot \rho^2 \cdot \arccos(1 - \frac{a_{zi}}{\rho})}{360} - (\rho - a_{zi})^2 \cdot \text{tg}(\arccos(1 - \frac{a_{zi}}{\rho})),$$

где: ρ - радиус округления режущей кромки; a_{zi} - толщина единичного среза; S_i - площадь сечения канавки.

Из формулы видно, что существует зависимость между ρ и S_i : с увеличением радиуса режущей кромки возрастает значение площади сечения канавки, которая, в свою очередь, влияет на производительность.

Предлагаемая математическая модель позволяет установить зависимость производительности шлифования и выполнить анализ влияния на нее режимов резания, характеристик кругов, физико-механических свойств обрабатываемого материала, что имеет большое практическое значение при изучении работоспособности шлифовальных кругов.

Литература

1. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов. К., «Наукова думка», 1978.-207 с.
2. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Алмазная обработка / Учебное пособие. – К., 1996г.- 168с.

УДК 621.833.002

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ БОЧКООБРАЗНЫХ ЗУБЬЕВ КОЛЕС ДЕЛЬТОВИДНЫМИ РЕЗЦОВЫМИ ГОЛОВКАМИ

Артамонов В.Д., канд. техн. наук
(г. Тула, Россия)

The use of large diameter heads with cutting tools allows increasing productivity of machining by the exclusion of feeds moving and by the effective use of high-speed steel or hard alloy. It also improves the quality of engagement of spur gears by adjusting the form of teeth. This is made possible by the gear cutting using double cutting heads. The axes of the heads are arranged symmetrically at an angle towards the horizontal.

Работа выполнялась при содействии Совета по грантам Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ РФ (в рамках гранта НШ-1920.2003.8).

В современном машиностроительном производстве наблюдается тенденция совершенствования технологических процессов с целью повышения не только производительности обработки, но и качества выпускаемых изделий, что обеспечивает их конкурентоспособность.

К числу таких изделий относятся разнообразные виды мототехники, такие как мотоциклы, мотороллеры, мотоблоки различного назначения. Работоспособность любого вида мототехники определяется четким функционированием двигателя и коробки передач, к которым предъявляются определенные требования и, в частности, бесшумность работы. Исходя из этого требования, можно сделать вывод о необходимости проектирования зубчатых передач с оптимальными шумовыми характеристиками.

Для решения этой задачи требуется проведение комплекса организационно-технических мероприятий, среди которых немаловажная роль отводится вопросам конструкторско-технологического характера.

Известно, что на плавность работы зубчатой передачи кроме точностных показателей существенное влияние оказывает правильность контакта боковых рабочих поверхностей зубьев сопряженных колес. Правильность контакта главных поверхностей зубьев цилиндрических колес обеспечивается точностью расположения соответствующих посадочных поверхностей корпусных деталей, в которых монтируются зубчатые передачи, но и геометрической формой сопрягаемых поверхностей.

Для уменьшения влияния погрешностей монтажа и снижения уровня шума при эксплуатации зубчатых передач целесообразно осуществлять продольную бочкообразную модификацию зубьев цилиндрических колес. Однако обработка цилиндрических колес с бочкообразными зубьями связана с определенными трудностями и часто с потерей производительности. Поэтому весьма актуальной является задача создания такого способа зубообработки, который позволял бы осуществлять продольную бочкообразную модификацию зубьев цилиндрических колес и при этом обеспечивать высокую производительность процесса.

Анализ различных схем зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками большого диаметра показал возможность разработки нового вида резцовых головок, обеспечивающих высокую производительность обработки зубчатых венцов с бочкообразными зубьями.

Суть предлагаемого процесса зубонарезания состоит в том, что консольно установленная на рабочей оправке заготовка (рис. 1), середина обрабатываемого венца которой должна совпадать с осевой плоскостью резцовых головок, совершает z -кратное обкатывание вдоль начальной прямой MN , расположенной под одинаковыми углами γ к осям правой и левой головок. Такая установка заготовки обеспечивает симметричное расположение выпуклых боковых поверхностей нарезаемых зубьев.

Применяемый режущий инструмент представляет собой две спаренные между собой дельтовидные резцовые головки, установленные на наклонно расположенных рабочих оправках таким образом, что режущие кромки резцов совпадают с исходным контуром производящей рейки со стандартным углом профиля только в среднем сечении нарезаемого зубчатого венца.

Причем, резцы головок поочередно профилируют разноименные стороны одной и той же впадины обрабатываемой заготовки.

При вращении резцовых головок режущие лезвия перемещаются в пространстве по внутренним поверхностям конусов. Поскольку профиль резцов каждой из головок совпадает с исходным контуром производящей рейки только в среднем сечении обрабатываемого зубчатого венца, а во всех других сечениях совпадение нарушается, что приводит к возникновению модификации зубьев нарезаемого колеса. Причем, максимальное значение этой модификации, специфической для данного процесса

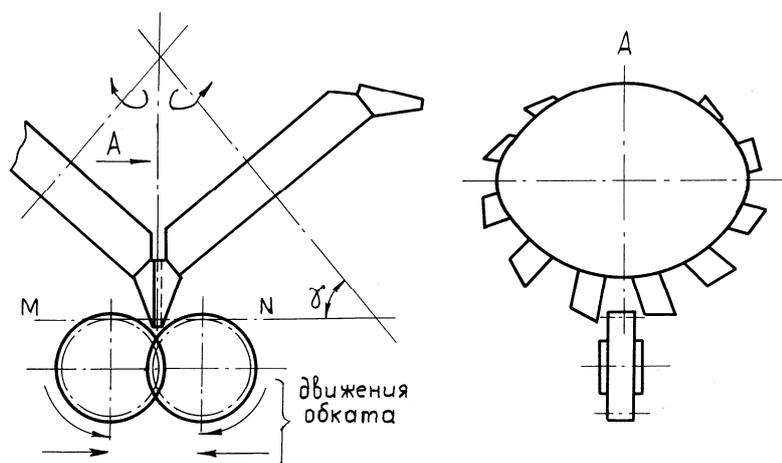


Рис.1. Схема процесса зубонарезания цилиндрических колес дельтовидными резцовыми головками.

зубонарезания, будет в торцовых сечениях зубчатого венца. А поскольку траектории движения резцов правой и левой головок одинаковы и зеркально симметричны, то, продольная модификация разноименных боковых поверхностей нарезаемых зубьев будет идентичной.

Получены зависимости, позволяющие определить величину модификации боковых поверхностей зубьев и оценить возможности управления продольной модификацией зубьев при использовании дельтовидных резцовых головок

Ориентировочные расчеты при принятых значениях параметров обрабатываемого зубчатого колеса, инструмента и их установки: $m=2,5\text{мм}$, $b=10\text{мм}$, $D_0=250\text{мм}$, $\alpha=20^\circ$, $\gamma=35^\circ$, показали, что глубина продольной бочкообразной модификации зубьев $\Delta_s=0,02 - 0,025\text{мм}$, а угловая погрешность формообразующего профиля резцов инструмента $\delta_\alpha=0,000232$ или при переходе от радианной меры к угловой $\delta_\alpha=50''$.

Из этого следует, что разработанный способ формообразования зубчатых поверхностей цилиндрических колес дельтовидными резцовыми головками может быть использован, в отличие от известного процесса зубообработки дисковыми головками, не только для предварительного, но и чистового зубонарезания при неизменном стандартном значении профильного угла инструмента. Процесс зубообработки дисковыми головками требует четкого разделения режущего инструмента на однорядные дисковые резцовые головки со стандартным углом профиля ($\alpha=20^\circ$) - для предварительного зубонарезания и двурядные дисковые резцовые головки с нулевым профильным углом ($\alpha=0^\circ$) - для чистовой зубообработки. Такое разделение неизбежно вследствие образования продольной вогнутой модификации зубьев при значении угла $\alpha>0^\circ$.

Сам метод зубообразования цилиндрических колес путем z-кратного обкатывания заготовки относительно вращающегося инструмента при отсутствии продольной его подачи сохранятся при использовании и дисковых и дельтовидных резцовых головок, и все преимущества метода, как в отношении производительности, так и точности остаются неизменными.

Другим немаловажным преимуществом метода z-кратного обката является возможность эффективного использования практически любого инструментального материала. Это объясняется тем, что данный метод может быть реализован как при кинематическом согласовании движений резания (вращение инструмента) и формообразования (z-кратного обкатывания заготовки), так и при отсутствии жесткой кинематической связи этих движений. В первом случае зубонарезание цилиндрических колес осуществляется способом обкатывающего зубопротягивания как дисковыми, так и дельтовидными резцовыми головками, резцы которых оснащены пластинками из быстрорежущей стали. А во втором - процесс зубонарезания осуществляется при скоростных режимах обработки такими же инструментами, но с резцами, имеющими твердосплавные режущие пластинки. Циклы зубонарезания различаются тем, что при обкатывающем зубопротягивании деление заготовки на зуб производится во время ее возврата в исходное положение за счет свободного от резцов сектора инструмента, а во втором случае деление заготовки возможно только после отвода ее из зоны контакта с инструментом в радиальном или тангенциальном направлении, соответственно, для двухрядных и однорядных дисковых резцовых головок.

Независимо от варианта реализации метода z-кратного обката, производительность процесса зубонарезания колеблется на весьма высоком уровне: при использовании твердосплавных резцовых головок в пределах от 1,2 до 1,8 с/зуб, а быстрорежущих от 0,9 до 1,2 с/зуб.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о целесообразности проведения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ для создания технологического комплекса с целью реализации возможности его внедрения в производство цилиндрических зубчатых колес.

УДК 621.99

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Васин С.А., докт. техн. наук, проф., Ямникова О.А., канд. техн. наук

(г. Тула, Россия)

The given work is generalization of two ways of an estimation of stability of technological system in process лезвийной processings. First of the suggested ways estimates qualitatively fact of existence of vibrations whereas another allows to define a level of vibrations, and also can be used for selection of optimum modes of cutting. Work is executed within the framework of the grant of leading scientific schools of the Russian Federal Property Fund 1920.2003.8.

Имея математический аппарат для качественной оценки устойчивости технологической системы и количественной оценки влияния упругих колебаний на динамические характеристики процесса лезвийной обработки, можно схематизировать действия по выбору безвибрационных режимов и схемы резания (рис. 1).

Качественная оценка устойчивости технологической системы проводится с помощью структурного критерия устойчивости, который позволяет аналитически дать однозначный ответ о факте возникновения вибраций в технологической системе в процессе лезвийной обработки. При этом учитываются четыре степени свободы (три линейных перемещения и одно вращение вокруг оси заготовки).

Упругие линейные деформации технологической системы по трем осям x , y , z и углу поворота заготовки вокруг оси Oz описываются следующими уравнениями [1, 2, 3]:



Рис. 1 Схема выбора безвибрационных режимов резания.

$$\begin{cases}
 m_x \cdot \ddot{w} + \eta_x \cdot \dot{w} + C_x \cdot w = \\
 = a_{xx} \cdot w + a_{yx} \cdot u_y + a_{zx} \cdot u_z + a_{\varphi x} \cdot \varphi + \dot{a}'_{zx} \cdot \dot{u}_z + a'_{\varphi x} \cdot \dot{\varphi}; \\
 m_y \cdot \ddot{u}_y + \eta_y \cdot \dot{u}_y + C_y \cdot u_y = \\
 = a_{xy} \cdot w + a_{yy} \cdot u_y + a_{zy} \cdot u_z + a_{\varphi y} \cdot \varphi + \dot{a}'_{zy} \cdot \dot{u}_z + a'_{\varphi y} \cdot \dot{\varphi}; \\
 m_z \cdot \ddot{u}_z + \eta_z \cdot \dot{u}_z + C_z \cdot u_z = \\
 = a_{xz} \cdot w + a_{yz} \cdot u_y + a_{zz} \cdot u_z + a_{\varphi z} \cdot \varphi + \dot{a}'_{zz} \cdot \dot{u}_z + a'_{\varphi z} \cdot \dot{\varphi}; \\
 I_\varphi \cdot \ddot{\varphi} + \eta_\varphi \cdot \dot{\varphi} + C_\varphi \cdot \varphi = \\
 = R \cdot (a_{xz} \cdot w + a_{yz} \cdot u_y + a_{zz} \cdot u_z + a_{\varphi z} \cdot \varphi + \dot{a}'_{zz} \cdot \dot{u}_z + a'_{\varphi z} \cdot \dot{\varphi})
 \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\eta_x, \eta_y, \eta_z, \eta_\varphi$ - коэффициенты затухания; C_x, C_y, C_z, C_φ - приведенные коэффициенты жесткости технологической системы в зоне резания; m_x, m_y, m_z - приведенные массы технологической системы по осям координат; I_φ - момент инерции; R - радиус заготовки.

Решение системы будем искать в виде [4]:

$$\left. \begin{aligned}
 w &= A_x \cdot e^{s\tau}; \\
 u_y &= A_y \cdot e^{s\tau}; \\
 u_z &= A_z \cdot e^{s\tau}; \\
 \varphi &= A_\varphi \cdot e^{s\tau}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Подставляя выражения (3) в систему (2), получим

$$\begin{cases} A_x(m_x \cdot s^2 + \eta_x \cdot s + C_x - a_{xx}) - A_y \cdot a_{yx} - A_z \cdot (a_{zx} + a'_{zx} \cdot s) - \\ - A_\varphi \cdot (a_{\varphi x} + a'_{\varphi x} \cdot s) = 0; \\ - A_x \cdot a_{xy} + A_y(m_y \cdot s^2 + \eta_y \cdot s + C_y - a_{yy}) - \\ - A_z \cdot (a_{zy} + a'_{zy} \cdot s) - A_\varphi \cdot (a_{\varphi y} + a'_{\varphi y} \cdot s) = 0; \\ - A_x \cdot a_{xz} - A_y \cdot a_{yz} + A_z(m_z \cdot s^2 + \eta_z \cdot s + C_z - a_{zz} - a'_{zz} \cdot s) - \\ + A_\varphi \cdot (a_{\varphi z} + a'_{\varphi z} \cdot s) = 0; \\ - A_x \cdot a_{xz} \cdot R - A_y \cdot a_{yz} \cdot R - A_z \cdot (a_{zz} + a'_{zz} \cdot s) \cdot R + \\ + A_\varphi(I_\varphi \cdot s^2 + \eta_\varphi \cdot s + C_\varphi - R \cdot (a_{\varphi z} + a'_{\varphi z} \cdot s)) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Система однородных уравнений относительно A_x , A_y , A_z и A_φ имеет решение, не равное нулю, только в том случае, если детерминант равен нулю, т.е.

$$\begin{vmatrix} m_x \cdot s^2 + & -a_{yx} & -a_{zx} - a'_{zx} \cdot s & -a_{\varphi x} - a'_{\varphi x} \cdot s \\ + \eta_x \cdot s + & & & \\ + C_x - a_{xx} & & & \\ -a_{xy} & m_y \cdot s^2 + & -a_{zy} - a'_{zy} \cdot s & -a_{\varphi y} - a'_{\varphi y} \cdot s \\ & + \eta_y \cdot s + & & \\ & + C_y - a_{yy} & & \\ -a_{xz} & -a_{yz} & m_z \cdot s^2 + & -a_{\varphi z} - a'_{\varphi z} \cdot s \\ & & + \eta_z \cdot s + C_z + & \\ & & - a_{zz} - a'_{zz} \cdot s & \\ -a_{xz} \cdot R & -a_{yz} \cdot R & -(a_{zz} + a'_{zz} \cdot s) \cdot R & I_\varphi \cdot s^2 + \eta_\varphi \cdot s + C_\varphi - \\ & & & - R \cdot (a_{\varphi z} + a'_{\varphi z} \cdot s) \end{vmatrix} = 0. \quad (5)$$

Развернув детерминант относительно s , получим характеристическое уравнение системы (4).

Общее решение характеристического уравнения, как уравнения восьмой степени, является сложным и неудобным для практического использования, поскольку результат не выражен в явной форме. Для того чтобы ответить на основной вопрос о том, при каких условиях (то есть при каких значениях исходных параметров) возникают автоколебания, не обязательно знать полное решение характеристического уравнения. Достаточно составить из их коэффициентов так называемые условия устойчивости [5] (критерий Гаусса - Гурвица), которые указывают, в каком случае характеристическое уравнение имеет корень с положительной вещественной частью или не имеет его.

Если написать характеристическое уравнение в общем виде

$$A_0 \cdot s^8 + A_1 \cdot s^7 + A_2 \cdot s^6 + A_3 \cdot s^5 + A_4 \cdot s^4 + A_5 \cdot s^3 + A_6 \cdot s^2 + A_7 \cdot s + A_8 = 0,$$

то критерии устойчивости, то есть условия, при соблюдении которых ни один из корней уравнения не имеет вещественной положительной части, определяется системой неравенств:

$$\begin{cases} T_0 > 0; \\ T_1 > 0; \\ T_2 > 0; \\ T_3 > 0; \\ T_4 > 0; \\ T_5 > 0; \\ T_6 > 0; \\ T_7 > 0; \\ T_8 > 0, \end{cases} \quad (6)$$

где

$$T_0 = A_0; T_1 = A_1; T_2 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 \\ A_3 & A_2 \end{vmatrix}; T_3 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 \\ A_5 & A_4 & A_3 \end{vmatrix}; T_4 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 & 0 & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \\ A_5 & A_4 & A_3 & A_2 \\ A_7 & A_6 & A_5 & A_4 \end{vmatrix};$$

$$T_5 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 & 0 & 0 & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & 0 \\ A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 \\ A_7 & A_6 & A_5 & A_4 & A_3 \\ 0 & A_8 & A_7 & A_6 & A_5 \end{vmatrix}; T_6 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & 0 & 0 \\ A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \\ A_7 & A_6 & A_5 & A_4 & A_3 & A_2 \\ 0 & A_8 & A_7 & A_6 & A_5 & A_4 \\ 0 & 0 & 0 & A_8 & A_7 & A_6 \end{vmatrix};$$

$$T_7 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & 0 & 0 & 0 \\ A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & 0 \\ A_7 & A_6 & A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 \\ 0 & A_8 & A_7 & A_6 & A_5 & A_4 & A_3 \\ 0 & 0 & 0 & A_8 & A_7 & A_6 & A_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_8 & A_7 \end{vmatrix}; T_8 = \begin{vmatrix} A_1 & A_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & 0 & 0 \\ A_7 & A_6 & A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 \\ 0 & A_8 & A_7 & A_6 & A_5 & A_4 & A_3 & A_2 \\ 0 & 0 & 0 & A_8 & A_7 & A_6 & A_5 & A_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_8 & A_7 & A_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A_8 \end{vmatrix}.$$

Для более детального (численного) определения уровня вибраций технологической системы можно использовать следующую схему расчета динамики процесса обработки лезвийным инструментом, которая включает пять основных пунктов (рис.2):

- 1) Расчет упругих колебаний технологической системы;
- 2) Расчет погрешностей геометрических параметров срезаемого слоя;
- 3) Расчет геометрических параметров срезаемого слоя;
- 4) Расчет модулей составляющих силы резания;
- 5) Расчет продольной шероховатости.

Первый блок представляет собой решение краевой задачи об упругих колебаниях. Для расчета здесь требуется геометрические параметры заготовки, значения жесткости узлов крепления заготовки и узла "инструмент – суппорт". Также следует рассчитать массу заготовки, оценить приведенную массу инструмента с суппортом, передней и задней бабок. На основе математической модели силы резания рассчитать модули составляющих. Результат блока представляет собой значения функций упругих колебаний в данный момент времени.

Во втором блоке с учетом полученных выше значений деформаций вала и геометрических параметров заготовки и инструмента рассчитываются погрешности геометрических параметров срезаемого слоя.

В третьем блоке для расчета геометрических параметров срезаемого слоя в данный момент времени, кроме погрешностей из второго блока, потребуются геометрические параметры заготовки и инструмента, а также режимы резания.

В четвертом блоке определяются мгновенные значения модулей составляющих силы резания с учетом геометрических параметров срезаемого слоя и режимов резания. Полученные результаты передаются в первый блок для расчета функций упругих колебаний в следующий момент времени.

В пятом блоке рассчитывается продольная шероховатость на текущий момент времени.

По полученному значению можно оценить



Рис. 2 Обобщенная схема расчета динамики процесса обработки лезвийным инструментом.

удовлетворяют ли заданные режимы резания и схема крепления заготовки требуемой точности обработки для данного процесса.

Данная схема может быть применима для любых процессов лезвийной обработки, если требуется учет влияния упругих деформаций в зоне резания на качество обработанной поверхности.

Цифры в кружках обозначают входные и выходные параметры: 1 – геометрические параметры элементов технологической системы (заготовки, инструмента, узлов крепления, люнетов), жесткости элементов крепления и физико-механические свойства материала заготовки (для точения – также инструмента); 2 – начальные значения модулей составляющих силы резания; 3 – расчетные значения упругих колебаний технологической системы; 4 – погрешности геометрических параметров срезаемого слоя; 5 – режимы резания; 6 – геометрические параметры срезаемого слоя; 7 – модули составляющих силы резания; 8 – Продольная шероховатость в зоне резания.

Литература

1. Лазарев Г.С. Устойчивость процессов резания металлов. - М.: Высшая школа, 1973. - 184 с.
2. Ямникова О.А. Повышение качества обрабатываемой поверхности в процессе точения. // Качество машин: Сб. тр. 4-й междунар. науч.- техн. конф., 10-11 мая 2001г.: В 2т./ Под общ. ред. А.Г. Сулова.- Брянск: БГТУ, 2001.-Т 2. С. 248-250.
3. Ямникова О.А. Критерий устойчивости упругой технологической системы // Известия ТулГУ, сер. "Технология машиностроения", вып. 1, Тула, 2004, С. 56-60.
4. Кузнецов В.П. Точность и виброустойчивость при нарезании наружных резьб многолезцовыми головками. - Диссертация на степень к.т.н. Тула: ТПИ, 1983.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974. - 831 с.

УДК 621.9.047.7: 621.833

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Маликов А.А., канд. техн. наук, доц.

(г. Тула, Россия)

The physical model final electrochemical processing with using complicated movement of the electrodes is described.

При закалке зубчатых колес неизбежна деформация деталей, которая приводит к снижению на 1-2 степени точности (по ГОСТ 1643-81) зубчатых венцов, а следовательно к уменьшению нагрузочной способности, долговечности передач, повышению шума при работе.

Существующие методы чистовой обработки закаленных колес, такие как зубохонингование, притирка, зубошлифование не удовлетворяют в полной мере требованиям массового и крупносерийного производства.

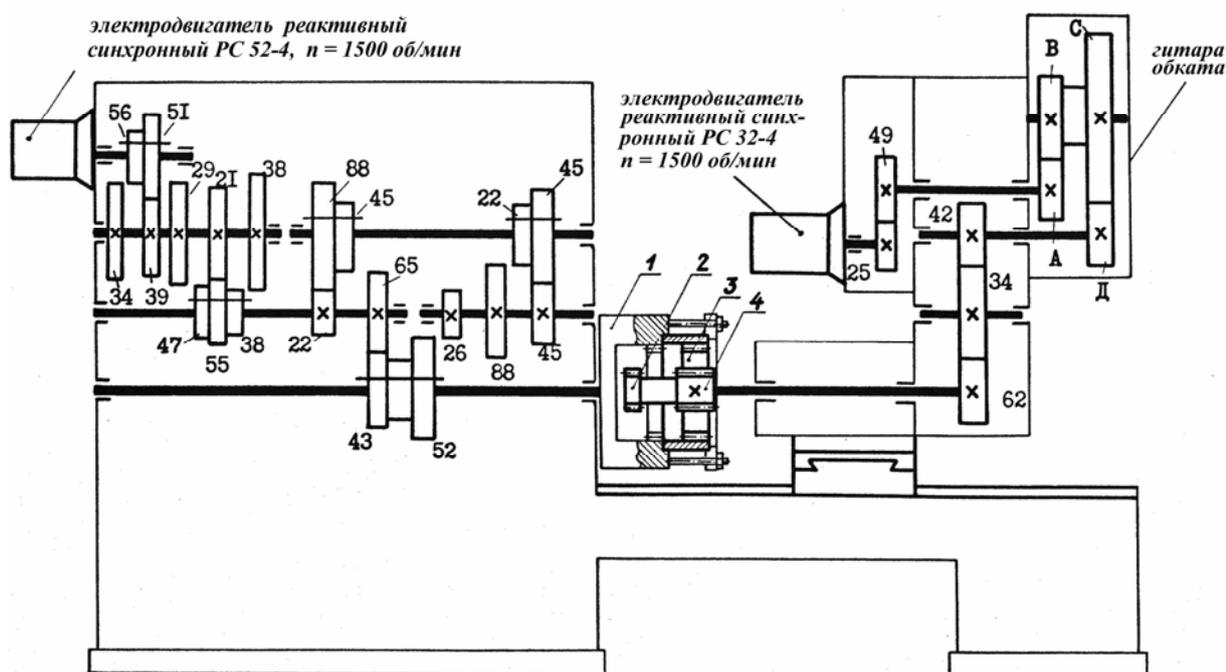


Рис. 1. Кинематическая схема опытно-промышленной установки.

Например, зубохонингование и притирка малопроизводительны и обладают низким исправляющим эффектом, а зубшлифование является очень дорогой операцией. Поэтому проблема поиска альтернативных технологий является весьма актуальной.

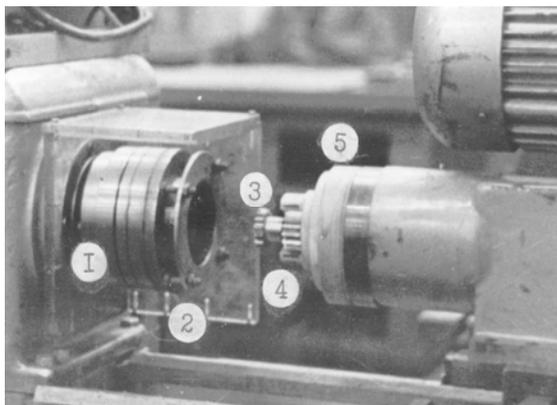


Рис. 2. Основные элементы рабочей зоны установки. 1-планшайба; 2-защитный экран; 3-эталонная шестерня; 4-обкаточный катод; 5-устройство для подвода электролита.

Проведенные нами исследования показали, что достаточный высокий исправляющий эффект и производительность обещает финишная электрохимическая обработка зубчатых колес при сложной кинематике движения электродов и жесткой кинематической связи между ними. При этом наиболее целесообразно использовать движение обката, при котором инструмент, выполненный в виде шестерни со специально рассчитанным профилем зубьев, находится в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом, при гарантированном межэлектродном зазоре между ними. Однако, внедрение такого процесса в промышленность сдерживается целым рядом факторов, одним из которых является отсутствие необходимого оборудования.

Исследования, выполненные в нашей стране и за рубежом, позволяют сформулировать следующие основные требования к такому оборудованию:

1. Обеспечение жесткой кинематической связи между обрабатываемым колесом и инструментом в процессе их обката с целью получения наибольшего исправляющего эффекта.

факта.

2. Обеспечение возможности подачи инструмента как в осевом, так и радиальном направлении с целью осуществления процесса финишной обработки на малых межэлектродных зазорах.

3. Простота и надежность конструкции, позволяющая использовать при создании оборудования узлы и агрегаты, серийно выпускаемые станкостроительными заводами.

4. Обеспечение широкого диапазона скоростей вращения обрабатываемого колеса и инструмента с целью подбора оптимальной гидродинамики процесса.

Первым трем условиям удовлетворяет опытная установка, созданная на базе зубодолбежного станка. Однако, особенности его кинематической схемы, в частности, наличие червячных пар в цепи деления, не позволили добиться скоростей обката, превышающих 24 об/мин. Обработка нескольких партий деталей с прямыми внутренними и наружными зубьями показала, что при таких малых скоростях не обеспечивается требуемый гидродинамический режим, что отрицательно сказывается на микрорельефе обработанных поверхностей. Поэтому, была поставлена задача разработать оборудование, полностью удовлетворяющее высказанным выше требованиям.

Широкие возможности для этого дает применение для обеспечения жесткой кинематической связи так называемого «электрического вала», образованного парой реактивных синхронных электродвигателей серии РС.

Жесткие кинематические связи, работающие по этому принципу, широко применяются в зубошлифовальных станках типа *Reischauer*, работающих червячным абразивом. На ОАО «Егорьевский станкостроительный завод» были сделаны успешные попытки использовать этот принцип при зубофрезеровании колес малых модулей.

Применение таких двигателей позволяет резко упростить оборудование и применить в нем серийные узлы и агрегаты. За базу был взят токарно-винторезный станок 1Л62 и унифицированная фрезерная головка УЕ 3415. Базовый станок и фрезерная головка были подвергнуты модернизации для обеспечения необходимой кинематической схемы (рис. 1), подвода постоянного напряжения к вращающимся электродам, подачи электролита в активную зону обработки и его слива. Основные элементы опытной установки показаны на рис. 2. 1-планшайба; 2-эталонная шестерня; 3-обрабатываемое колесо; 4-обкаточный катод.

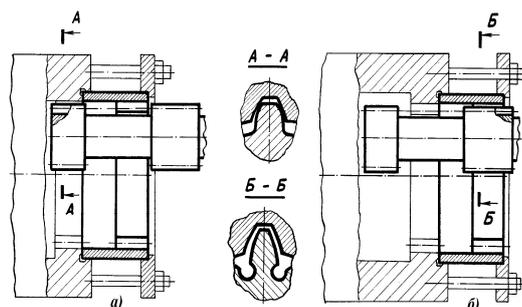


Рис. 3. Положение разгонной шестерни и обкаточного катода: а) во время разгона двигателей; б) во время процесса обработки.

Особенностью реактивных синхронных двигателей является отсутствие согласованного вращения в период разгона. Поэтому конструкция установки предусматривает обеспечение синхронизации в режиме разгона с помощью пары эталонных колес, находящихся в «плотном» (беззазорном) зацеплении (см. рис. 3).

В качестве источника постоянного напряжения используется двух полупериодный тиристорный выпрямитель. Подвод к обкаточным катодом постоянного напряжения осуществляется с помощью токосъемников и штанг. Такая конструкция позволила избежать протекания электрического тока через корпусные детали и подшипники. Подвод электролита непосредственно в зону обработки осуществляется через отверстия в шпинделях и специ-

альное сопло, установленное на переднем торце инструментальной головки. Для прокачки электролита используется шестеренный насос производительностью 18 л/мин.

Обкаточный катод (см. рис. 4) и эталонная шестерня закрепляются на оправке 5 с помощью винта 3. Симметричное расположение впадин зубьев катода и эталонной шестерни достигается с помощью ступенчатого ролика 2. Для удобства закрепления, а также передачи крутящего момента при разгоне синхронных двигателей служит шпонка 1.

Обрабатываемое колесо базируется на планшайбе, закрепленной на конусе шпинделя передней бабки, по торцевой поверхности и по наружной цилиндрической, которая для данной шестерни служит конструкторской и технологической базой. Правильное угловое положение детали относительно эталонного колеса устанавливается с помощью специальной зубчатой оправки, которая после закрепления заготовки вынимается.

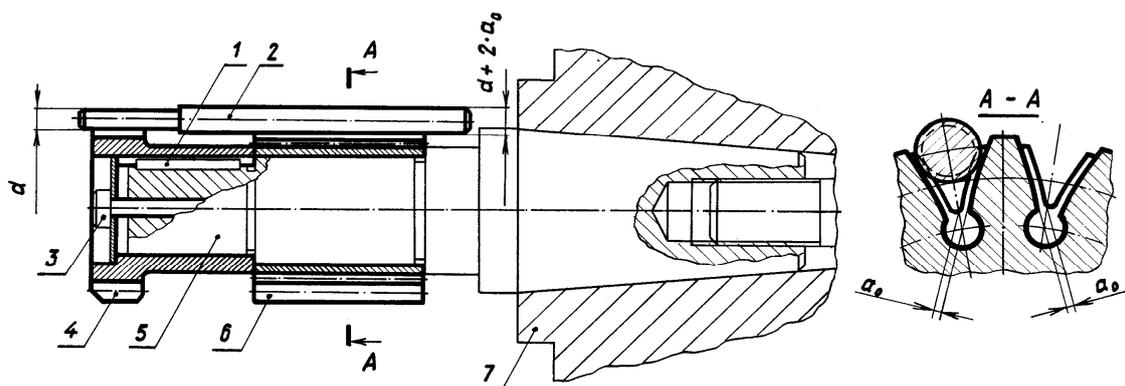


Рис. 4. Схема установки обкаточного катода. 1-шпонка; 2 - ступенчатый ролик; 3-винт; 4-эталонная шестерня; 5-оправка; 6-обкаточный катод; 7-шпиндель инструментальной головки.

После установки заготовки и ее закрепления, за счет перемещения суппорта базового станка с инструментальной головкой по направляющим, в зацепление вводится эталонная пара (см. рис. 3а). Затем включаются синхронные электродвигатели и в течении 5...10 секунд производится их разгон. По достижении синхронного вращения деталей суппорт подается до упора влево. При этом эталонная пара выводится из зацепления, а обкаточные электроды занимают рабочее положение (см. рис. 3б). После этого включается подача электролита и вслед за этим подается напряжение на электроды. Последовательность действий обеспечивается электрической схемой управления работой установки.

Рабочая зона обработки ограждена специальной камерой, выполненной из органического стекла. Отработанный электролит стекает через специальные отверстия камеры в лоток, установленный вдоль станины станка, и самотеком попадает в бак для электролита. Для очистки электролита от продуктов электрохимической реакции в баке установлен фильтр.

Предложенная конструкция установки обеспечивает ее быструю переналадку при смене обрабатываемого изделия. На ней можно осуществлять финишную обработку колес 8 степени точности, как с внутренними, так и внешними прямыми зубьями с модулями от 1 до 4 мм и числами зубьев от 12 до 100.

УДК 621.99

ОМНИТОРИНГ БАЗОВОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ОБОРОННОГО ПРОФИЛЯ

Сабина А.Л., канд. техн. наук, доц.
(г. Тула, Россия)

The structure and structure of cumulative potential competitiveness of military technics are considered, approaches to definition of its quantitative estimation are revealed. The structure of the parameters influencing potentials of competitiveness of military technics on stages of its life cycle is investigated.

Уровень совокупной потенциальной конкурентоспособности продукции военного назначения зависит от факторов, характеризующихся как параметрами самого продукта и параметрами внешней среды, так и параметрами системы организационно-экономических взаимоотношений, сопровождающих формирование продукта. Процесс создания продукции военного назначения следует рассматривать как накопление изделием потенциалов конкурентоспособности на каждом этапе жизненного цикла. Сумма накопленных потенциалов позволяет оценить уровень совокупной потенциальной конкурентоспособности изделия.

Рассмотрим последовательно формирование этих параметров, их влияние на уровень потенциальной конкурентоспособности и возможности управления этим уровнем.

1. Оценка параметров внешней среды.

Конъюнктурному анализу, как правило, подвергаются показатели состояния и сбалансирования рынка оружия; то-

вародвижения; удовлетворения покупательского спроса; цен; рыночной инфраструктуры; эффективности внешнеторговой деятельности в отношении продукции военного назначения.

Конъюнктурный анализ вмещает в себя широкий диапазон количественных, качественных, атрибутивных и альтернативных оценок, ориентировочных характеристик, косвенных расчетов, использования предварительной информации и применения прогнозных показателей. Он служит целям немедленного реагирования на принципиальное изменение рыночной ситуации, выбору правильного решения и поиску скрытых резервов, введение в оборот которых позволит кардинально изменить обстановку на рынке оружия или преодолеть негативно складывающиеся тенденции в системе производства и продаж ВВТ.

Конъюнктурный анализ осуществляется с целью расчета показателей и индексов деловой активности, моделирования ситуации по методу экономических барометров, определения характеристик основных тенденций развития. Основными методами конъюнктурного анализа являются регрессионный анализ, вариационный анализ, дискриминантный анализ, факторный анализ, кластер-анализ, многомерное шкалирование.

При проведении конъюнктурного анализа производят следующие основные исследования:

1. Изучение страны - потенциального покупателя оружия.
2. Изучение спроса.
3. Изучение предложения.
4. Исследование условий работы на рынке.
5. Исследование потенциальных возможностей фирмы, организации (субъекта военно-технического сотрудничества).

Исследование факторов, изложенных в п.1-4, осуществляется, в первую очередь, организациями, обладающими правом ведения внешнеэкономической деятельности: ФГУП «Рособоронэкспорт», ФГУП «РСК «МиГ», ФГУП «ЦКБ «Рубин», ФГУП «КБ машиностроения», ГУП «КБ приборостроения» (г. Тула), ГУП «НПО машиностроения», ОАО «Промышленная компания «Концерн «Антей». Результаты этого исследования оказывают влияние на оценку конкурентоспособности продукции военного назначения, предложенной рынку в определенных условиях, сложившихся в конкретный момент времени, т.е. реальной конкурентоспособности. При этом полученная оценка конкурентоспособности может не соответствовать потенциалу данной продукции в силу сложившихся обстоятельств на мировом рынке вооружений и относится только к экспортируемой военной технике.

В то же время, потенциальная конкурентоспособность может быть определена как для экспортируемой военной техники, так и для продукции военного назначения, потребляемой оборонным комплексом и Вооруженными Силами России. При определении уровня потенциальной конкурентоспособности необходимо учитывать часть конъюнктурных факторов, имеющих продолжительное временное воздействие и принимаемых во внимание при подготовке заказов на разработку и производство военной техники.

К числу таких факторов необходимо отнести существование долговременных партнерских отношений России с рядом государств в области военно-технического сотрудничества, внешнеполитическая ориентация России и предполагаемых стран-импортеров, их участие в военно-политических блоках и экономических союзах. Наличие долговременных партнерских отношений со страной-импортером предопределяет значительную вероятность того, что ею будет отдано предпочтение знакомой, закупавшейся ранее продукции, при условии соответствия качества военной техники и уровня сервиса требованиям импортера. Данный фактор повышает потенциал конкурентоспособности продукта до момента его вступления в реальную конкурентную борьбу с продуктами-аналогами. Также более вероятным является осуществление военно-технического сотрудничества с импортерами военной техники, разделяющими внешнеполитическую ориентацию России и, тем более, входящими в военно-политические блоки и экономические союзы с ней. Совокупность данных факторов обозначим как *базовые конъюнктурные условия*, а потенциал конкурентоспособности – как базовый конъюнктурный потенциал $p_{ок}$.

Обозначим параметры оценки конъюнктурных факторов рынка вооружений, влияющие на базовый конъюнктурный потенциал конкурентоспособности военной техники, как:

VS_i – множество характеристик состояния организационно-экономических и внешнеполитических взаимоотношений с рассматриваемым импортером военной техники;

VS_v - множество характеристик состояния организационно-экономических взаимоотношений с потребителями военной техники внутри страны.

Параметры могут быть представлены следующими состояниями:

- 1) осуществляется постоянное сотрудничество с рассматриваемым импортером и внутренним потребителем военной техники;
- 2) сотрудничество осуществлялось в прошедших временных периодах;
- 3) сотрудничество с данным импортером или потребителем не осуществлялось, но планируется;
- 4) сотрудничество не осуществлялось и не планируется.

Тогда потенциал конкурентоспособности, обеспечиваемый конъюнктурными факторами, определится как функция:

$$p_{ок} = f(VS_i, VS_v).$$

Значения $p_{ок}$ будут изменяться в пределах от 1 для случая постоянного сотрудничества и с импортером и с внутренним потребителем до 0 в случае полного отсутствия взаимодействия производителей с возможными

потребителями. Соотношение параметров VSi и VSv зависит от соотношения объемов продукции военного назначения, поставляемой соответственно импортеру и потребителю внутри страны.

Анализ параметров VSi и VSv позволяет выявить и спрогнозировать базовые конъюнктурные условия, в которых будет реализован потенциал конкурентоспособности создаваемой продукции военного назначения. Эти параметры отражают наличие или отсутствие предпочтений на рынке вооружений по отношению к данной продукции и могут быть учтены на этапе планирования разработки и производства военной техники. Другие конъюнктурные параметры определяются лишь в момент сбыта изделия и окажут влияние на степень реализации его совокупной потенциальной конкурентоспособности.

После определения базовых конъюнктурных условий инициирования заказа на военную технику необходимо провести анализ потенциальных возможностей оборонных предприятий и организации. Результаты этого анализа имеют большое значение как в случае реализации военной техники на экспорт, так и в случае ее внутреннего потребления. Он может быть проведен любыми заинтересованными организациями и структурами Министерства обороны и должен обеспечивать получение объективных показателей экономического положения предприятия, достоверных прогнозных данных о качестве продукции, уровне издержек на разработку и производство военной техники. Совокупность таких данных о продукции и ее производителях позволяет оценить потенциалы конкурентоспособности самого продукта, формируемые на этапах его жизненного цикла.

Рассмотрим более подробно возможности проведения оценки этих потенциалов конкурентоспособности продукции военного назначения.

2. Оценка потенциалов конкурентоспособности военной техники на этапах ее жизненного цикла.

Применительно к рынку вооружений и военной техники набор оцениваемых параметров конкурентоспособности военной техники укрупнено может быть разбит на три группы:

1. Технический уровень.
2. Ценовая привлекательность.
3. Условия поставки и послепродажного сервиса.

В настоящее время степень влияния отдельных параметров изделия на его конкурентоспособность в целом оценивается экспертным путем, а сама конкурентоспособность определяется соотношением индексов конкурентоспособности по техническим и экономическим параметрам. Значения индексов зависят от соотношения технических и экономических характеристик изделия и товара-образца, и отражают результаты сопоставления реально существующих продуктов, предлагаемых рынку.

Технический уровень может быть определен с помощью наиболее значимых показателей, выражаемых объективными числовыми значениями, баллами экспертной оценки, либо качественными или альтернативными характеристиками. Каждый из показателей t_i , ($i=1, \dots, n$) сравнивают с показателями изделия-аналога t_{i0} . Получают ряд относительных – параметрических индексов $f_i = t_i / t_{i0}$ (при условии, что увеличение t ведет к улучшению потребительских свойств) или $f_i = t_{i0} / t_i$ (при условии, что увеличение t ведет к ухудшению потребительских свойств). Значимость параметров, их приоритетность, определяется, исходя из требований потребителей методом экспертных оценок, и отражается весовым коэффициентом.

Интегральный показатель технического уровня F_T можно рассчитать по формуле:

$$F_T = \sum_{i=1}^n a_i \cdot f_i,$$

где a_i - весовой коэффициент i -го параметра; n - число анализируемых параметров.

По аналогичной схеме определяется ценовая привлекательность образца ВиВТ. При этом сравнивают составляющие цены потребления: затраты на приобретение (продажная цена), расходы на транспортировку до места использования, затраты на монтаж и наладку, затраты на обучение персонала, затраты на техническое обслуживание эксплуатации, затраты на послегарантийное обслуживание и покупку запчастей, затраты на утилизацию изделия после выработки ресурса. Ценовая привлекательность оценивается сравнением экономических показателей c_j ($j=1, \dots, m$) с показателями изделия-аналога c_{j0} исчислением частных экономических параметрических индексов $l_j = c_j / c_{j0}$. Сводный индекс конкурентоспособности по экономическим (ценовым) параметрам $F_{\mathcal{E}}$ определяется по формуле:

$$F_{\mathcal{E}} = \sum_{j=1}^m b_j l_j$$

где b_j - весовой коэффициент j -го параметра; m - число анализируемых параметров.

Сводные индексы конкурентоспособности по техническому уровню и ценовой привлекательности позволяют вычислять интегральный показатель конкурентоспособности выпускаемого изделия по отношению к базовому аналогу:

$$F_{\mathcal{H}} = F_T / F_{\mathcal{E}}.$$

Если $F_{\mathcal{H}} > 1$, то предлагаемое изделие превосходит аналог по конкурентоспособности, если $F_{\mathcal{H}} < 1$ - уступает ему.

Исследование жизненного цикла военной техники выявило отличительные особенности процесса формирования ее технических и ценовых показателей и сложность управления ими. Сложность управления процессом формирования показателей обусловлена разнесенностью этапов жизненного цикла продукции военного назначения по различным организациям - исполнителям работ и отсутствием эффективной системы координации их деятельности.

Таблица 1.

Экспертная балльная оценка показателей

| Показатели | Баллы | | |
|--|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | 5 | 3 | 0 |
| Показатели этапа разработки: | | | |
| - новизна продукта | новый | аналог серийно выпускается | аналог снят с производства |
| - стоимость НИОКР | низкая* | средняя* | высокая* |
| Показатели этапа производства: | | | |
| - трудоемкость | низкая | средняя | высокая |
| - материалоемкость | низкая | средняя | высокая |
| - стабильность параметров | высокая | средняя | низкая |
| - себестоимость | низкая | средняя | высокая |
| - наличие системы качества | производство сертифицировано | ведутся работы по сертификации | отсутствует |
| Показатели этапа реализации: | | | |
| - предварительная контрактация | заключен контракт | подготовлен контракт | не производится |
| - предпродажное обслуживание | проводится всегда | проводится иногда | не проводится |
| Показатели этапа эксплуатации: | | | |
| - затраты на техническое обслуживание | низкие | средние | высокие |
| - ремонтпригодность | высокая | средняя | низкая |
| - возможность модернизации | возможна в высокой степени | возможна | не возможна |
| - требования к квалификации обслуживающего персонала | низкие | средние | высокие |
| Показатели этапа утилизации: | | | |
| - затраты на утилизацию | низкие | средние | высокие |
| - возможность повторного использования отходов | возможна в высокой степени | возможна частично | не возможна |
| - трудоемкость | низкая | средняя | высокая |
| - энергоемкость | низкая | средняя | высокая |
| - экологическая безопасность отходов | безопасны | частично опасны | опасны |

*для данного типа продукции в среднем по отрасли.

Управление данными критериями оценки конкурентоспособности предполагает: а) возможность улучшения интегрального показателя технического уровня, а, следовательно, улучшения отдельных показателей технического уровня; б) возможность улучшения ценовой привлекательности, условий поставки и послепродажного сервиса, т.е. снижения себестоимости узлов и затрат на их эксплуатацию.

В существующих условиях целесообразным является определение достигнутого потенциала конкурентоспособности продукции p_{pi} на каждом i -ом этапе ее жизненного цикла.

Проведенные исследования показывают, что можно выделить этапы жизненного цикла продукции, на которых

формируются наиболее значимые потенциалы конкурентоспособности, а также этапы, не оказывающие на них значительного влияния. В состав параметров, влияющих на оценку потенциала конкурентоспособности, должны быть включены свойства продукции, востребованные на этапах жизненного цикла, следующих за производством и реализацией – этапе эксплуатации и утилизации (ремонтпригодность, возможность модернизации, технологичность утилизации и т.п.).

Очевидно, что веса потенциалов конкурентоспособности продукции по этапам жизненного цикла неравнозначны. Содержание работ по этапам жизненного цикла военной техники показывает, что наибольший потенциал создается на этапах разработки и производства продукции. Именно тогда формируются параметры продукции, которые реализуются затем в процессе эксплуатации и имеют решающее влияние на исход конкурентной борьбы.

Для оценки весомости потенциалов конкурентоспособности, создаваемых на этапах жизненного цикла военной техники, произведен анализ состава и значений показателей, характеризующих потенциал каждого этапа жизненного цикла и оценка значимости каждого показателя.

Состав показателей основан на содержании работ по этапам жизненного цикла продукции военного назначения и оценке представителей экспертной группы. Показатели переводятся в балльную оценку B_{ij} j -го показателя на i -ом этапе жизненного цикла согласно таблице 1.

С целью определения весового коэффициента значимости потенциалов по этапам жизненного цикла военной техники использовался метод задания весовых коэффициентов (оценивания). Весовой коэффициент значимости i -го потенциала определяется как среднее арифметическое экспертных оценок. На основании полученных балльных оценок показателей и экспертных оценок значимости показателей потенциалов рассчитывается балльное значение весомости потенциала конкурентоспособности данного продукта на i -ом этапе его жизненного цикла по формуле:

$$V_{pi} = \sum_{j=1}^m B_{ij} \times k_{zpij},$$

где V_{pi} - весомость потенциала конкурентоспособности i -го этапа; k_{zpij} - коэффициент значимости j -го показателя потенциала на i -ом этапе; B_{ij} - балльная оценка j -го показателя потенциала на i -ом этапе; m - количество показателей на i -ом этапе.

Обозначив величину потенциала конкурентоспособности продукции военного назначения, образованного на i -ом этапе жизненного цикла через p_{pi} , можно выразить уровень совокупной потенциальной конкурентоспособности зависимостью

$$K^P = p_{ok} + \sum_{i=1}^n p_{pi} \times V_{pi},$$

где K^P - совокупная потенциальная конкурентоспособность военной техники; p_{ok} - потенциал базовых конъюнктурных условий; p_{pi} - потенциал конкурентоспособности продукта на i -ом этапе его жизненного цикла; V_{pi} - весомость потенциала конкурентоспособности i -го этапа; n - количество осуществляемых этапов жизненного цикла.

Управление уровнем потенциальной конкурентоспособности подразумевает воздействие на все или некоторые параметры потенциалов конкурентоспособности по этапам жизненного цикла.

Потенциал конкурентоспособности на каждом этапе жизненного цикла военной техники характеризуется рядом параметров, отражающих техническое состояние продукции и уровень издержек данного этапа. Кроме того, на уровень потенциала оказывают влияние прочие условия осуществления этапа жизненного цикла: технологичность продукции и уровень технологии производства; сроки исполнения заказа, в том числе на ремонт и модернизацию; наличие сервисных центров и служб, филиалов; сложность эксплуатации и необходимость обучения пользователей; срок службы; ремонтпригодность; технологичность утилизации и возможность получения возвратных отходов. Исследование состава и характера показателей позволило выявить в содержании потенциала конкурентоспособности, по крайней мере, семь составляющих, каждая из которых включает некоторое множество элементов. Это позволяет автору ввести понятие структуры потенциала конкурентоспособности продукта, как комбинации выделенных разнородных множеств элементов:

$$p_s = \langle T, C, V, I, O, D, S \rangle,$$

где T, C, V, I, O, D, S - множества характеристик, отражающих технические, стоимостные, временные свойства продукта, характеристик исполнителей работ на этапе жизненного цикла, объектов воздействия, действий исполнителя, структуры жизненного цикла.

Воздействие на изолированные показатели затруднено и мало эффективно, т.к. они тесно взаимосвязаны. Для эффективного управления уровнем потенциальной конкурентоспособности военной техники необходимо создание комплексной системы воздействия на все показатели и на всех участников жизненного цикла. Такая система может опираться на существующие в любой экономической ситуации организационно-экономические отношения участников ситуации, одновременно регулируя их с целью достижения наибольшей потенциальной конкурентоспособности военной техники и повышения эффективности деятельности всех участников ее разработки, производства и реализации.

УДК 621.9

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЕЧАЕК**Коротков В.С., канд. техн. наук, доцент***(г. Днепродзержинск, Украина)*

В условиях производства часто приходится решать задачи идентификации и контроля геометрической точности изделий и сборных конструкций, не удобных для применения обычных методов и приемов. Например, изготовление крупногабаритных конструкций из отдельных не жестких составляющих может привести к образованию недопустимой суммарной погрешности. В некоторых случаях необходим «подбор» этих составляющих таким образом, что бы конечный результат имел требуемые параметры.

Ниже представлен вариант контроля геометрических параметров обечаек. Исходные данные для обработки могут быть получены в результате косвенных измерений каким-либо способом, и в дальнейшем обработаны вычислительной техникой (см. рис. 1).

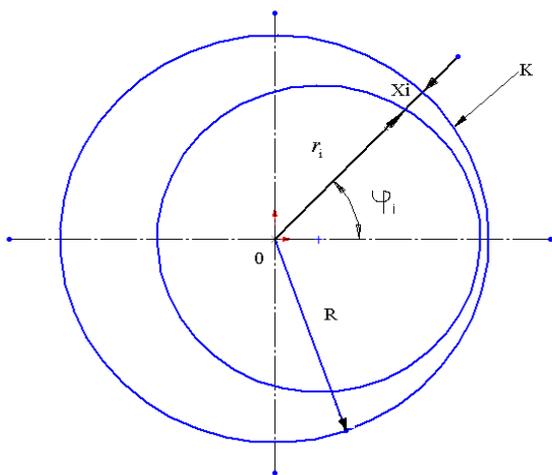


Рис.1 Схема проведения измерений

Круг радиуса R , в котором находится исследуемый контур – сечение измеряемой обечайки.

Здесь x_i – расстояние от исследуемого контура до круга K , соответствующее углу

$$\varphi_i = i\pi / n \quad (i = \overline{0, 2n})$$

В дальнейшем нам понадобится еще один параметр r_i – радиус-вектор, соответствующий углу φ_i , определяемый из равенства

$$r_i = R - x_i$$

Полученные результаты базируются на том, что в качестве аппроксимации искомого контура берется полярный сплайн второго порядка

$$\rho(r, \varphi) = \sum_{i=1}^{2n} C_i B(\varphi - i\pi / n) \quad (1)$$

где $B(t) - B$ -сплайн второго порядка, т.е. четная функция, равная нулю вне промежутка $[-3\pi/(2n), 3\pi/(2n)]$ и

$$B(t) = \begin{cases} \frac{3}{4} \cdot \frac{\pi^2}{n^2} & (t \in [0, \pi/(2n)]) \\ \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{3\pi}{2n} - t^2 \right)^2 & (t \in [\pi/(2n), 3\pi/(2n)]) \end{cases} \quad (2)$$

Из (2) следует, что если $\tau = (\varphi - i\pi / 2n) / (\pi / n)$, то $\varphi \in [(2i - 1)\pi / (2n), (2i + 1)\pi / (2n)]$, а

$$\rho(r, \varphi) = C_{i-1} \frac{1}{2} \left(\tau - \frac{1}{2} \right)^2 + C_i \left(\frac{3}{4} - \tau^2 \right) + C_{i+1} \frac{1}{2} (\tau + 0,5)^2, \quad (3)$$

что позволяет, если известен вид C_i , иметь достаточно простое и удобное представление аппроксимации исходного контура.

Коэффициенты C_i определяют вид сплайна и могут находиться различными путями [1,2] так, чтобы сплайн был интерполяционным, сглаживающим, локальным и т.п. В данных условиях наиболее удобно следующее представление:

$$C_i = \sum_{k=0}^m (-1/8)^k \Delta^{2k} r_i, \quad (4)$$

где $\Delta^2 r_{i+1} = 2r_i + r_{i+1}$ и, соответственно $\Delta^{2k} r_i = \Delta^2 (\Delta^k r_i)$.

Причем, достаточно остановиться на $m = 1$, т.е. брать

$$C_i = r_i - \frac{1}{8} \Delta^2 r_i. \quad (5)$$

Используя полученный в результате измерений массив данных k_i ($i=0,2n$) можно вычислить следующие, наиболее часто используемые в инженерной практике геометрические параметры по формулам.

Площадь поперечного сечения

$$S = \frac{\pi}{2n} \sum_{i=1}^{2n} r_i \left(r_i - \frac{9}{380} \Delta^4 r_i + \frac{11}{3840} \Delta^6 r_i \right). \quad (6)$$

Длина линии поперечного сечения

$$l = \frac{\pi}{3n} \sum_{i=1}^{2n} (k_i + 2m_i), \text{ где}$$

$$k_i^2 = \frac{1}{64} (C_{i-1} + 6C_i + C_{i+1})^2 + n^2/4 \pi^2 (C_{i+1} - C_{i-1})^2,$$

$$m_i^2 = \frac{1}{4} (C_i + C_{i+1})^2 + n^2 / \pi^2 (C_{i+1} - C_i)^2$$

и C_i определяется из равенства (5).

Центр массы фигуры сечения

$$x_0 = M_y / S, \quad y_0 = M_x / S,$$

где S определено из (6) и

$$M_x = \frac{\pi}{9n} \sum_{i=1}^{2n} \left((C_{i-1} + 6C_i + C_{i+1})^3 + \frac{\text{Sin} \frac{(2i+1)}{2n}}{4} (C_i + C_{i+1})^3 \right),$$

$$M_y = \frac{\pi}{9n} \sum_{i=1}^{2n} \left(\frac{\text{Cos}(\pi i / n)}{512} (C_{i-1} + 6C_i + C_{i+1})^3 + \frac{\text{Cos} \frac{\pi(2i+1)}{2n}}{4} (C_i + C_{i+1})^3 \right).$$

Углы осей овальности

$$\varphi_i = \frac{1}{2} \text{acctg} \frac{a_2}{b_2} + \frac{\pi i}{2} \quad (i = 0,1).$$

Причем, значения $\rho(\xi, \varphi_i^*)$ будут соответствовать экстремальным значениям радиус-вектора, а величина $\rho(\xi, \varphi_0^*) / \rho(\xi, \varphi_1^*)$ будет характеризовать овальность.

Углы осей биения

$$\psi_i = \frac{1}{3} \text{arcctg} \frac{a_3}{b_3} + \frac{\pi i}{n}, \quad (i = 0,1,2)$$

где a_k и b_k - коэффициенты Фурье отцентрированной фигуры сечения (для которой полюс совмещен с центром масс) равные

$$a_k = \left(\frac{2n \text{Sin}(k\pi / 2n)}{k\pi} \right)^3 \frac{2 \text{Cos} k\pi / 2n}{\pi(2 + \text{Sin}^2 k\pi / 2n)} \sum_{i=1}^{2n} \xi_i \text{Cos} k\pi_i / n,$$

$$b_k = \left(\frac{2n \text{Sin}(k\pi / 2n)}{k\pi} \right)^3 \frac{2 \text{Cos}(k\pi / 2n)}{\pi(2 + \text{Sin}^2(k\pi / 2n))} \sum_{i=1}^{2n} \xi_i \text{Sin}(k\pi / n).$$

Литература

1. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн функций. – М.: Наука, 1980. – 352с.
2. Лигун А.А., Шумейко А.А. Асимптотические методы восстановления кривых. 1996. 358с.

УДК 621.793

ДВА ФАКТОРА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ОБРАБОТОК НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

Мацевитый В.М., канд. физ.-мат. наук, Казак И.Б., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The influence of surface hardening treatments on the durability of rapid steel cutting tools is considered. Two factors of their action on cutting tools wear have been identified: viz. a direct increase in wear resistance of the tool material and the influence of hardening treatments on the tool's thermal-force load.

Известно, что работоспособность инструментов из быстрорежущих сталей можно существенно увеличить за счет использования износостойких покрытий на основе тугоплавких соединений, а также различных методов поверхностного упрочнения: лазерной обработки, электроискрового легирования, химико-термической обработки, в частности, – карбонитрации. [1].

Анализ влияния поверхностных упрочняющих обработок на стойкость инструментов из быстрорежущих сталей показывает, что существует. По крайней мере, два фактора их воздействия на изнашивание режущих инструментов.

Первый фактор связан непосредственно с повышением износостойкости рабочих поверхностей в результате их поверхностного упрочнения. При этом наибольшее значение имеет повышение износостойкости задней поверхности инструмента, интенсивность изнашивания которой, как правило, определяет его стойкость. Такие обработки как карбонитрация, лазерная закалка, электроискровое легирование при оптимальных технологических параметрах в состоянии обеспечить существенное повышение износостойкости быстрорежущих сталей в условиях реализации абразивного и адгезионно-усталостного механизмов изнашивания, которые характерны для изнашивания задней поверхности инструмента. Важно также, что указанные обработки повышают и теплостойкость быстрорежущей стали, что может иметь принципиальное значение при эксплуатации режущих инструментов в условиях теплонапряженного резания (высокая скорость резания, большая толщина срезаемого слоя).

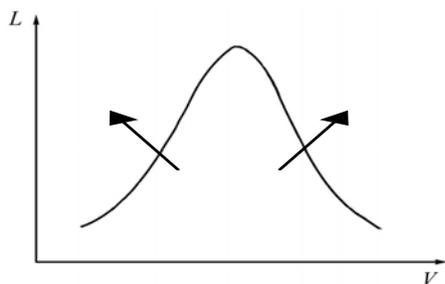


Рис.1. Схема зависимости длины пути резания от скорости.

Второй фактор воздействия упрочняющих обработок на изнашивание режущих инструментов не имеет отношения к износостойкости инструментального материала и часто не принимается во внимание исследователями.

Для резания инструментами из быстрорежущих сталей многофазных сплавов (в том числе и сталей) характерно существование на передней поверхности инструментов нароста, который разгружает режущую кромку и предохраняет ее от изнашивания. Нарост отсутствует лишь в определенном интервале скоростей (температур) резания и при изменении температуры претерпевает эволюцию размеров и формы, что существенно влияет на стойкость инструмента. Поэтому длина пути резания L в зависимости от скорости резания выражается кривой с максимумом (рис.1). Эта кривая отражает то обстоятельство, что при заданной геометрии резания существует оптимальная скорость резания, при которой форма и размеры нароста таковы, что он наилучшим образом защищает режущую кромку.

Поскольку основным фактором воздействия на форму и размер нароста является температура на перед-

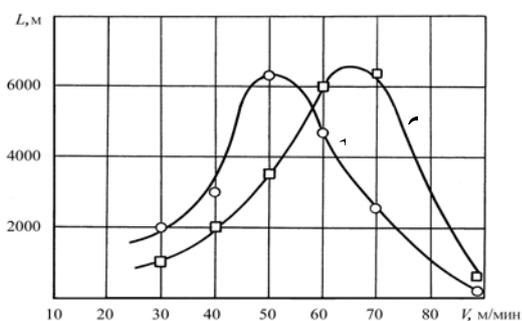


Рис.2. Зависимость длины пути резания от скорости при точении стали 45 резцами из стали Р6М5 без упрочнения (1) и после карбонитрации (2) при допустимом износе задней поверхности $h_3 = 0,15$ мм ($S = 0,10$ мм/об, $t = 0,5$ мм).

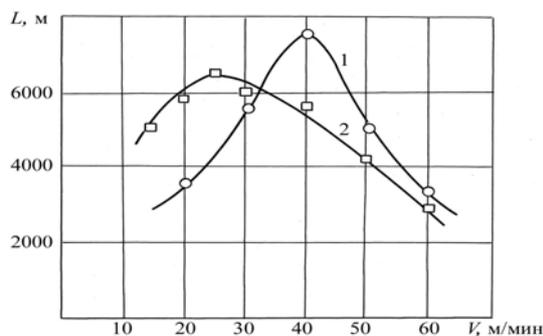


Рис.3. Зависимость длины пути резания от скорости при точении стали 45 резцами из стали Р6М5 без упрочнения (1) и после лазерной обработки (2) передней поверхности при допустимом износе задней поверхности $h_3 = 0,25$ мм ($S = 0,25$ мм/об; $t = 0,5$ мм).

ней поверхности, существует возможность целенаправленного влияния на процесс наростообразования за счет регулирования температуры резания. В частности, на температуру передней поверхности инструмента при неизменных параметрах резания можно влиять путем изменения теплопроводности приповерхностных (прилежащих к передней поверхности) объемов инструментального материала [2].

Для случая точения нормализованной стали 45 из стали Р6М5¹ нами установлено, что за счет повышения теплопроводности стали Р6М5 при карбонитрации (и соответствующего уменьшения температуры передней поверхности) максимум стойкости резцов на кривой $L=L(V)$ сдвигается в область более высоких скоростей резания, и наоборот. За счет понижения теплопроводности этой стали при лазерной обработке максимум стойкости сдвигается в область низких скоростей резания (рис.2-3)².

Представляется, что при использовании методов поверхностного упрочнения инструментов из быстрорежущих сталей необходимо учитывать оба рассмотренных фактора, при этом второму фактору следует уделять особое внимание, поскольку его влияние на стойкость инструментов является преобладающим.

Литература

1. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 128 с.
2. Мацевитый В.М., Казак И.Б., Спольник А.И. Влияние лазерной обработки, карбонитрации и их сочетания с вакуумно-плазменным покрытием TiN на некоторые свойства стали Р6М5 //Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение». – 2001. –№2(79). –С.137-141.

УДК 621.923

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТОЧЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ДЕТАЛЕЙ НА ОТНОШЕНИЕ РАДИУСА ЗАКРУГЛЕНИЯ ВЕРШИН МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ К ИХ ВЫСОТЕ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, Коломиец В.В., докт. техн. наук,
Ридный В.Ф., канд. техн. наук, Ридный Р.В., инженер
(г. Харьков, Украина)

The Broughted results of the experimental study of the influence mode cuttings and values of the wear-out incisor on non-standard parameter of the microgeometry surrface layer - an attitude of the radius of the curving the tops of the micro jaggiest to their height on restored by melting and processed by sharpening rod hydra cylinder.

Известно, что сокращение до минимума износа в период приработки и максимальное увеличение продолжительности установившегося износа обеспечивает увеличение срока службы деталей машин, подверженных изнашиванию. Установлено, что прежде всего результаты приработки влияют на развитие износа в установившемся периоде и на время наступления аварийного износа. Динамика процесса приработки, при прочих равных условиях, определяется качеством поверхностного слоя параметры которого обеспечиваются в процессе механической обработки. Таким образом повышение износостойкости деталей машин, в том числе и деталей сельскохозяйственных машин, восстановленных наплавкой, путём максимальных сокращений периода приработки поверхности возможно за счёт технологического обеспечения оптимальных параметров микрогеометрии поверхностного слоя.

Исследование проблемы технологического обеспечения требуемого качества поверхностного слоя наплавленных деталей выполнено в работах Рыжова Э.В. [1], Клименко С.А., Муковоза Ю.А. [2], Рыжова Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. [3] Коломийца В.В. [4], Сулова А.Г. [5]. В работах Жорника Н.И. [6], Горленко О.А., Фролова Е.Н. [7], Ковалёва В.В., Голего Н. А., Трускова П. Ф. [8] изучено влияние условий обработки на стандартные параметры шероховатости. Шнейдер Ю.Г. показал наличие существенной связи между рядом нестандартных параметров микрогеометрии поверхностного слоя и некоторыми критериями работоспособности, обеспечивающими износостойкость деталей, такими как: несущая способность контактирующих поверхностей и темп приработки, сопротивляемость к схватыванию поверхностей и др.

В работах выполненных в ХГТУСХ приведены результаты исследования влияния условий точения резцами из ПСТМ, типа киборит, деталей, восстановленных наплавкой, на стандартные [10], и такие нестандартные параметры шероховатости, как радиус закругления вершин микронеровностей и величину износа наклона образующих этих неровностей [11], а также число микровыступов профиля приходящихся на единицу длины [12].

Исследования, выполненные Шнейдером Ю.Г.[9] и Крагельским И.В.[13] и показали, что такие характеристики износостойкости деталей машин, как темп и характер приработки, а в особенности склонность к схватыванию, нельзя регламентировать только высотой выступов микронеровностей. Недостаточным оказывается и дополнительное формирование радиуса закругления выступов микронеровностей. Очень важным показателем в этих случаях является такой нестандартный параметр микрогеометрии поверхностного слоя, как отношение радиуса закругления вершин микронеровностей r к параметру шероховатости R_{zmax} . Шнейдером Ю.Г. показано

¹ Геометрия заточки резцов: $\gamma=0^\circ$; $\varphi=45^\circ$; $\alpha=12^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $\lambda=0^\circ$.

² Режимы карбонитрации и лазерной обработки, а также влияние этих обработок на свойства стали Р6М5 приведены в работе [2].

[9], что поверхности, характеризуемые большими значениями отношения $\frac{r}{R_{z\max}}$ (в дальнейшем W) за счёт

больших величин радиуса r , даже грубо обработанные, практически не схватываются. В то же время чисто обработанные поверхности с меньшими значениями W схватывались при относительно малых давлениях и скоростях трения.

Механическая обработка деталей машин точением и шлифованием обеспечивают весьма малые значения отношений W - не более 20...40. При этом повышение чистоты обработки обеспечивает незначительное увеличение этого отношения. Учитывая перспективность использования резцов из ПСТМ при обработке деталей восстановленных наплавкой, представляет интерес изучение влияния условий точения резцами из ПСТМ на нестандартные параметры шероховатости, оказывающие влияние на износостойкость восстановленных деталей.

Целью настоящей работы было исследование влияния режимов резания и величины износа резца на параметр шероховатости поверхности – отношение радиуса закругления вершин микронеровностей к их высоте при обработке восстановленных наплавкой штоков гидроцилиндров сельскохозяйственных машин резцами с круглыми пластинами из ПСТМ, типа киборит.

Настоящая работа завершает серию исследований по изучению влияний условий точения резцами из ПСТМ, типа киборит на нестандартные параметры микрогеометрии поверхностного слоя, оказывающих наиболее существенное влияние на износостойкость деталей сельскохозяйственных машин, восстановленных наплавкой.

Исследования микрогеометрии проводились на восстановленных, электродуговой наплавкой, штоках гидроцилиндров. Наплавка выполнялась проволокой Нп-30ХГСА в среде углекислого газа. Чистовое точение проводили резцами с круглыми пластинами $\varnothing 7$ мм из ПСТМ типа киборит (К11) и углами $\gamma_y = -10^\circ$, $\alpha_y = 10^\circ$, которые достигались за счёт установки пластин. Параметры микрогеометрии исследовались по профилограммам, записанным на профилографе-профилометре «Talysurf-4». Подсчёт числа выступов выполнялся по методике, разработанной лабораторией теории трения НИИ ИМАШ под руководством И.В. Крагельского [13]. В качестве базовой длины принималась $l = 0,25$ мм.

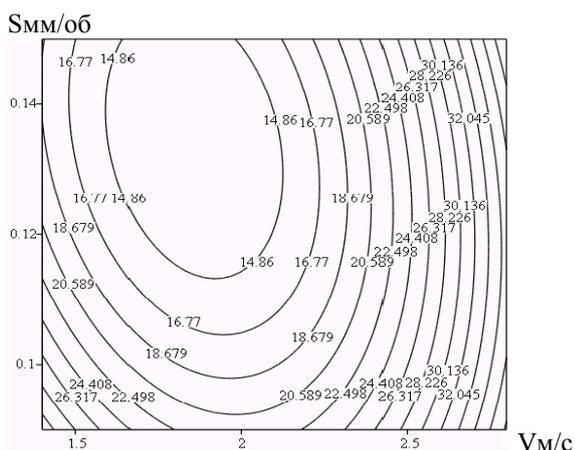


Рис. 1,а. Зависимость параметра W от скорости V и подачи S при износе резца: $h_3 = 0,20$ мм.

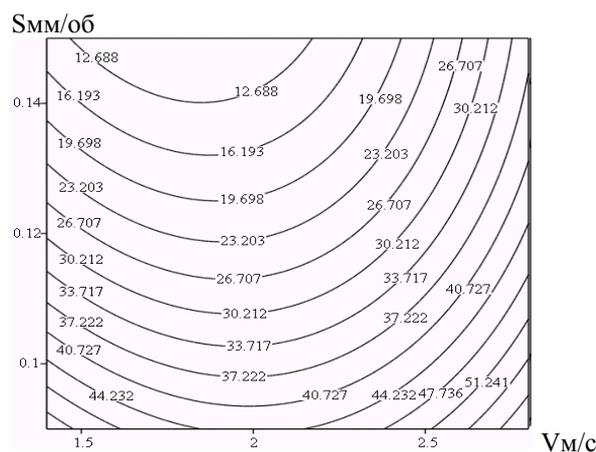


Рис. 1,б. Зависимость параметра W от скорости V и подачи S при износе резца: $h_3 = 0,40$ мм.

Исследования проводились с использованием планирования эксперимента. Для создания математической модели был выбран рототабельный план второго порядка на три фактора. При проведении опытов исследуемые параметры изменялись в следующих пределах: скорость резания V от 1,4 до 2,8 м/с, подача S от 0,09 до 0,15 мм/об, износ резца по задней поверхности h_3 от 0,03 до 0,4 мм. Влияние глубины резания не изучалось, так как ранее было установлено незначительное влияние глубины резания на параметры шероховатости, в сравнении с другими технологическими параметрами. По результатам реализации матрицы экспериментов и проведенных расчётов было получено следующее уравнение с натуральными параметрами:

$$Y_{r/R} = 186,6 - 126,8V - 1094S + 203,3h_3 + 167,1VS - 2,2Vh_3 - 2257Sh_3 + 28,2V^2 + 4605S^2 + 191,3h_3^2.$$

Результаты исследования геометрических поверхностей, соответствующих полученной математической модели методом сечений, представлены на рисунках 1,2,3.

В случае, когда не изменяется величина износа резца h_3 (рис. 1) исследуется совместное влияние на параметр W скорости резания V и величины подачи S . Характер линий уровня свидетельствует о том, что в области исследуемых величин поверхность отклика имеет вид эллиптического параболоида. Увеличение скорости резания в пределах от 1,4 до 2,8 м/с приводит в начале к уменьшению, а затем к возрастанию параметра W . Наименьшие значения получены при $V \leq 2$ м/с. Объяснить это явление очевидно можно прогрессирующим наростообразованием на резце при $V \leq 2$ м/с. При дальнейшем увеличении скорости резания, процесс самоочистки резца начинает преобладать над наростообразованием, при этом улучшаются параметры шероховатости поверхности, в том числе и параметр W . Вместе с тем следует, что влияние скорости резания на исследуемый па-

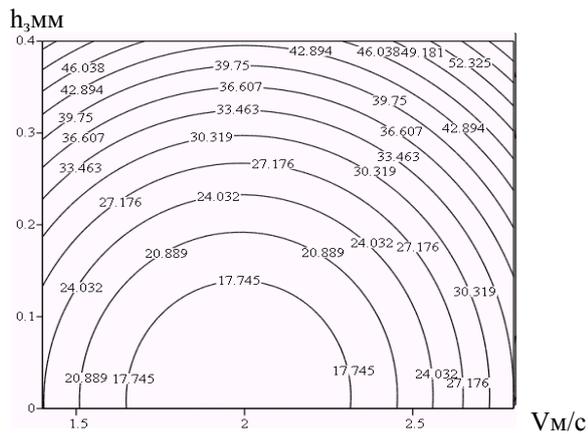


Рис. 2,а. Зависимость параметра W от скорости V и износа резца h_3 при подаче: $S=0,09$ мм/об.

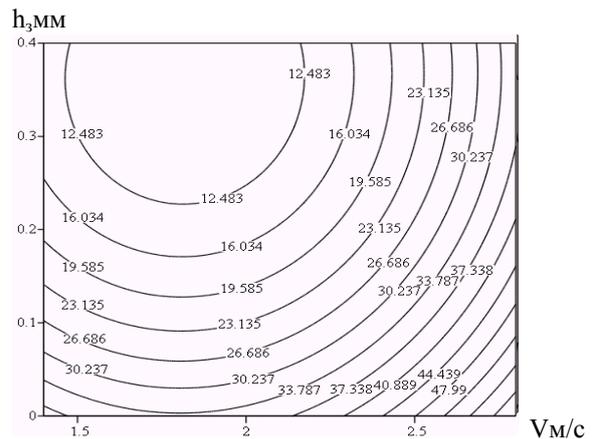
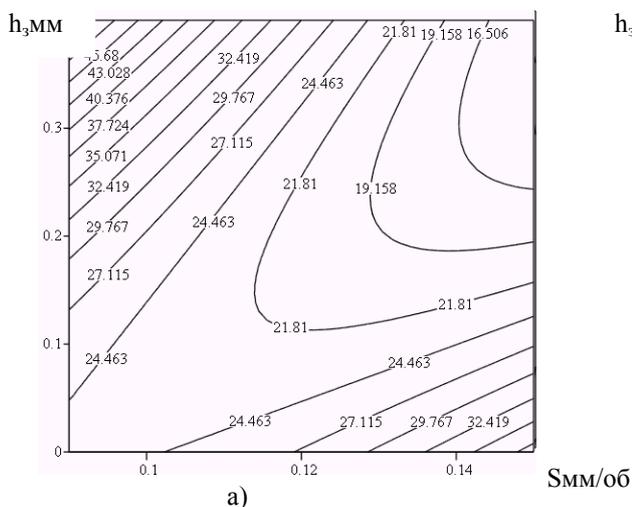


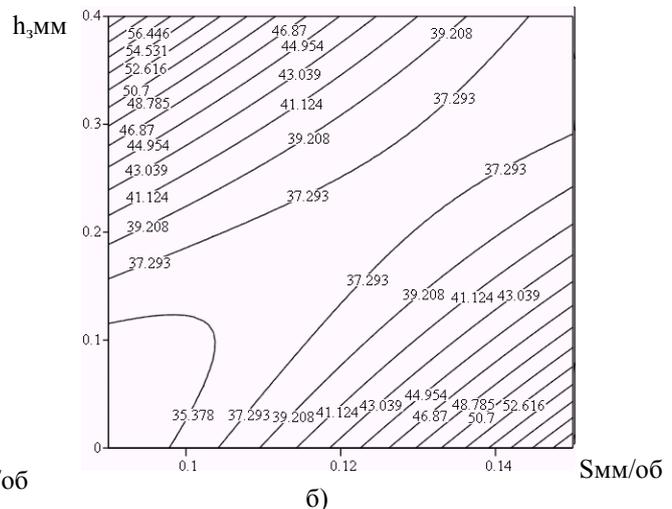
Рис.2,б. Зависимость параметра W от скорости V и износа резца h_3 при подаче: $S=0,15$ мм/об.

раметр не является существенным. Так при изменении скорости резания в 2 раза параметр W меняется не более чем в 1,4...2 раза при любых подачах.

Заметное влияние на параметр W подачи S . И хотя при небольших износах резца изменение подачи в 1,5 раза изменяет параметр W на 20...35% (Рис. 1а), при больших износах резца этот параметр изменяется в 3...6 раза (Рис. 1б). В случае, когда не меняется величина подачи S (Рис. 2) исследуется совместное влияние на параметр W величины износа резца h_3 и скорости резания V . Анализ кривых линий уровня подтвердил характер влияния скорости V на параметр W , полученный ранее (Рис. 1), а также показал, что влияние величины износа резца h_3 на параметр W подобен влиянию подачи. Область минимальных значений параметра W смещается с малых значений h_3 к большим с увеличением подачи S . Поэтому с увеличением износа резца h_3 при небольших подачах S параметр W возрастает, а при больших падает. Однако и в этих случаях нельзя отметить существенное влияние износа резца h_3 на параметр W . Так при возрастании износа резца в 4 раза (с 0,1 до 0,4мм) параметр W изменится максимум в 2,0...2,8 раза (рис. 2).



а)



б)

Рис.3. Зависимость параметра W от подачи S и износа резца h_3 при скорости резания: а) $V=1,4$ м/с; б) $V=2,5$ м/с

Более сложный характер взаимного влияния величин износа резца h_3 и подачи S на параметр W при постоянной скорости резания (Рис. 3). Поверхность отклика имеет вид гиперболического параболоида. Поэтому с возрастанием подачи, при небольших износах резца параметр W растёт, при средних почти не изменяет своей величины, а при больших износах – падает. Аналогично с возрастанием износа резца параметр W при небольших подачах растёт, при средних почти не меняет своей величины, а при больших подачах падает. Однако темпы изменения параметра W невысокие. Лучшие значения данного параметра получены при больших скоростях (рис. 3б).

Таким образом, подтверждаются результаты анализа данных по рис. 1 и рис. 2 о невозможности существенного влияния на параметр W условий резания. По данным Шнейдера Ю.Г. [9] для получения удовлетворительных значений W , гарантированно предупреждающих схватывание трущихся поверхностей этот параметр должен иметь значения на 1...2 порядка выше получаемых при точении. Такие значения параметра W невозможно

обеспечить механической обработкой резанием. Их можно получить только после специальных операций: обкатывание, виброобкатывание и выглаживание [9].

Вывод.

1. Установлено, что точение резцами с круглыми пластинами из ПСТМ, типа киборит, восстановленных наплавкой деталей обеспечивает значения нестандартного параметра шероховатости поверхности W соизмеримые со значениями этого параметра при обычном точении – в пределах 20...50. И хотя выявлено влияние условий резания на величину, степень этого влияния незначительна, а получаемое возрастание этого параметра не обеспечивает его значений, гарантирующих отсутствие схватывания трущихся поверхностей.

2. В случаях высокой опасности схватывания, например при больших удельных нагрузках, редкое включение механизма в работу с очень длительными периодами остановок и в связи с этим наличие в период пуска сухого трения необходимо обеспечить большие значения параметра W , достигающие до 1000 и более. Для достижения таких значений параметра, обеспечивающих надёжное удерживание смазки и предотвращающих схватывание трущихся поверхностей деталей сельскохозяйственных машин восстановленных наплавкой необходимо осуществление одной из дополнительных технологических операций – обкатывание, виброобкатывание или алмазное выглаживание, обеспечивающие необходимые значения параметра W .

Литература.

1. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наукова думка, 1989. –272с.
2. Клименко С.А., Муковоз Ю.А. Высокопроизводительная обработка наплавленных деталей. – Киев: Общество «Знание», 1985. –20с.
3. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – Київ: Наукова думка, 1994. –176с.
4. Коломієць В.В. Научні основи теорії обробки неоднорідних наплавлених матеріалів: Дис...д.т.н. – Київ: КПІ, 1993. – 474 с.
5. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. –208с.
6. Н.И. Жорник. Особенности формирования качества поверхности при лезвийной обработке инструментом из ПСТМ деталей из закалённых сталей //Резание и инструмент. – 1997. - №51. – с. 250-252.
7. О.А. Горленко, Е.Н. Фролов. Технологическое обеспечение стабильных параметров шероховатости при механической обработке //Вестник машиностроения. – 1995. - №1. – с. 32-34.
8. В.В. Ковалёв, Н.Л. Голего, П.Ф. Трусков. Влияние степени упрочнения и шероховатости трущихся поверхностей на их скорость изнашивания и несущую способность //Физико-химическая механика материалов. – 1972. - №3. – с. 21-26.
9. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л., «Машиностроение», - 1972. –240с.
10. Ридный Р.В. Влияние параметров процесса точения киборитом на нестандартные характеристики микрогеометрии поверхностного слоя наплавленного проволокой Нп-30ХГСА. //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск 14. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – с. 286-290.
11. Ридный Р.В. Исследование качества поверхности деталей, восстановленных наплавкой и обработанных точением. //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск 15. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – с. 174-179.
12. Ридный Р.В. Влияние условий точения наплавленных деталей на нестандартный параметр шероховатости – число выступов профиля. //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск 24. – Харків: ХДТУСГ, 2004. – с. 214-219.
13. Характеристики микрогеометрии, определяющие контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. И.В. Крагельский, Г.М. Харач, Н.Б. Дёмкин и др. –М.: Машиностроение, -1973, 30с.

УДК 621.91.001.1

КОНКУРЕНЦИЯ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Гусарев В.С., канд. техн. наук

(г. Одесса, Украина)

Competition in engineering of education.

Рыночная формула развития общества предусматривает представление потребителю товаров, продуктов и услуг соответствующего качества. Количество продуктов и услуг, присутствующих на рынке, определяется спросом и предложением, а также рыночной ценой. Их качество регламентируется соглашениями сторон и обычно зафиксированы аттестатами, сертификатами и стандартами. Продвижение производимых продуктов и услуг на различные рынки при глобализации, их производство и потребление осуществляется разными способами. Одним из самых эффективных способов рыночных отношений является конкуренция. Следствие конкуренции – организация производства продукции и обеспечение таких услуг, которые удовлетворяли бы двум условиям: высокому качеству и низкой цене. Такие продукты и услуги называют конкурентоспособными.

В настоящее время производство конкурентоспособных продуктов и услуг является прямой экономической функцией любого государства. Глобализация приводит к ожесточенной конкуренции в сфере промышленного производства, торговли, а так же в сфере культуры и спорта.

Не обходится без конкуренции сфера науки и образования. Как известно, образование имеет две функции: воспитание и обучение. Функцию воспитания (как общественное достижение) исторически наиболее четко осуществляла церковь и армия. Обучение обеспечивалось непрерывным процессом в средней и высшей школе через формирование знаний и умений у учащихся. Знания представляют своеобразный продукт, имеющий частный (приватный) характер, так как носителем его является индивидуум, но одновременно имеющий общественный характер, т. е. Принадлежит всему обществу. Государство должно выполнять функцию формирования общественного знания и гарантировать его защиту (например, авторские права).

Знания имеют ряд особенностей, которые отличают их от произведенного обществом материального продукта:

1. Знания имеют дискретный характер, так как они либо есть (1), либо их нет (0), дробными они быть не могут.
2. Знания, будучи созданными, принадлежат всему обществу (они доступны всем без исключения, было бы желание).
3. Знание – информационный продукт; после использования потребителем не исчезает, как например, материальный продукт.
4. Носителем знания является индивидуум, который оплачивает их своей квалификацией, имея определенный рыночный ресурс. Его ценность характеризуется репутацией специалиста. Формально научная квалификация определяется юридическими документами, присвоенными званиями (степенями) бакалавра, магистра, доктора наук.
5. Знания, кроме индивидуальной характеристики, имеют коллективную особенность: так как заключены в научных, вузовских коллективах. Разрушение таких коллективных знаний приносит убытки государству, обществу в миллиарды долларов.
6. Знания в обществе с рыночными отношениями измеряют по затратам на их производство. По-видимому, разные по характеру знания (и умения) имеют свою рыночную стоимость. Затраты на производство знаний, естественно, включают расходы на исследования и разработки, на высшее образование и его программное обеспечение. Значимость знаний в различной сфере общественного производства оценивается общественной полезностью и степенью практического использования. Например, по данным Организации Экономического Сотрудничества и Развития (ОЕСД) степень использования «знаний» Интернета в % от общего числа жителей по странам распределилась следующим образом.

| | | | | |
|---------|----------------------------|------------------|---------|-------------|
| США | Швеция, Норвегия, Исландия | Италия, Германия | Эстония | Франция |
| 53 | >50 | 25 | 22 | 15 |
| Испания | Польша | Россия | Украина | Таджикистан |
| 14 | 7,5 | 6,0 | 0,5 | 0,08 |

Распределение пользователей по континентам (в % от числа жителей) :

| | | |
|------------------|--------|-------------------------------|
| Северная Америка | Европа | Азиатско-Тихоокеанский регион |
| 41 | 27 | 26 |

Экономическая наука говорит нам, что затраты на обучение – получение знаний- это инвестиции в обеспечение работой, жизненным комфортом и обеспеченной старостью.

Среди ближайших целей образования, сформулированных на Болонском саммите министров образования и науки стран Европейского Союза, как раз декларировалась работа по обеспечению престижной работой специалистов, получивших образование в разных странах ЕС. Исследуя эту возможность, выяснилось, что в разных странах ЕС существуют серьезные различия в подготовке специалистов, их аттестации. Так, например, во Франции существуют 10 разновидностей дипломов о высшем образовании. В Великобритании: бакалавр, магистр, как и доктор, являются учеными степенями. В Германии степень бакалавра и магистра имеет хождение у закончивших университеты по гуманитарным наукам, а по инженерным – квалификация инженер, обучаемый прошел полный курс и сдал выпускные экзамены, и дипломированный инженер – обучаемый прошел полный курс сдал выпускные экзамены и выполнил дипломную работу, прехт.

Много различий при определении квалификации специалистов в других странах. Существенно различаются программы подготовки и определения рейтинговой (оценочной) характеристики выпускников ВУЗов. Например во Франции принято 20-ти бальная система оценки знаний, в Англии 100 бальная, а в странах Восточной

Европы – 5-ти балльная. Собственно все эти соображения привели к принятию так называемой Болонской декларации, подписанной 19 июня 1999 года представителями департаментов образования стран ЕС.

Прошло пять лет, и вдруг наступил «бум присоединения» разных стран, не входящих в ЕС, к Болонскому образовательному процессу. К таким странам в первую очередь относятся страны СНГ: Казахстан, Киргизия, Россия, Украина и ряд Закавказских республик. Чем же объясняют законодатели и правительственные чиновники желание присоединиться к образовательным стандартам ЕС? Прежде всего заботой о выпускниках ВУЗов с целью нострификации их дипломов и аттестатов в странах Европы. Как известно, в настоящее время они там не признаны. Естественно, такая забота о своих гражданах, получивших высшее образование в странах СНГ, заслуживает одобрения. Однако, высказываются опасения, что стандартизация программ, оценочных характеристик и т. п. потребует значительных вложений в сферу образования, иначе перестроить систему в 1,2,3 года просто не возможно.

Нынешние государственные вложения (расходы) на образование сопоставим с затратами в высокотехнологические отрасли промышленности и телекоммуникации [4].

Вклад отраслей повышенного спроса в знания в % ВВП

| Страна | Высокотехнол. отрасли | Телекоммуникации | Образование и здравоохранение |
|--------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|
| США | 8,5 | 3,4 | 11,6 |
| Франция | 10,7 | 1,9 | 11,7 |
| Германия | 11,7 | 2,4 | 10,3 |
| Италия | 7,2 | 2,1 | 9,5 |
| Испания | 6,4 | 2,7 | 10,1 |
| Португалия | 4,4 | 2,9 | 11,9 |
| Великобритания | 8,1 | 2,8 | 11,6 |
| Страны ЕС ¹ | 8,4 | 2,4 | 10,9 |
| Россия | 5,0 | 1,6 | 5,0 |
| Страны ОЕСД ² | 8,8 | 2,7 | - |

1. ЕС – данные по 15-ти странам, без 10 новых.
2. В ОЕСД – входят 30 стран, от Австралии до Японии, без стран СНГ и развивающихся стран Азии и Африки.

Приведенные данные говорят о том, что суммарный вклад в отрасли повышенного спроса примерно равен затратам на общегосударственные образовательные проблемы. Эти данные сохраняют свое значение и для стран СНГ. Естественно, если наиболее мощная в экономическом отношении страна – Россия – тратит 5% своего ВВП на поддержку образования, то другие страны СНГ имеют более низкие возможности.

Однако, существуют значительные преимущества, получаемые Украиной и Россией от присоединения к Европейским стандартам образования. Это преимущество заключено в высокой конкурентоспособности образования, получаемого в Украине и России. Напомним, конкурентоспособный продукт – высокое качество и низкая цена. Переход на Европейские стандарты образования – это гарантия высокого качества, как следствие признание аттестатов и дипломов этих стран в ЕС. Качество образования обеспечивается научными и педагогическими кадрами высокой квалификации, которыми располагают Украина и Россия. Подтверждением этого тезиса может служить, то что Аттестационная комиссия Минобразования Украины утвердила в звании «профессор» [5]: в 2001 – 850, в 2002 – 829, в 2003 – 664 человека. Учитывая большое число профессорских кадров в ВУЗах Украины, первая часть требований, обеспечивающих конкурентоспособность образования, будет выполнена без больших затрат.

Вторая часть – низкая цена обеспечивается как бы сама собой, за счет низких ставок оплаты на прохождение курса обучения. Характерно, что коммерческая (контрактная) стоимость годового курса обучения по странам мирового сообщества сопоставима с ВВП соответствующей страны. Ниже приводятся данные ВЭФ (Всемирного Экономического Форума) на 2000 год; данные в долларах США, место страны рассчитано по 145 показателям [7]

Анализ данных позволяет сделать вывод, что коммерческая цена образования в Украине самая низкая из условно взятых 59 стран мира, а поэтому само образование весьма конкурентоспособно.

Данные ВЭФ (Всемирный Экономический Форум)
Место по 145 критериям

| Страна | ВВП | Место (из 59 стран) |
|----------------|-------|---------------------|
| США | 33934 | 1 |
| Люксембург | 44206 | 3 |
| Финляндия | 25633 | 6 |
| Великобритания | 24633 | 9 |
| Швейцария | 36254 | 10 |
| Германия | 25782 | 15 |
| Израиль | 15584 | 19 |
| Япония | 34402 | 21 |
| Франция | 24594 | 22 |
| Италия | 20734 | 30 |
| Чехия | 5181 | 32 |
| Польша | 3978 | 35 |
| Турция | 2890 | 40 |
| Китай | 791 | 41 |
| Россия | 1240 | 55 |
| Украина | 628 | 57 |

Конкурентоспособное образование украинских ВУЗов обеспечит приток обучаемых из многих стран, и естественно, не только из развивающихся. Приток обучаемых из разных стран мира поможет снизить ценовое давление образования на граждан Украины.

Естественно, этими соображениями не исчерпываются возможности конкуренции с лучшими ВУЗами стран мира. Однако, бесспорно существуют положительные стороны этой ситуации.

Литература

1. Портер Майкл Э. Конкуренция/ пер. с англ., М. Вильямс; 2001, -495 с.
2. Марков В.Л. Экономика знаний, уроки для России / Наука и жизнь, № 5, 2003, с. 26-30.
3. Бондаренко С. Цифровое неравенство. /Наука и жизнь № 6, 2001,с.55-63.
4. Воронов А. Конкурентоспособность промышленной продукции / Стандарты и качество, № 5, 2003, с. 59-65.
5. Рік посиленої уваги до науки та освіти /Одеський політехнік, № 1 (2 березня), 2004, с.4-5.
6. Гребнев Л.С. Высшее образование в Болонском измерении./ Высшее образование России, № 1, 2004, с. 36- 42.
7. Фахтудинов И.Р. Конкурентоспособность и качество жизни/ Стандарты и качество, №5,2003,с.70-73.
8. Болонская декларация. Joint Declaration of the Ministers of Education. Convened in Bolonia of the 19 of June 1999.

УДК 621. 923

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Краснощек Ю.С., канд, техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The results of researches of surface microstructures fused by powder materials are given. The causes of their low workability are founded. The optimal conditions of blade and abrasive treatment of reconstituted surfaces are determined.

Изношенные в процессе эксплуатации детали машин могут быть восстановлены различными способами, что в значительной мере экономит трудовые и материальные ресурсы. Наплавка износостойкими покрытиями позволяет довести ресурс работы восстановленных деталей до ресурса, установленного заводами-изготовителями.

Для деталей, работающих в условиях высоких температур, давлений и трения, весьма перспективными наплавочными материалами являются порошки марок ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-02, ПГ-10Н-03,

ПГ-10Н-04 и др. Указанные выше порошки имеют следующий химический состав 14-20 % хрома; 2,8-4,2 % бора; 2,3-4,5 % кремния; 2,7 % железа; 0,2-1,8 % углерода; остальное никель.

Объектом исследований были наплавленные порошком ПГ-10Н-01 поверхности клапанов и стаканов выжимного подшипника муфты сцепления двигателей СМД-60. Металлографический анализ наплавленных поверхностей показал отсутствие пор, неметаллических включений и нарушений сплошности материала в переходной зоне. Кроме того, с учетом химического состава было установлено, что наплавленный материал является жаропрочным сплавом на никелевой основе и относится к дисперсионно-твердеющим сплавам [1].

Восстановленные поверхности с использованием порошковых материалов обладают низкой обрабатываемостью при лезвийной обработке твердосплавным инструментом и абразивной обработке традиционными шлифующими материалами. Для установления причин низкой обрабатываемости наплавленных поверхностей был проведен анализ износа твердосплавного инструмента. В процессе резания инструмент одновременно подвергается действию различных видов износа.

Точение сталей и сплавов с повышенным содержанием никеля сопровождается адгезионным износом, который заключается в отрыве силами адгезии мельчайших частиц инструментального материала при трении инструмента с обрабатываемым материалом [2]. Адгезии благоприятствуют высокие давления, непрерывное движение ювенильных поверхностей обрабатываемого материала относительно поверхностей резца.

В процессе обработки твердыми сплавами наплавленной поверхности в зоне резания возникают высокие температуры и большие пластические деформации, которые способствуют взаимной диффузии инструментального и обрабатываемого материалов. В результате перепада концентраций компонентов инструментального и обрабатываемого материалов (углерода, никеля, кремния и железа) процесс взаимного растворения протекает непрерывно в течение всего периода резания; стружка и обрабатываемый материал уносят материал инструмента.

При обработке наплавленных поверхностей наблюдается также абразивный износ инструмента. Механизм абразивного износа заключается в том, что карбиды хрома, бора, железа и другие твердые дисперсионные частицы внедряются в контактные поверхности инструмента и при движении изнашивают его.

Высокая интенсивность перечисленных выше видов износа практически не позволяет вести обработку наплавленных поверхностей твердосплавным инструментом. Для лезвийной обработки восстановленных порошковыми материалами поверхностей целесообразно применение сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора, так как он обладает повышенной теплостойкостью и химической инертностью к железистоуглеродистым сплавам. Проведенный комплекс исследований позволил установить оптимальные технологические параметры обработки наплавленных поверхностей резцами из гексанита-Р (табл. 1). За критерий износа принимали износ резцов по задней поверхности, равный 0,2 мм. Стойкость резцов при этом составляла примерно 60 мин. Токарная обработка резцами из гексанита-Р дает возможность получения необходимой точности и шероховатости, что позволяет в ряде случаев исключить абразивную обработку.

Обрабатываемость дисперсионно-твердеющих сплавов на хромоникелевой основе обычно улучшается в результате закалки, которая снижает действительный предел прочности при переходе в твердый раствор выделившихся интерметаллических соединений [2]. Для определения зависимости обрабатываемости наплавленных поверхностей от структуры наплавленного металла восстановленные детали сразу после наплавки охлаждали в различных средах — на воздухе, в масле, в воде. Ускоренное охлаждение наплавленного слоя в масле и особенно в воде способствует улучшению его обрабатываемости резанием. Так при обработке наплавленных поверхностей, охлажденных в воде, по сравнению с охлажденными на воздухе, резцами из гексанита-Р стойкость увеличивается примерно в 1,5 раза.

Таблица 1

| Характер точения | Геометрия режущей части резцов, град | | | | | | Режимы резания | | | |
|------------------|--------------------------------------|----|----|----|----|---|----------------|----------------|----------------|-------------|
| | | | | | | | r | V , м/мин | S , мм/об | t , мм |
| Черновое | -10 | 12 | 15 | 45 | 15 | 0 | 0,75 | 30 | 0,1-0,2 | 0,5-1,0 |
| Чистовое | -4 | 15 | 15 | 45 | 15 | 0 | 0,50 | 40 | 0,07 | 0,2 |

Для абразивной обработки наплавленных поверхностей клапанов был применен процесс алмазно-искрового шлифования. При этом произвели модернизацию круглошлифовального станка мод. ЗА130. Шлифовали кругами 1А1 АС6 125/100 М1 с охлаждением 3 %-м содовым раствором. Дополнительную энергию в зону обработки вводили от трансформатора через выпрямитель, в качестве анода принят алмазный круг, а катода — деталь. Были определены оптимальные режимы чернового и чистового шлифования (табл. 2).

Следует отметить, что производительность, себестоимость и качество поверхностного слоя наплавленных клапанов при алмазно-искровом шлифовании и токарной обработке находятся примерно на одном уровне. Однако, достижение необходимой точности на токарных станках связано с определенными трудностями — наблюдается повышенное радиальное биение наружной поверхности, поэтому нужны станки повышенной точности.

Необходимо также учитывать, что при алмазно-искровом шлифовании различные виды термической обработки наплавленных поверхностей практически не влияют на работоспособность кругов.

Таблица 2

| Шлифование | Режимы шлифования | | | Дополнительная энергия единичных разрядов Э, Дж |
|------------|-------------------|-------------|-------------------------|--|
| | V, м/с | t, мм | S _{нр} , м/мин | |
| Черновое | 20-25 | 0,01-0,05 | 1,00-3,00 | 0,01-0,1 |
| Чистовое | 25-30 | 0,004-0,008 | 0,25-1,00 | 0,002-0,01 |

Таким образом, наиболее рациональным методом обработки поверхностей, восстановленных порошковыми материалами, следует считать алмазно-искровое шлифование.

Литература

1. Гуляев А.П. Металловедение. – М. 1986, 544 с.
2. Развитие науки о резании металлов / Под ред. Н.Н. Зорева/ - М. 1967, 416 с.

УДК 621.6

РЕИНЖИНИРИНГ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Шелковой А.Н., канд. техн. наук, Рузметов А.Р.

(г. Харьков, Украина)

General premise's reengineering production systems of machine building and certain principles of his building are considered in article.

Как научно-практическое направление, реинжиниринг бизнес-процессов впервые появился в США и за несколько лет превратился в одну из ведущих и активно развивающихся отраслей информатики. Сегодня начинается продвижение консалтинговых услуг и инструментариев по реинжинирингу и на украинский рынок.

Отечественная практика применения реинжиниринга показала, что этот метод необходим, особенно в условиях проведения глобальной экономической реформы и активного внедрения Украины в мировую экономическую систему. В условиях специфики украинской экономики существует три основных варианта позитивного принятия решения по проведению реинжиниринга предприятия:

- запланированное расширение предприятия;
- сочетание сложности, объемности и гибкости производства;
- усиление неких противоречий в организационной структуре предприятия.

Впервые термин "реинжиниринг бизнес-процессов" (от англ. *business process reengineering, BPR*) был введен М. Хаммером [1], который определяет этот вид деятельности как "фундаментальное перепроектирование бизнес-процессов компаний для достижения коренных улучшений в основных актуальных показателях их деятельности: стоимость, качество, услуги и темпы".

Предпосылки создания реинжиниринга: 70-ые годы – появление термина Total Quality Management (TQM) в Японии. 80-90-ые – стандарты IDEF и Business Process Reengineering (BPR) уже в Америке. 60-ые – по сей день – бурное развитие компьютерной техники. Ближе к 80-м – компьютерные технологии «перекрашиваются» в информационные.

В западном мире реинжиниринг приобретает все большую и большую популярность. Так, компании США затратили на проекты по реинжинирингу бизнес - процессов в 1994 году около 37 млрд. долларов. В течение ближайших лет рост затрат на решение этих задач ожидается на уровне 19% в год. За последние полтора года правительство США инициировало более 250 проектов по реинжинирингу, а сегодняшний рынок инструментальных средств поддержки BPR оценивается более чем в 100 млн. долларов и растет со скоростью около 60% в год.

По результатам опроса, проведенного *Emst & Young* среди финансовых директоров 80-ти крупнейших компаний США, основной мотивацией проведения реинжиниринга было улучшение сервиса и качества продукции (услуг), а также снижение расходов.

BPR является направлением, возникшим на стыке двух различных сфер деятельности - управления (менеджмента) и информатизации. Именно поэтому реинжиниринг требует новых специфических средств представления и обработки проблемной информации, понятных как менеджерам, так и разработчикам информационных систем. Подобные средства требуют интеграции ключевых достижений информационных технологий и создания соответствующих инструментальных средств поддержки реинжиниринга.

М. Хаммер [2 – 4] рассматривает BPR как революцию в бизнесе, которая знаменует отход от базовых принципов построения предприятий и превращает конструирование бизнеса в инженерную деятельность.

BPR - это не просто модная тенденция, а следствие жесточайшей конкурентной борьбы, которая требует внедрения наукоемких инновационных технологий как средств повышения производительности и эффективно-

сти деятельности предприятия.

Одной из основных особенностей *BPR* является ориентация реинжиниринга не на функции, а на процессы. Причем из всех концепций менеджмента, основанных на процессах, *BPR* рассматривается как наиболее эффективная, революционность, которой обусловлена современным состоянием информационных технологий.

Реинжиниринг основан на концепции прерывистого мышления — отыскании устаревших правил и фундаментальных допущений, на которых строится работа, и решительном разрыве с ними.

Чаще всего мы организовывали работу в виде последовательности не связанных друг с другом задач и создавали сложные механизмы контроля за ходом работы.

Структура обычного процесса фрагментирована и раздроблена, в ней отсутствует интеграция, необходимая для поддержания качества и организации обслуживания. В результате люди начинают подменять задачи процесса узко определенными целями своих отделов, как будто глядя на мир из туннеля. Когда работа передается от человека к человеку и из одного подразделения в другое, неизбежны ошибки и задержки. Размываются границы ответственности, и теряются наиболее важные вопросы. Более того, никто не видит ситуацию в целом достаточно хорошо для того, чтобы быстро отвечать на изменения в ней.

Реинжиниринг бизнес-процессов ориентирован на коренную перестройку всей деятельности предприятия, а не на частичные изменения в той или иной сфере управления.

Существует три стороны пирамиды сущностей «реинжиниринга» [5].

Общественно-историческая сущность реинжиниринга бизнес-процессов заключена в замене устаревших капиталистических форм управления предприятием и направлена на вытеснение старых общественных взаимоотношений, основанных на наемном труде, в пользу различных форм совладения предприятием. «Устарелость» форм управления в данном случае выражается не в качественном их наполнении, а в получении дополнительных свойств, обеспечивающих возможности роста предприятия и гибкость систем управления.

Логическая суть инжиниринга заключена в попытке нахождения оптимального алгоритма работы для любого бизнес-процесса на основе анализа и структуризации входной информации и перепроектирования выходных форм, а так же в переводе программы управления предприятием из командо-последовательного (неструктурированного) состояния в структурированную форму с использованием в ее проектировании методик информационных технологий (*ИТ*).

Физическая сущность «реинжиниринга» заключена в инкапсуляции различных бизнес-процессов в теле предприятия, с организацией возможности выстраивания их в параллельных плоскостях на основе собственной оптимизацией. Реинжиниринг физически расчленяет единое тело предприятия на самостоятельно функционирующие участки, требующие принятия решений лишь при изменении параметров на входе и выходе процессов.

С формальной стороны, учитывая, что отсутствие гибкости и возможности расширения предприятия являются определенными противоречиями (внешними) для существования данной системы, а также наличие на текущий момент накопленного груза внутренних противоречий, можно сказать, что методика реинжиниринга позволяет ликвидировать основную массу этих противоречий.

Фактически, решая уже указанные проблемы гибкости и наращивания производства, реинжиниринг бизнес-процессов позволяет перевести нам структуру предприятия в аналог некоего конструктора, манипуляции, с объектами которого решают подобные проблемы (уже после проведенного реинжиниринга) без существенного изменения (увеличения) управленческого аппарата и сохранения логики управления предприятием.

Поскольку *BPR* оперирует с такими понятиями, как бизнес - процесс, бизнес - система, деловая процедура, то в целях более четкого восприятия этих терминов следует дать следующие определения.

Бизнес - система - это связанное множество бизнес - процессов, конечной целью, которой является выпуск продукции. Под продукцией, понимают товары, услуги и документы.

Бизнес-процесс - это горизонтальная иерархия внутренних и зависимых между собой функциональных действий, конечной целью которых является выпуск продукции или отдельных ее компонентов.

Деловая процедура - это функция, задача, цепь событий, происходящих в течение определенного промежутка времени и обладающих познаваемым результатом.

Существуют следующие категории бизнес-процессов:

- процессы, непосредственно обеспечивающие выпуск продукции;
- процессы планирования и управления;
- ресурсные процессы;
- процессы преобразования.

Бизнес-процесс характеризуется:

- существующей технологией реализации бизнес-процесса;
- существующей структурой бизнес-системы;
- средствами автоматизации, оборудованием, механизмами и т.п., обеспечивающими реализацию процесса.

Основными показателями оценки эффективности бизнес-процессов являются:

- количество производимой продукции заданного качества, оплаченное за определенный интервал времени;
- количество потребителей продукции;

- количество типовых операций, которые необходимо выполнить при производстве продукции за определенный интервал времени;
- стоимость издержек производства продукции;
- длительность выполнения типовых операций;
- капиталовложения в производство продукции.

Перечислим базовые принципы, положенные в основу реинжиниринга бизнес-процессов:

- несколько рабочих процедур объединяются в одну, т. е. происходит горизонтальное сжатие процесса (по имеющимся оценкам, горизонтальное сжатие ускоряет выполнение процесса примерно в 10 раз);
- исполнители принимают самостоятельные решения, т. е. осуществляется не только горизонтальное, но и вертикальное сжатие процессов (наделение сотрудников большими полномочиями и увеличение роли каждого из них приводит к значительному повышению их отдачи);
- шаги процесса выполняются в естественном порядке;
- процессы имеют различные варианты исполнения (тот или иной вариант выбирается в зависимости от конкретной ситуации, состояния и т.д.);
- работа выполняется в том месте (подразделении, отделе), где это целесообразно (устраняется излишняя интеграция, что приводит к повышению эффективности процесса в целом);
- уменьшается количество проверок и управляющих воздействий;
- минимизируется количество согласований путем сокращения внешних точек контакта;
- единая точка контакта обеспечивается уполномоченным менеджером (в тех случаях, когда шаги процесса либо сложны, либо распределены таким образом, что их не удастся объединить силами небольшой команды).

Цель реинжиниринга — значительное улучшение. Он должен быть свободен от тривиальности и границ между подразделениями, его объем должен быть широким и кросс-функциональным. Он должен использовать информационную технологию не для автоматизации существующего процесса, но для создания нового на его месте.

При проведении реинжиниринга необходимо рассмотреть основополагающие процессы с кросс-функциональной точки зрения.

Один из способов добиться кросс-функциональности — создать рабочую группу из представителей всех функциональных подразделений, участвующих в реорганизуемом процессе или зависящих от его результатов. Рабочая группа должна критически проанализировать существующий процесс и точно выяснить, каков его желательный результат.

Создание новых правил, приемлемых в текущей ситуации, начинается с новой концепции бизнес-процесса — проще говоря, с чьей-то новой отличной идеи. Однако реинжиниринг не должен быть хаотичным. Некоторые принципы уже выявлены практической работой ряда компаний и могут помочь в работе и другим:

- Организовывайте достижение результата, а не выполнение задачи.
- Поручите исполнение процесса тем, кто использует его результат.
- Включайте обработку информации в реальную работу, которая генерирует эту информацию.
- Считайте географически разпыленные ресурсы централизованными.
- Связывайте параллельные работы вместо интеграции их результатов. Новый принцип рекомендует создавать связи между параллельными функциями и координировать соответствующие действия в процессе их совершения, а не по окончании.
- Помещайте точку принятия решения туда, где делается работа, и встраивайте контроль в процесс. Новый принцип подсказывает, что именно люди, исполняющие работу, должны принимать решения, а сам процесс должен иметь встроенный в него механизм контроля. Число слоев в пирамиде управления, таким образом, можно уменьшить, а организацию сделать более плоской.
- Фиксируйте информацию один раз — у источника.

Методика инжиниринга позволяет нам рассматривать деятельность любого предприятия в программно-алгоритмической сущности, выделяя отдельные бизнес-процессы в командные «процедуры» и «функции». Т.е. деятельность любой организации представляется в виде «программы» со своей входной и выходной информацией.

Таким образом, можно сказать, что «инжиниринг» бизнес-процессов есть форма представления деятельности предприятия в виде алгоритмических схем, имеющая цель представления инструмента для возможности анализа всех его структур и видов деятельности (данные и код программы). Тогда как «реинжиниринг» - это как некий процесс «декомпиляции программы» в попытке произвести усовершенствование первичной деятельности.

Литература

1. Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate by Michael Hammer. // *Harvard Business Review*, July—August 1990.
2. Michael Hammer, James Champy, Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution.
3. Michael Hammer, Steven A. Stanton, The Reengineering Revolution: A Handbook.
4. Michael Hammer, Beyond Reengineering.
5. Мансур Гиматов http://www.executive.ru/print/publications/aspects/article_1601.

УДК 621.923

ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ СИЛОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Ткаченко В.П.

(г. Харьков, Украина)

In work results of theoretical researches of force and temperatures of cutting are resulted at grinding

Выбор оптимальных режимов шлифования, обеспечивающих снижение силовой и тепловой напряженности процесса без уменьшения производительности обработки является важной задачей как в научном, так и в практическом отношении. Поэтому в данной работе на основе полученных аналитических зависимостей (подтвержденных экспериментально) произведен расчет и анализ силы и температуры резания при шлифовании, обоснованы основные условия их уменьшения.

Первоначально проведем анализ силовой напряженности процесса шлифования. Для этого воспользуемся зависимостью для определения тангенциальной составляющей силы резания P_z [1]:

$$P_z = \sigma \cdot S_{\text{мгн}} \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Па; $S_{\text{мгн}} = Q/V_{\text{кр}}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающим зернами круга, м²; $Q = B \cdot V_{\text{дет}} \cdot t$ – производительность обработки при шлифовании периферией круга, м³/с; $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, м/с; B – ширина шлифования, м; $V_{\text{дет}}$ – скорость детали, м/с; t – глубина шлифования, м.

Условное напряжение резания σ определяется [1]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot HV}{(1 - \eta)}}, \quad (2)$$

где γ – половина угла при вершине конусообразного зерна; $\sigma_{\text{сж}}, HV$ – соответственно предел прочности на сжатие и твердость обрабатываемого материала, Па; η – безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления режущих зерен, изменяется в пределах 0...1 ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна); $\eta = x/H$, где x – величина линейного износа конусообразного зерна, м; H – условная максимальная глубина внедрения режущего зерна в обрабатываемый материал, отсчитывая ее от вершины исходного неизношенного максимально выступающего над уровнем связки зерна (рис. 1).

Параметр H для плоского шлифования определяется зависимостью, приведенной в работе [1]:

$$H = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot V_{\text{дет}}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}} (1 - \eta)}} \cdot \sqrt{\frac{t}{R_{\text{кр}}}}, \quad (3)$$

где \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация алмазного круга; $R_{\text{кр}}$ – радиус круга, м.

Преобразуем зависимость (3)

$$H = \frac{H_0}{\sqrt[3]{1 - \eta}}, \quad (4)$$

где $H_0 = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot V_{\text{дет}}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}}} \cdot \sqrt{\frac{t}{R_{\text{кр}}}}$ – максимальная толщина среза при $\eta = 0$.

С учетом $H = x/\eta$ зависимость (4) выразится

$$\frac{\eta^3}{(1 - \eta)} = \left(\frac{x}{H_0} \right)^3. \quad (5)$$

Характер изменения коэффициента η от $\alpha = x/H_0$, исходя из зависимости (5), показан графически на рис 2. При $\alpha = 0$ коэффициент $\eta = 0$, при $\alpha \rightarrow \infty$ коэффициент $\eta \rightarrow 2$. В табл. 1 приведены расчетные значения η в зависимости от α .

Таблица 1

Расчетные значения коэффициента η

| | | | | | | | |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|
| α^3 | 0 | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| α | 0 | 0,47 | 0,63 | 0,79 | 1,0 | 1,25 | 1,45 |
| η | 0 | 0,4 | 0,5 | 0,59 | 0,68 | 0,78 | 0,83 |

В табл. 2 приведены расчетные значения аппроксимирующей функции $\eta = 1 - e^{-\alpha}$.

Таблица 2

| Расчетные значения η | | | | | | |
|---------------------------|---|------|------|------|------|------|
| α | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| η | 0 | 0,39 | 0,63 | 0,78 | 0,86 | 0,95 |

Как видим, расчетные значения коэффициента η , приведенные в табл. 1 и табл. 2, близки, то есть в первом приближении функцию $\eta = 1 - e^{-\alpha}$ можно рассматривать как аппроксимирующую.

Подставим функцию $\eta = 1 - e^{-\alpha}$ в зависимость (2):

$$o = \sqrt{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot o_{\text{сж}} \cdot HV \cdot e^{\alpha}}, \quad (6)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{x}{H_0} = \left(\frac{x}{\bar{X}} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}}{630 \cdot \pi \cdot V_{\text{дем}}}} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{кр}}}{t}}.$$

Условное напряжение резания o тем меньше, чем меньше параметр α . Уменьшить α можно уменьшением соотношения (x/\bar{X}) , параметров $m, V_{\text{кр}}, R_{\text{кр}}$ и увеличением $V_{\text{дем}}$ и t , то есть производительности обработки $Q = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t$.

С учетом зависимости (6) тангенциальная составляющая силы резания P_z определяется

$$P_z = \sqrt{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot o_{\text{сж}} \cdot HV \cdot e^{\alpha}} \cdot \frac{Q}{V_{\text{кр}}}. \quad (7)$$

Параметр α представим

$$\alpha = \left(\frac{x}{\bar{X}} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}}{630 \cdot \pi \cdot V_{\text{дем}}}} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{кр}}}{t}}. \quad (8)$$

Производительность обработки Q неоднозначно влияет на силу P_z . За счет множителя $Q/V_{\text{кр}}$ она увеличивается, а за счет функции $e^{-\alpha}$ – уменьшается. Определим условия экстремума силы P_z , для чего продифференцируем P_z по Q и производную приравняем к нулю. В результате расчетов установлено экстремальное значение $\alpha = 6$. Вторая производная функции P_z от Q в экстремальной точке $\alpha = 6$ положительна, следовательно, имеет место минимум функции P_z , рис. 3. Экстремум P_z достигается при весьма больших значениях α и $\eta \rightarrow 1$ и весьма малых значениях производительности обработки Q . Как правило, при $\eta \rightarrow 1$ ($\alpha \geq 6$) процесс резания неосуществим в связи с неблагоприятным соотношением a_z/ρ (где a_z – толщина среза, ρ – радиус округления режущей кромки зерна). Следовательно, для реальных условий обработки ($0 < \alpha < 6$) сила резания P_z с увеличением α и η должна уменьшаться, а с увеличением Q – увеличиваться. На рис. 3 диапазон изменения $0 < \alpha < 6$ показан сплошной линией, а диапазон $\alpha > 6$ – пунктирной.

Таким образом, преобладающим в зависимости (7) является множитель $Q/V_{\text{кр}}$ и сила резания P_z с увеличением Q увеличивается. Уменьшить P_z без изменения производительности обработки Q можно в первую очередь уменьшением скорости круга $V_{\text{кр}}$, которая входит в (7) с наибольшей степенью. Уменьшить P_z также можно уменьшением соотношения (x/\bar{X}) и параметров $m, B, R_{\text{кр}}, t$. Уменьшение глубины шлифования $t = Q/(B \cdot V_{\text{дем}})$ предполагает увеличение скорости детали, то есть эффективно применение многопроходного шлифования.

Сила резания P_z , исходя из зависимости (7), тем меньше, чем меньше прочность $\sigma_{\text{сж}}$ и твердость HV обрабатываемого материала.

Рассмотрим условия снижения теплонапряженности процесса шлифования. Для расчета температуры резания при шлифовании воспользуемся аналитической зависимостью, приведенной в работе [2]:

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{\lambda \cdot c \cdot \rho}}, \quad (9)$$

где $q = P_z \cdot V_{\text{кр}} / F$ – плотность теплового потока, характеризующего количество теплоты, проходящей через единицу поверхности обрабатываемой детали в единицу времени, Вт/м²; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $V_{\text{кр}}$ – скорость шлифовального круга, м/с; $F = B \cdot l$ – площадь контакта круга с обрабатываемым материалом, м²; B – ширина шлифования, м; l – длина контакта круга с обрабатываемым материалом, м; $\tau = l / V_{\text{дем}}$ – время контакта фиксированной точки на поверхности обрабатываемой детали с кругом, с;

$V_{\text{дем}}$ – скорость детали, м/с; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

После преобразований зависимость (9) примет вид

$$\theta = \frac{\sigma \cdot Q}{B} \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda \cdot c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{l \cdot V_{\text{дем}}}} \quad (10)$$

Для заданных значений Q и B уменьшить температуру резания θ можно уменьшением условного напряжения резания σ и увеличением параметров l и $V_{\text{дем}}$. Для плоского шлифования торцом круга параметр l равен ширине рабочей части круга, а для плоского шлифования периферией круга $l = \sqrt{2t \cdot R_{\text{кр}}}$, где $R_{\text{кр}}$ – радиус круга, м. В первом случае параметр l не связан с производительностью обработки Q , а определяется конструкцией круга. Во втором случае параметр l зависит от глубины шлифования t , а следовательно, от производительности обработки $Q = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t$.

Из этого можно заключить, что шлифование торцом круга является более универсальным методом регулирования температуры резания θ .

Увеличивая параметр l , можно существенно уменьшить θ без уменьшения производительности обработки Q .

При шлифовании периферией круга увеличение l с точки зрения уменьшения температуры резания θ нецелесообразно, так как это ведет к увеличению глубины шлифования t и производительности Q , которые входят в зависимость для расчета θ . Эффективно в этом случае параметр l уменьшать (за счет уменьшения t), а $V_{\text{дем}}$ – увеличивать, сохраняя постоянной $Q = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t$.

Для схемы плоского шлифования периферией круга $l = \sqrt{2t \cdot R_{\text{кр}}}$, где $R_{\text{кр}}$ – радиус круга, с учетом зависимости (7), температура резания определяется

$$\theta = \sqrt{\frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot HV \cdot e^{\alpha}}{\lambda \cdot c \cdot \rho}} \cdot \frac{Q}{B} \cdot \sqrt{\frac{2t}{R_{\text{кр}}}} \quad (11)$$

Как и в зависимости (7), производительность обработки Q неоднозначно влияет на θ . Для определения условия экстремума функции θ про дифференцируем θ по Q и производную приравняем к нулю. Расчетами установлено, что минимум функции θ достигается при $\alpha = 3$ (рис. 4). При $\alpha = 3$ коэффициент $\eta = 0,95$. При таких больших значениях η процесс резания практически неосуществим. Следовательно, в качестве рабочего диапазона необходимо рассматривать $\alpha < 3$ и $\eta < 0,95$, то есть правую ветвь экстремальной зависимости $\theta - Q$, согласно которой с увеличением Q температура резания θ непрерывно увеличивается. С учетом этого, уменьшить температуру θ при $Q = \text{const}$ в соответствии с зависимостью (11) можно уменьшением глубины шлифования t , параметра α и увеличением радиуса круга $R_{\text{кр}}$.

Уменьшить α согласно (8) можно уменьшением соотношения (x / \bar{X}) и параметров $m, V_{\text{кр}}, R_{\text{кр}}, t$. Как видим, радиус круга неоднозначно влияет на θ . Учитывая преобладающую роль множителя $\sqrt{2t / R_{\text{кр}}}$ в зависимости (11) по сравнению с функцией e^{α} , температура резания θ с увеличением $R_{\text{кр}}$ будет уменьшаться, то есть эффективно увеличить $R_{\text{кр}}$.

Скорость детали $V_{\text{дем}} = Q / (B \cdot t)$ также необходимо увеличить в связи с уменьшением глубины шлифования t .

При относительно небольших значениях параметров $\sigma_{\text{сж}}, HV$ и увеличенных значениях λ, c, ρ возможно применение глубинного шлифования, основанного на увеличении глубины шлифования t до величины снимаемого припуска. Для этого необходимо увеличить радиус круга $R_{\text{кр}}$ и использовать в качестве абразивных материалов синтетические сверхтвердые материалы, обеспечивающие уменьшение угла γ и параметра α за счет уменьшения величины x .

При плоском шлифовании торцом круга температура резания θ описывается зависимостью

$$\theta = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot HV \cdot e^{\alpha} \cdot t}{\lambda \cdot c \cdot \rho}} \cdot \frac{Q}{B \cdot b} \quad (12)$$

где B – ширина рабочей части торцевого круга, м; b – ширина шлифования (ширина обрабатываемой поверхности), м.

Нетрудно видеть, что решение аналогично предыдущему для плоского шлифования периферией круга. Минимум функции θ от Q достигается при $\alpha = 3$ ($\eta = 0,95$), а связь температуры θ с производительностью обработки Q подчиняется правой ветви экстремальной зависимости, рис. 4.

Тогда уменьшить θ при $Q = const$ можно уменьшением t, α и увеличением площади контакта круга с обрабатываемой поверхностью $B \cdot b$. Уменьшение глубины шлифования t и b при $Q = const$ требует увеличения скорости детали по закону $V_{дем} = Q / (B \cdot t)$.

При плоском шлифовании торца вращающегося кольца торцом круга с постоянной радиальной подачей $V_{дем}$ температура резания определится:

$$\theta = \frac{Q}{b} \cdot \sqrt{\frac{2\pi \cdot t g \gamma \cdot \sigma_{сж} \cdot HV \cdot e^{\alpha}}{\lambda \cdot c \cdot \rho \cdot B \cdot V_{дем}}} \quad (13)$$

Данное решение аналогично решению, полученному при определении экстремума функции P_z от Q (рис 3), то есть минимум θ от Q будет иметь место при $\alpha = 6$.

Уменьшить температуру резания θ при $Q = const$, согласно зависимости (13), можно уменьшением параметра α и увеличением $V_{дем}$ и B .

Уменьшение α связано с уменьшением величины линейного износа зерна x до момента его объемного разрушения выпадения из связки круга без разрушения, что достигается реализацией работы круга в режиме самозатачивания или применения принудительной постоянной правки круга в процессе шлифования. В первом случае необходимо использовать относительно "мягкие" связки алмазного круга: органические и керамические. Во втором случае при шлифовании алмазными кругами на прочных металлических связках эффективно применение электрофизикохимических методов правки (электроэрозионной и электрохимической), обеспечивающих увеличенное выступание зерен над уровнем связки, удаление затупленных зерен с рабочей поверхности круга и управление величиной их износа x .

В общем случае

$$V_{кр} = \pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}, \quad (14)$$

где $D_{кр}$ – диаметр торцового круга, м; $n_{кр}$ – частота вращения круга, об/с.

Для уменьшения $V_{кр}$ и соответственно α , σ и θ при $Q = const$, необходимо уменьшить параметры $D_{кр}$ и $n_{кр}$.

Из приведенного анализа можно заключить, что входящие параметры Q , B и b оказывает на θ как непосредственное влияние, так и через изменение условного напряжения резания σ . В результате зависимости изменения θ от параметров Q , B и b носят сложный экстремальный характер. Вполне однозначное влияние на θ оказывает скорость детали $V_{дем}$, входящая в знаменатель подкоренного выражения в (13). С увеличением $V_{дем}$ температура резания θ уменьшается. Следовательно, добиться существенного уменьшения θ при неизменной производительности обработки $Q = const$ можно, прежде всего за счет уменьшения $V_{дем}$. При шлифовании торцовой поверхности кольца торцом круга увеличение скорости вращения кольца $V_{дем}$ практически ничем не ограничено и температуру резания, таким образом, можно всегда уменьшить до требуемого значения.

Необходимо отметить, что уменьшение θ за счет уменьшения $V_{дем}$ в данном случае более эффективно, чем, например, уменьшение условного напряжения резания σ путем уменьшения безразмерного коэффициента η по зависимости (2). При $\eta \rightarrow 0$ условное напряжение резания σ принимает вполне конкретное значение, то есть изменения σ ограничены, тогда как уменьшение θ за счет уменьшения $V_{дем}$ практически не ограничено, $\theta \rightarrow 0$.

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. – 450 с.
2. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. - М.: Машиностроение, 1984. – 321 с.

УДК 621.9

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ВАРИАНТА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Карпусь В.Е., докт. техн. наук, проф., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин

(г. Харьков, Украина)

The technique of the reasonable selection of the optimal version of turning processing is offered.

В многономенклатурном машиностроительном производстве в зависимости от широты номенклатуры и объема выпуска продукции для токарной обработки валов средних размеров могут применяться токарно-винторезные станки с ручным управлением (РУ), токарные станки с ЧПУ и многолезцовые полуавтомат. Выбор наиболее выгодного варианта осуществляется чаще всего по минимуму экономического критерия: технологической себестоимости обработки или приведенных затрат, с помощью которых оценивается экономическая эффективность сравниваемых токарных технологических операций. Трудоемкость такого анализа велика, так как

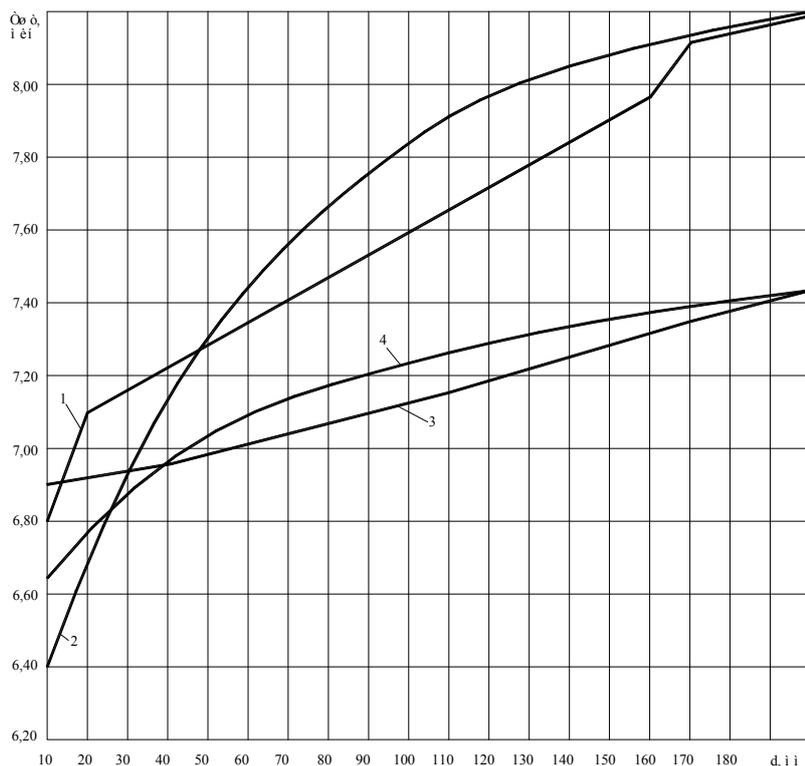


Рис. 1. Графики зависимости нормы штучного времени от диаметра: 1, 2 – черновое точение резцом из быстрорежущей стали (расчет и укрупненно соответственно); 3, 4 – черновое точение твердосплавным резцом (расчет и укрупненно соответственно).

Например, ниже приведены аналитические зависимости для расчета нормы штучного времени $T_{шт}$ при черновом точении стальной заготовки на токарно-винторезном станке:

$$T_{шт} = (1,404 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,123 \cdot 10^{-3}) \cdot (349,678 + l) / 0,603 \cdot 1,005^d; \text{ на токарном станке с ЧПУ:}$$

$$T_{шт} = (2,22 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,14 \cdot 10^{-3}) \cdot (326,452 + l) / 1,228 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,075;$$

и на многорезцовом копировальном полуавтомате тремя резцами:

$$T_{шт} = (9,715 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,657 \cdot 10^{-4}) \cdot (0,453 \cdot l + 54,688) / d^{0,386} \cdot l.$$

здесь d, l – диаметр и длина обработки, мм.

На рис. 1 показаны графики зависимости нормы штучного времени на черновое точение стального вала от диаметра.

По изложенной методике получены аналитические зависимости для укрупненного определения штучного времени при черновом и чистовом точении быстрорежущими и твердосплавными резцами заготовок из стали, чугуна и алюминия.

При чистовом точении стального вала резцом из быстрорежущей стали

$$T_{шт} = (1,866 \cdot 10^{-4} \cdot d + 9,503 \cdot 10^{-3}) \cdot (163,159 + l) / (0,139 \cdot d^{0,379});$$

твердосплавным резцом

$$T_{шт} = (5,223 \cdot 10^{-5} \cdot d + 4,57 \cdot 10^{-3}) \cdot (247,059 + l) / (2,988 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,233).$$

При черновом точении чугунного вала резцом из быстрорежущей стали

$$T_{шт} = (4,861 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,214 \cdot 10^{-3}) \cdot (300,362 + l) / (0,024 \cdot d + 0,079);$$

твердосплавным резцом

$$T_{шт} = (2,224 \cdot 10^{-5} \cdot d + 6,772 \cdot 10^{-3}) \cdot (336,478 + l) / (0,001 \cdot d + 0,043).$$

При чистовом точении чугунного вала резцом из быстрорежущей стали

$$T_{шт} = (7,635 \cdot 10^{-5} \cdot d + 5,618 \cdot 10^{-3}) \cdot (233,524 + l) / (0,104 \cdot d^{0,37});$$

твердосплавным резцом

$$T_{шт} = (3,495 \cdot 10^{-5} \cdot d + 2,261 \cdot 10^{-3}) \cdot (300,238 + l) / (0,026 \cdot d^{0,443}).$$

При черновом точении алюминиевого вала резцом из быстрорежущей стали

$$T_{шт} = (4,35 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,215 \cdot 10^{-3}) \cdot (300,115 + l) / (0,002 \cdot d + 0,082);$$

При чистовом точении алюминиевого вала резцом из быстрорежущей стали

необходимо спроектировать сравнимые технологические операции, выполнить большой объем технологических и экономических расчетов.

Существующие методы укрупненного анализа техно-логических процессов [1, 2] базируется на устаревшей информационной базе, а применение ориентировочных данных по времени обработки деталей существенно снижает достоверность полученных результатов. Поэтому актуальной является разработка методики укрупненного определения норм времени на технологические операции, выполняемые на различном токарном оборудовании, и выбора наиболее выгодного варианта токарной обработки.

Укрупненные расчеты основного, вспомогательного и штучного времени на токарную обработку целесообразно выполнять с помощью показателя интенсивности формообразования [3]. Полученные аналитические зависимости позволяют с погрешностью не более $\pm 5\%$ определять нормы времени, используя данные о детали, имеющиеся на ее рабочем чертеже.

$$T_{шт} = (6,087 \cdot 10^{-5} \cdot d + 4,622 \cdot 10^{-3}) \cdot (247 + 1) / (2,258 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,239).$$

Основным критерием выбора наиболее выгодного варианта из нескольких возможных является часть минимальных годовых приведенных затрат, учитывающая изменяющиеся для сравниваемых вариантов факторы.

В качестве технико-экономической модели выбора технологического варианта токарной обработки используем следующую зависимость [4]:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{N_d} t_{umi} \cdot (C_T / N_d + C_{HO})}{(\eta_3 - N_3 \cdot t_{ПЗ} \cdot N_d / \Phi_O) \cdot \Phi_O},$$

где t_{umi} – штучное время обработки детали i – го наименования, мин; C_T – годовая технологическая себестоимость всех операций, выполняемых на данном оборудовании, грн; N_d – число наименований деталей, обрабатываемых на станке в течение года, шт; C_{HO} – годовая стоимость наладки станка и дополнительного оборудования, грн; η_3 – коэффициент загрузки оборудования (для станков с ПУ – 0,85, а с РУ – 0,7); N_3 – число запусков деталей одного наименования в течение года, шт; $t_{ПЗ}$ – подготовительно-заключительное время, мин; Φ_O – эффективный годовой фонд времени двухсменной работы станка, ч.

Условие определения границы областей эффективного применения двух вариантов оборудования, предназначенного для выполнения одной технологической задачи, определяется из условий равенства экономических затрат, то есть

$$Z_1 = Z_2 \text{ или } Z_2 / Z_1 = 1.$$

здесь Z_1, Z_2 – экономические затраты по вариантам токарной обработки (с индексом 1 более производительный, чем с индексом 2).

Как показывают расчеты, вторая форма записи этого условия предпочтительнее, так как при ее использовании односторонние ошибки при исчислении затрат сокращаются. Вводя обозначение

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{N_d} t_{umi2}}{\sum_{i=1}^{N_d} t_{umi1}}$$

в развернутом виде границу областей применения сопоставляемых вариантов можно записать следующим образом:

$$q = \frac{(\eta_{32} - N_{32} \cdot t_{ПЗ2} \cdot N_d / \Phi_O) \cdot (C_{T1} / N_d + C_{HO1})}{(\eta_{31} - N_{31} \cdot t_{ПЗ1} \cdot N_d / \Phi_O) \cdot (C_{T2} / N_d + C_{HO2})}.$$

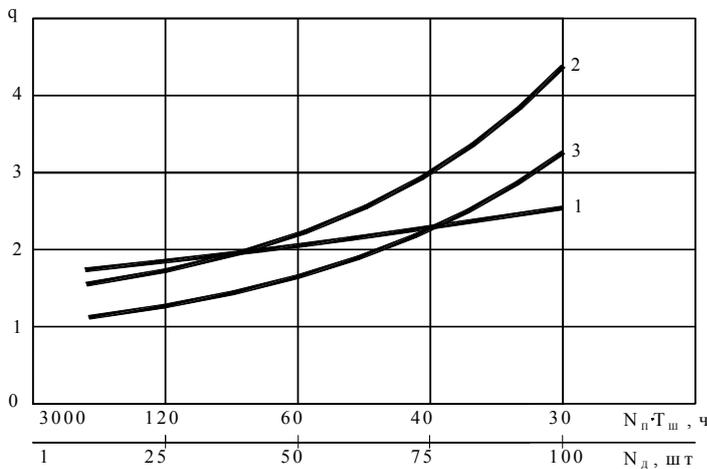


Рис. 2. Границы областей эффективного применения токарно-винторезного станка и станков с ЧПУ мод. 16К20Ф3 (1), мод. 16К20Т1 (2) и многолезвийного копировального полуавтомата (3).

ним располагается, например, ниже графика (3), то целесообразно использовать для обработки детали токарно-винторезный станок, а если выше, то многолезвийный копировальный полуавтомат.

Для решения конкретной производственной задачи графики целесообразно строить на основании технико-экономических данных, характеризующих производственный процесс предприятия, на котором предполагается осуществить токарную обработку детали.

Литература

1. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Г.К.Барташева, К.М.Великанов, В.Ф.Власов и др.; Под ред. К.М.Великанова. - Л.: Машиностроение, 1975.- 432 с.

2. Барташев Л.В. Техничко-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. - М.: Машиностроение, 1973.- 384 с.
3. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Укрупненное определение норм времени на токарные операции // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 8-14 сентября 2003 г. В 4-х томах. - Донецк: ДонНТУ, 2003. Т.2. – С. 30-34.
4. Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением / В.Л.Кубланов, И.А.Маковецкая, А.П.Назаренко и др. - М.: Машиностроение, 1987.- 152 с.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

Карпусь В.Е., докт. техн. наук, проф., Гаврылюк Ю.Р., канд. техн. наук, доц.

(г. Харьков, Украина)

The directions of influencing of flexibility of generic unit-type machine tools of their accuracy are reviewed.

Традиционно, агрегатные станки (АС), применяемые в массовом производстве, предназначены для обработки одной-двух деталей и проектируются в одновариантном исполнении. С другой стороны, существует объективная возможность создания гибкого оборудования на основе принципа агрегатирования из узлов с различной степенью переналаживаемости на всех уровнях функциональной детализации структуры станка, в том числе и агрегатного.

Поэтому, актуальной в настоящее время является проблема разработки научных основ проектирования и изготовления агрегатированных технологических систем, которые обеспечат высокую надежность оборудования и высокую производительность и точность обработки, при внесении в систему необходимой технологической избыточности, повышающей гибкость оборудования, но не снижающей точности обработки.

Решение проблемы повышения гибкости агрегатированного металлорежущего оборудования с сохранением точностных характеристик требует анализа номенклатуры обрабатываемых заготовок, смены и чередования объектов обработки и обрабатываемых поверхностей внутри группового технологического процесса.

Лидирующими видами обработки на АС являются: сверление, рассверливание, зенкерование, зенкование, развертывание, растачивание и нарезание резьбы, на которые в сумме приходится около 85% всех шпинделей агрегатного станка, в [1]. Поэтому типичной для агрегатного станка обрабатываемой поверхностью можно считать цилиндрическую внутреннюю поверхность. Указанные типы обрабатываемых поверхностей технологически связаны, то есть нарезание резьбы возможно только при наличии отверстия с фаской, а обработка фаски – при наличии отверстия и т.д.

Рассматривая совокупность поверхностей разных деталей из группы как постоянную величину, можно выделить при переходе от одной детали к другой, следующие поверхности: 1) поверхности изменяющие свои свойства; 2) новые поверхности, добавляющиеся в набор по сравнению с предыдущей деталью; 3) исчезающие поверхности, которых нет на новой детали.

С другой стороны, для единичной поверхности детали, в том числе и обрабатываемой, могут быть выделены три свой-

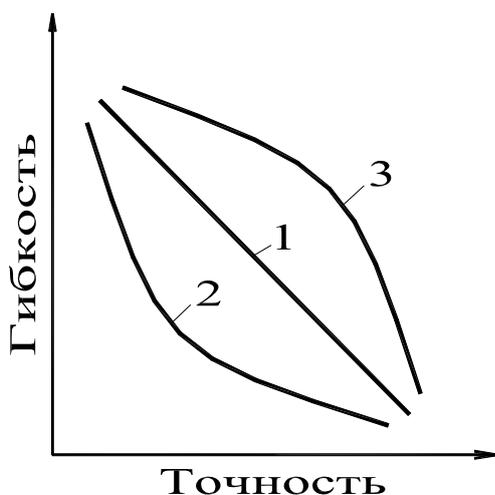


Рис. 1. Соотношение точности и гибкости оборудования.

ства, отражающие характер изменений при переходе к обработке следующего типа деталей. 1.) Расположение обрабатываемых поверхностей описывается координатами базовой точки, а изменение координат отражает смещение поверхности. 2.) Отличия метрических характеристик сравниваемых поверхностей отражаются в изменении диаметра отверстия, фаски или резьбы, их глубины и размера. 3.) Изменение характеристик для различных типов поверхностей может проявляться в смене шероховатости обрабатываемой поверхности, шага нарезаемой резьбы и угла наклона фаски. Таким образом, гибкая агрегатированная технологическая система должна обеспечивать настройку на обрабатываемые поверхности детали, связанную с изменениями в их: 1) расположении; 2) размерах; 3) характеристиках.

Поскольку, потенциально, все структурные элементы АС могут повышать его гибкость, то и каждый из них должен обеспечивать влияние на указанные выше три переменных параметра поверхностей. Значит, все структурные элементы переналаживаемого АС, для повышения его гибкости в целом должны обеспечивать требуемые выходные характеристики участвующих в переналадке элементов: 1) управление силовыми параметрами – интенсивностью воздействия на заготовку; 2) изменение геометрических параметров элементов контактирующих с заготовкой; 3) возможность совершения настроечно-установочных перемещений [2-4]. В зависимости от выбора способа переналадки можно предположить три характера зависимости соотношения точности и гибкости оборудования (рис. 1), когда падение точности обработки происходит неоправданно быстрее чем расширение технологических возможностей оборудования.

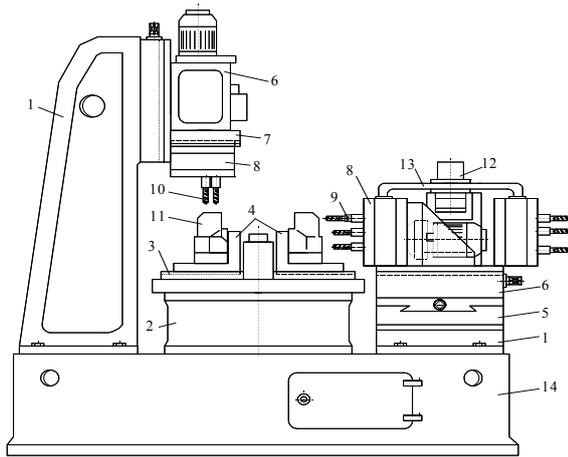


Рис. 2. Пример компоновки многономенклатурного АС.

Таким образом, при анализе номенклатуры обрабатываемых деталей на стадии проектирования АС можно установить, управление какими параметрами поверхностей будет необходимо, какие функциональные элементы станка для этого задействовать и какие способы переналадки для них использовать, что в свою очередь позволит обеспечить оптимальную гибкость и точность АС.

На рис. 2 приведен пример схемы конструктивной компоновки многономенклатурного АС, содержащей функциональные элементы, способные оказывать влияние на его гибкость и точность. Данная схема компоновки предназначена, для того чтобы продемонстрировать место и роль основных четырнадцати элементов в компоновке и их возможную последовательность расположения. Управление точностью и гибкостью может быть достигнуто несколькими параллельными путями, за счет использования различных переналаживаемых узлов и агрегатов. Оптимизация компоновки многономенклатурного АС, таким образом, заключается в анализе возможных путей реализации гибкости и выборе наилучшего сочетания минимального числа переналаживаемых структурных элементов станка.

Предложенный вариант схемы компоновки (см. рис. 2) обладает чрезмерной технологической избыточностью и содержит упрощенное изображение максимального числа всевозможных, функциональных элементов. Однако все элементы станка отличаются по технологическим возможностям и степени влияния на гибкость и точность станка в целом.

Так, управление интенсивностью воздействия на заготовку 11 реализуется только при помощи установочно-зажимного приспособления 4, шпиндельной оснастки 8 и силовых агрегатов 6, а изменение параметров зоны контакта с заготовкой 11 только при помощи установочно-зажимного приспособления 4, шпиндельной оснастки 8, вспомога-

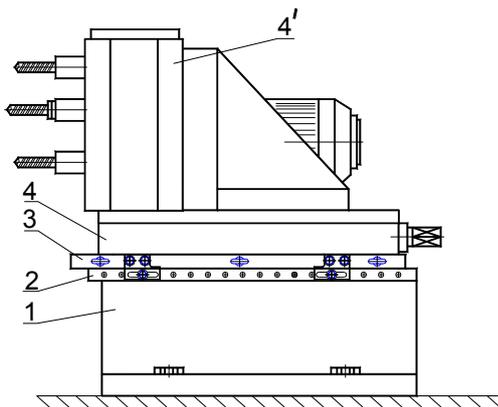


Рис. 4. Пример использования УП в компоновке МАС.

тельного инструмента 9 и режущего инструмента 10. Некоторые структурные элементы оказывают незначительное влияние на гибкость. К ним относятся: устройство смены 12 и магазин 13 сменных шпиндельных коробок, а также несущая система 14.

Особого внимания заслуживают элементы, обозначенные позициями 3, 5 и 7, выполняющие аналогичные функции на различных уровнях удаления от заготовки. Такие устройства перемещения (УП) предназначены для управления установочными перемещениями элементов структуры АС. Несмотря на конструктивные различия УП применяемых для различных видов агрегатов, а также условий их эксплуатации, в структуре УП можно выделить определенный фиксированный набор функциональных элементов.

Одна из оригинальных конструкций УП по одной координате, разработанная нами, показана на рис. 3, 4. На станине 1 АС закрепляется нижняя неподвижная плита 2 УП. Верхняя плита 3, на которую непосредственно устанавли-

ваются силовой агрегат (силовую головку 4' или силовой стол 4 рис. 4) имеет возможность смещения относительно нижней плиты 2 в режиме наладки. Поверхности контакта плит 2 и 3 имеют плоскую форму, что позволяет уменьшить их толщину, а также высоту УП в целом.

Максимальная величина наладочного смещения плит 2 и 3 – 200 мм (по 100 мм на сторону в продольном направлении от исходного центрального положения). Плиты 2, 3 могут занимать любое положение относительно друг друга в данном интервале. Боковая фиксация в поперечном направлении обеспечивается четырьмя боковыми направляю-

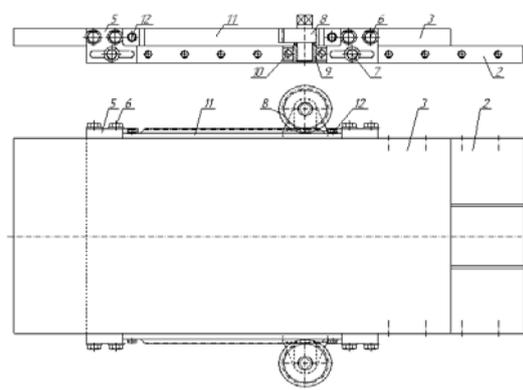


Рис. 3. Устройство перемещения по одной координате.

щими планками 5, кожна з яких кріпиться двома болтами 6 к верхній плиті 3. В новому установленному положенні плити закріплюються болтами 7.

Для зміщення плити 3 УП оснащено двома механізмами переміщення "зубчасте колесо - рейка", складаючими з вал-шестерні 8, установленної в кронштейні 9, закріпленому на плиті 2 винтами 10. Зубчасте колесо 8 знаходиться в зацепленні з рейкою 11, розміщеною на боковій поверхні плити 3 і закріпленою болтами 12.

Таким образом, при використанні високоточних пристроїв переміщення, спеціально розроблених для використання в компоновках багатономенклатурних агрегатних станків, дозволить значительно підвищити їх гнучкість без значительної втрати точності обробки, так як, обширні потенціальні можливості по управлінню гнучкістю АС кроються в використанні в його компоновці УП, які забезпечать налаштування взаємного положення заготовки і режущого інструмента з найменшими затратами і при мінімальному зниженні надійності і точності роботи станка, за рахунок простоти оригінальної конструкції і принципу дії високоточних пристроїв переміщення і інших переналажуваних агрегатів станка.

Література

1. Агрегатные станки средних и малых размеров // Ю.В.Тимофеев, В.Д.Хицан, М.С.Васерман, В.В.Громов. Под общ. ред Ю.В.Тимофеева.- М.: Машиностроение, 1985.- 248 с.
2. Карпуть В.Е., Гаврылюк Ю.Р. Применение многономенклатурных агрегатных станков в производстве штампов и пресс-форм // Техника машиностроения.-1998.- N3.- С. 36-39.
3. Карпуть В.Е., Гаврылюк Ю.Р. Многокритериальная оптимизация конструкционных компоновок многономенклатурных агрегатных станков // Резание и инструмент в технологических системах. - Межд. научн.-техн. сборник. -Харьков: ХГПУ, 1999, Вып. 53.- С. 72-74.
4. Гаврылюк Ю.Р., Ивановская О.В., Бочаров В.Б. Перспективы применения устройств перемещения в компоновках агрегатных станков // Вестник НТУ "ХПИ".- Харьков: НТУ "ХПИ".-2003.- Вып. 8, Т.1.- С. 23-28.

УДК 621.923

ВІБРАЦІЙНО-ПРЕЦЕСІЙНЕ ШЛІФУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ КРУГАМИ ІЗ НТМ — НОВЕ У ТРАДИЦІЙНОМУ

Шепелєв А.О., докт. техн. наук, Дуброва О.Є.

(м. Київ, Україна)

Process vibrating-precession grindings which provides at grinding tool materials is developed to reach value of product $S_{np} \times S_{non} \leq 1$. The given process is characterized considerably by smaller effective power of grinding which values do not exceed 1,5 kw that is many times less, than for known processes of diamond-abrasive processing.

В сучасних умовах ефективність обробки інструментальних матеріалів забезпечується при продуктивності шліфування не більше 1000–3000 мм³/хв., у той час як верстатні системи і промислові технології механообробки обумовлюють необхідність підвищення продуктивності до 3000–5000 мм³/хв. і в недалекому майбутньому до 10000 мм³/хв. В зв'язку з цим інтенсифікація процесів шліфування на основі розвитку технологічних систем і розробки нового покоління шліфувальних кругів із НТМ відноситься до ключових задач машинобудування.

Аналіз досліджень в області вібраційного різання свідчить про перспективність і актуальність розробок у цьому напрямку. Виходячи з того, що процес шліфування є, у певній мірі, вібраційним, висунута гіпотеза про можливість реалізації процесу вібраційно-прецесійного шліфування за допомогою використання механічної енергії шліфувального круга, що обертається, і прецесійного ефекту шліфувальної системи. Мета роботи полягає в інтенсифікації процесів шліфування на основі експериментально-аналітичної оптимізації технологічної системи «процес шліфування – шліфувальні круги з НТМ – режими шліфування» для досягнення продуктивності абразивної обробки 5000–10000 мм³/хв. за рахунок спрямованого використання вібраційно-прецесійного ефекту в процесі обробки шліфувальними кругами з функціонально-орієнтованим робочим шаром з НТМ.

Результати експериментальних досліджень розробленого вперше процесу вібраційно-

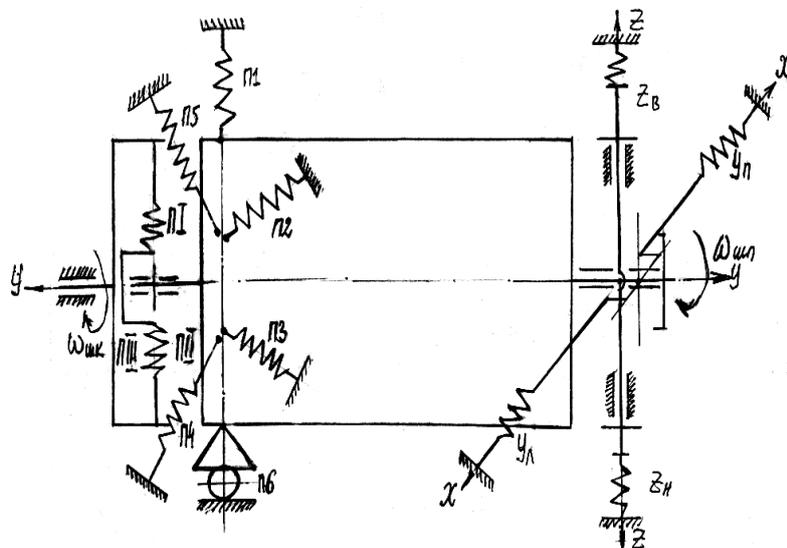


Рис.1. Кінематична схема шпиндельного вузла.

прецесійного шліфування полягають в тому, що процес шліфування переважно є вібраційним і, як метод абразивної обробки, базується на використанні імпульсних сил різання. Керування вібраційно-прецесійним рухом шліфувального круга у напрямку різання-шліфування приводить до істотної інтенсифікації продуктивності обробки і підвищенню якості оброблених поверхонь.

У загальному балансі показників точності руху елементів технологічної шліфувальної системи домінує точність руху (траєкторія руху) шпиндельного вузла, що створює пружне силове поле, яке визначає силові і кінематичні параметри контактної взаємодії шліфувального круга і поверхні оброблювальної деталі. Вивчено динамічну модель шпиндельного вузла як консольного ротора і методом кінестатики встановлені просторові траєкторії руху ротора з урахуванням змін сили різання.

Розроблено кінематичну схему (рис.1) технологічної шліфувальної системи і виконано її аналіз для вібраційно-прецесійного шліфування. Вирізано передню опору шпиндельного вузла у вигляді квазішарнірного карданного механізму, який забезпечує обертальний рух, і задню опору, що знаходиться в пружному силовому полі. За програмно-виконавчий механізм прецесійного руху, тобто засіб створення коливань, застосований кінематичний механізм, який забезпечує керування настроюванням обертального руху шпинделя.

Кінематична схема вібропрецесійного шліфування, що була розроблена, дозволяє виділити синусоїдальні коливання шліфувального круга в напрямку різання-шліфування з частотою й амплітудою, для яких виконуються граничні умови по швидкості різання.

При цьому забезпечуються статична і динамічна урівноваженість ротора, а також узгодження векторного напрямку амплітуди коливань щодо векторів подовжньої і поперечної подачі. Показано, що вибраний шпиндельний вузол, представлений циклічним багатоланковим механізмом, забезпечує певний заданий аксоїд інтегрального руху шліфувального круга.

На основі імітаційного моделювання вивчений вплив окремих параметрів процесу вібраційно-прецесійного шліфування на кінематичні характеристики шліфувальної системи. Показано, що кінематичні поверхні різання, що сформувалися в результаті вібропрецесійного процесу обробки, складні за формою і складаються з декількох окремих поверхонь, що утворюються внаслідок інтегрального руху. На формування профілю кінематичних поверхонь різання впливає сила різання, що свідчить про прецесійне переміщення осі шпиндельного вузла під впливом зовнішнього навантаження.

При цьому вектор зовнішнього орієнтований у напрямку подовжньої подачі, що для процесу шліфування особливо важливо та ефективно.

Вивчено закономірності утворення мікрорельєфів поверхонь різання і встановлений їх квазірегулярний характер, що дозволяє використовувати регуляризацию для інтенсифікації процесу обробки за рахунок таких параметрів мікрорельєфу, як форма, висота і взаєморозташування нерівностей.

Вивчена 2D і 3D – топографія кінематичних поверхонь і встановлено, що вони характеризуються високим ступенем розвиненості мікронерівностей, характерних як для інтегральної, так і локальної поверхонь. При цьому спостерігається розвиток мікронерівностей профілю локальної поверхні. Збільшення амплітуди змінює структуру шорсткості поверхонь, що обумовлено вібраційно-прецесійним характером їхнього формування.

Досліджено кінематичні моделі функціональних ріжучих поверхонь шліфувальних кругів із НТМ, що визначаються шириною робочого шару, режимами шліфування і характеристиками технологічної шліфувальної системи, яка характеризує кінематику процесу вібропрецесійного шліфування і дозволяє реалізувати адаптивну систему керування при глибинах шліфування до 5 мм.

Досліджена працездатність шліфувальних кругів із НТМ, що використовуються при вібропрецесійному шліфуванні твердих сплавів з $S_{\text{под}} \times S_{\text{поп}} \leq 1$.

Найбільша працездатність встановлена для кругів на металевій зв'язці марки М1-04 з одно- і тришаровими робочими шарами; при $S_{\text{под}} \times S_{\text{поп}} \leq 0,5$ — кругів на металокерамічній зв'язці марки КМ1; при $S_{\text{под}} \times S_{\text{поп}} \leq 0,3$ — кругів на полімерних і металополімерних зв'язках марок М02, В2-01-1 і ін. Новий процес характеризується значно меншою потужністю шліфування, значення якої при $S_{\text{под}} \times S_{\text{поп}} \leq 1$ складають 1,5 кВт, що багаторазово менше, ніж для відомих процесів алмазно-абразивної обробки.

Таким чином вперше розроблено процес вібраційно-прецесійного шліфування, що забезпечує при шліфуванні інструментальних матеріалів значення добутку $S_{\text{под}} \times S_{\text{поп}} \leq 1$. Даний процес характеризується значно меншою ефективною потужністю шліфування, значення якої не перевищують 1,5 кВт, що в багато разів менше, ніж для відомих процесів алмазно-абразивної обробки.

УДК 621.7.044

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Савченко Н.Ф., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The methods of increase of efficiency in procuring manufacture are considered

Современное машиностроительное производство становится все более многономенклатурным, требующим разработки особых подходов к проектированию технологических процессов.

Еще в 1986 г. на международном совещании в Магдебурге [1] как сложные задачи, стоящие перед технологией машиностроения, отмечались задачи такие особенности многономенклатурного производства как острая проблема, с одной стороны, снижения себестоимости, а, с другой, усложнение и, в ряде случаев, истощение возможностей ресурсо- энергосбережения. Это обусловлено тем, что до 85 % изделий в мировом масштабе выпускают в условиях единичного и мелкосерийного производства (ЕМП), себестоимость которого в среднем пока в 5 раз выше массового. 70% деталей, обрабатываемых на станках, выпускают малыми партиями (от 2 до 200 штук) в широкой номенклатуре (до 4000 типов). Частая смена объектов производства требует сокращения сроков освоения новой продукции, что невозможно без решения сложных задач интенсификации производственных процессов при условии снижения энергозатрат на их проведение.

Существующие решения [2-3] в качестве ресурсо - энергосбережения предусматривают увеличение габаритов изделий, использование электрофизических методов обработки, включая и импульсные варианты силового воздействия на заготовку. Вместе с тем, и использование импульсных технологий вызывает определенные трудности, прежде всего, относящиеся к вопросам качества изделий (равномерности утолщений стенок, наличию дефектов типа гофров, а для композитных заготовок – расслоений). Поэтому повышение эффективности мероприятий по ресурсо – и энергосбережению обуславливает необходимость дальнейших поисков прогрессивных технологических процессов. С этой целью, используя такие критерии, как максимальные габариты изделий, напряженно-деформированное состояние, относительная сложность (относительная глубина детали и гибкость) проведен анализ и установлены ограничения для существующих методов изготовления заготовок (групповые методы изготовления изделий) или полуфабрикатов, которые отражены в таблице.

Таблица

Технологические возможности существующих методов изготовления изделий

| Способ изготовления деталей и полуфабрикатов | Напряженное состояние при формоизменении заготовки | Максимальные значения факторов | | | |
|--|--|--------------------------------|---------------|-----------------------|---|
| | | гибкости | диаметра, м | относительной глубины | утолщения в опасном сечении, % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I. Штамповка на прессе жестким инструментом (для деталей двойной кризисной внешней нагрузка действует локально) | плоское | не более 100 – 200 | 2,5 | 0,5 | 10 – 20 распределение не равномерное |
| | объемное | | | | 20 |
| II. Беспрессовая штамповка с использованием гидроэластичных пуансонов: | равномерное распределение утолщений | | | | |
| 1) гидравлическая (равномерно распределенная внешняя нагрузка); | плоское | не более 200 – 400 | любой | 0,2 – 0,5 | 20 – 40 |
| | объемное: по пуансону или в пакете | 1000 | 0,5 – 1,2 | 0,5 – 0,7 | 20 |
| 2) импульсная с внешней нагрузкой: а) равномерно распределенной по поверхности заготовки без и с регулированием длительности действия; б) с изменением характера распределения внешней нагрузки на поверхности заготовки | объемное | 1000 | 2 – 3 | 0,4 – 0,5 | 20 |
| | плоское | 1000 и более | не ограничено | любая | 20 |
| 3) раздача сварных полуфабрикатов | | 1000 и более | не ограничено | любая | 20 |
| III. Выколотка | объемное | 500 – 600 | до 2 -3 | 0,22 | 10 |
| IV. Обкатка | объемное | 200 – 400 | до 5 | 0,2-0,7 | 20 – 40 |
| V. Обтяжка по пуансону | плоское | 1000 | 2 – 6 | 0,25 | 20 – 30 |
| VI. Метод ПМН | объемное | 1000 | любое | 0,22 | 20 – 30 |

Приведенные данные свидетельствуют о наличии целого комплекса ограничений в выборе прогрессивных методов формообразования изделий и полуфабрикатов. В частности, при выборе стратегии предприятия в условиях рынка возникновение осложнений в повышении качества и точности изделий, в особенности, в результате энергетического кризиса не может быть преодолено без оценки совокупности критериев, разработанных с учетом принципов системного подхода (таких как структурности, целостности, эволюции, адаптации, учета вероятностных факторов и др.).

Сложность определения наиболее рациональных (оптимальных по одному или совокупности критериев) решений состоит в том, что можно считать все, как существующие, так и вновь предлагаемые технологические процессы не эффективными или условно таковыми, что выявляется только после анализа их влияние на длительность эффективного периода эксплуатации изделия. Примером их использования может быть поиск высокоэффективных технологий, рассматриваемых как совокупность альтернативных технологических процессов. В результате становится возможным расширение представлений о возможности использования альтернативных технологий (в частности, их внедрения на предприятии или, что может быть значительно эффективнее, использования по контракту как услуги сторонних организаций).

В целом оценку состояния техники и технологии в цехе или на предприятии с позиций ресурсо – энергосбережения можно оценить, используя комплекс относительных и абсолютных показателей.

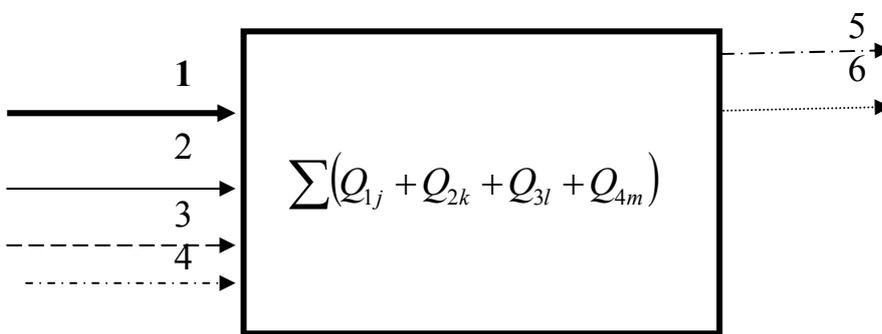


Рис. 1. Принципиальная схема энергопотоков в цехе (на предприятии): 1 – электроэнергия; 2 – сжатый воздух; 3 – гидропоток; 4 – топливо (горючий газ, жидкое топливо); 5 – вторично используемая энергия; 6 – безвозвратно потерянная часть энергии (из-за конвекции, излучения и др.); j, k, l, m – соответственно количество единиц оборудования в зависимости от вида подводимой энергии

цессами (0,55...0,60) – также косвенно могут отражать состояние и направления работ в области ресурсо – и энергосбережения [1].

Рассмотрим в общем виде распределение потоков энергии в технологической системе (станок, производственный участок, цех или предприятие, рис. 1). С позиций системного подхода процессы, происходящие в системе, могут быть описаны как совокупность энергетических потоков различной природы (электрическая, тепловая, механическая и др.).

Эффективные условия ресурсо – и энергосбережения и снижения непроизводительных потерь сырья и энергии могут быть сформулированы как:

$$\sum(Q_{1j} + Q_{2k} + Q_{3l} + Q_{4m}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$Q_5 \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$Q_6 \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$Q_{j...m} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Важным выводом из этих соотношений можно считать то, что эффективное снижение ресурсов необходимо предусматривать на стадии проектирования по комплексному снижению энергозатрат – на заготовительных, формообразующих, операциях, механических и завершающих операциях, сборочных и эксплуатационных. В отличие от существующих подходов такие решения могут считаться комплексным решением. Однозначное, безусловно, решение представляется сложным процессом, так как можно считать все, как существующие, так и вновь предлагаемые технологические процессы не эффективными или условно таковыми, что выявляется только после анализа их влияние на длительность эффективного периода эксплуатации изделия.

В определенной степени многообразие различных вариантов может быть оценено в соответствии с предложенными подходами:

1) решение эффективное в определенной ситуации: $P \in A(a, b, v, \dots)$;

- 2) предложенное решение не является оптимальным именно в этой ситуации: $P \notin R (a, б, в, \dots) \subset N (m, n, p, \dots)$;
- 3) предложенное решение эффективное, но не оптимальное: $P \cup R \not\subset N$;
- 4) предложенное решение не ухудшает, но и не улучшает использование источников энергии: $P \cup P (a_1, a_2 \dots)$;
- 5) предложенные мероприятия не могут быть заранее оценены: $P \notin \emptyset$, то есть (требуют детальной проверки, не существует надежного оснащения приборов или технологий, возможны для использования лишь в определенных условиях или могут, в принципе, проявляться случайно как стечение обстоятельств (в соответствии с принципом синергизма)).

Такие подходы позволяют провести классификацию возможных вариантов технологий изготовления изделий и разработать банк прогрессивных решений, используя систему противоречий (стоимость- ресурс, габариты изделий – качество и т.д.). Процесс формирования структурных схем новых технологий можно разделить на этапы синтеза принципиальных структурных решений и параметрического синтеза, особо выделив роль формообразующих операций.

Количество вариантов может в последующем уменьшаться, как используя экспертные системы, так и методы физико-ситуационного моделирования.

Литература

1. Гибкая автоматизация единичного и мелкосерийного производства в машиностроении.— Л.: Ово «Знание» РСФСР, ЛО, ЛДНТП, 1990.-32 с. Состояние и развитие гибких производственных систем/Труды международного совещания (г. Магдебург, 1985).—М.: МЦНТИ, 1986.
2. Степанов В.Г., Сипилин П.М. и др. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций. Л.: Судостроение.1966.–292 с.
3. Мошнин Е.Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей. М.: Машиностроение. 1973. –240 с.
4. Савченко Н.Ф. Изготовление крупногабаритных емкостей и резервуаров Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Вип.18 “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин.”. Харків. 2003, 179-182 с.

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.393

ПОНЯТИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРАКТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ.

Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А.

(г. Харьков, Украина)

The concept of the geometrical factor of the drawing tool is entered and the practical examples of his(its) usage in calculuss of parameters of modes of a draw are adduced.

В практических вычислениях параметров, характеризующих режим волочения, важное значение имеют методики, позволяющие проводить инженерные расчеты в безразмерной форме, т.е. безотносительно к диаметрам проволоки до и после волоки. Это позволяет проводить вычисления в относительных единицах и легко распространять результаты на весь диапазон диаметров в маршруте волочения, в котором коэффициент запаса должен иметь примерно одинаковое значение. Для этой цели весьма полезным оказывается понятие геометрического фактора волочильного инструмента – геометрического фактора рабочего конуса или полного геометрического фактора волоки, учитывающего влияние калибрующего пояска. Покажем, что такое понятие может быть введено для общего случая применения волочильного инструмента – волоки с очагом деформации в виде конуса с полууглом α и калибрующим цилиндрическим пояском $r_{КП}$ длиной $h_{КП}$.

Для этого воспользуемся широко применяемыми в инженерной практике основными формулами Гавриленко, Петрова, Губкина и Зибеля, которые, соответственно, имеют вид [1].

$$P_z = \sigma_s S_K (\mu - 1)(1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (1)$$

$$P_z = \sigma_s S_K \ln \mu (1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (2)$$

$$P_z = \sigma_s S_K \left[\frac{a+1}{a} \left(1 - \frac{1}{\mu^a}\right) m + n \right], \quad (3)$$

$$P_z = \sigma_T^{cp} S_K \left(\ln \mu + \frac{f}{\alpha} \ln \mu + \frac{2}{3} \alpha \right) + P_z^{КП}, \quad (4)$$

где: σ_s - сопротивление деформации; σ_T^{CP} - среднее значение предела текучести металла, равное среднему арифметическому между значениями предела текучести σ_T^H до и σ_T^K после волоки; S_k - сечение после волоки; μ - вытяжка; S_H - сечение до волоки; f, α - коэффициент трения и полуугол волоки, соответственно; $P_z^{КП}$ - усилие сопротивления калибрующего пояска.

Выражения за a, m, n имеют вид:

$$a = 1 / (\cos(\alpha / 2)) + f / (\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha / 2)) - 1, \quad (5)$$

$$m = 0,77(\operatorname{tg} \alpha \cdot f / 2), \quad (6)$$

$$n = 2\pi \cdot r_{КП} \cdot h_{КП} \cdot f / (S_K \cdot \mu^a), \quad (7)$$

Покажем, что ввести понятие геометрического фактора волочильного инструмента можно формально путем соответствующих преобразований (1-4).

Оценим вначале относительные значения членов в формуле Губкина при практических значениях параметров $\alpha = 5^\circ \dots 6^\circ, f = 0,07 \dots 0,1$ для таких широко используемых в кабельной технике материалов, как медь и алюминий. Если α мало, то $\cos(\alpha / 2) \approx 1$, а $\operatorname{tg} \alpha \gg 1$ и параметр a не превосходит f . Величина μ^a близка к единице, а следовательно, весь член $((a+1)/a)(1 - f/\mu^a) \approx 1$. Член m при малых a и f ведет себя как $\operatorname{tg} \alpha$, т.е. его численные значения намного превышают единицу. Член n отражает вклад калибрующего пояска в усилие волочения. Если учесть, что $S_K = \pi \cdot r_{КП}^2$, а периметр калибрующего пояска равен $2\pi \cdot r_{КП}$, то можно видеть, что член n ведет себя как величина $f(h_{КП}/r_{КП})$. Для подавляющего количества применяемых на практике волок длина калибрующего пояска намного меньше его диаметра, поэтому значение члена n мало и не превосходит значения f .

С учетом проведенных выше оценок, выражение (3) можно записать в следующем виде, отражающем порядок малости входящих в него величин

$$P_z \approx \sigma_s S_K [1 + \operatorname{tg} \alpha + f], \quad (8)$$

Отсюда можно видеть, что в квадратных скобках стоят только величины, зависящие от полуугла рабочего конуса α и коэффициента трения f . Причем, главный вклад в усилие волочения дает член $m = \operatorname{tg} \alpha$. Вклад калиб-

рующего пояска (член n) небольшой и по порядку значение n не превосходит значения f , которое само по себе намного меньше единицы.

Рассмотрим далее поведение члена, отражающего вклад калибрующего пояска в формуле $P_z^{KП}$ Зибеля. Если $S_K = \pi \cdot r_{KП}^2$, то выражение (4) можно представить в виде:

$$P_Z^{KП} = \sigma_T S_K (2\pi r_{KП} h_{KП} / \pi r_{KП}^2) f = \sigma_T^K S_K 2(h_{KП} / r_{KП}) f, \quad (9)$$

Для большинства волок $h_{KП}/r_{KП} \ll 1$, поэтому $P_z^{KП}$ не превосходит величины $2\sigma_T^K \cdot S_K f$. Тогда выражение (9) для усиления волочения можно записать в виде

$$P_Z = S_K \left\{ \frac{\sigma_T^O + \sigma_T^K}{2} \cdot \left[\ln \mu + \frac{f}{\alpha} \ln \mu + 2\alpha / 3 \right] + 2\sigma_T^K f \right\}, \quad (10)$$

где σ_T^O - предел текучести исходной заготовки.

Здесь по-прежнему влияние последнего члена $2\sigma_T^K f$, отражающего вклад калибрующего пояска в общее усилие волочения, невелико, т.к.

$$\sigma_T^O \sim \sigma_T^K, \text{ и } (1 + f/\alpha) \ln \mu \gg f(h_{KП}/r_{KП}).$$

Таким образом, с учетом (8, 10) основные формулы (1-4) для усилия волочения можно представить в виде

$$P_Z = \sigma \cdot S_K F(\varepsilon, \alpha), \quad (11)$$

где σ - параметр, имеющий размерность механического напряжения.

Его значение выбирают равным пределу прочности σ_ε после волокни в формулах Гавриленко, Петрова и Губкина (выражения 1-3). Такое приближение вполне корректно, если общее обжатие превосходит 0,25, что, обычно, хорошо выполняется на практике даже после первого перехода [2]. В формуле Зибеля (4) значение σ выбирают равным σ_T^{cp} [1].

Функцию $F(\varepsilon, \alpha)$, в которую входит коэффициент f как постоянный параметр для заданной пары «материал волокни – материал протягиваемого металла», можно назвать геометрическим фактором волокни.

Покажем, что используя это понятие можно получить простые инженерные методики вычисления такого практически важного параметра, характеризующего режим волочения, как коэффициент запаса K_3 . Выражения (11) теперь можно соответственно представить в простом виде

$$P_Z / S_K = \sigma F(\varepsilon, \alpha), \quad (12)$$

и левая часть (12) просто равно напряжению волочения σ_Z

$$\sigma_Z = \sigma \cdot F. \quad (13)$$

Тогда, коэффициент запаса можно легко найти, используя полный геометрический фактор волокни F согласно (12).

$$K_3 = \sigma_B^K / \sigma_Z = (\sigma_\varepsilon^K / \sigma) \cdot F^{-1}, \quad (14)$$

В последнем выражении обращает на себя внимание то, что коэффициент запаса является произведением некоторой функции $\sigma_\varepsilon^K / \sigma$, которая в общем случае является нелинейной функцией обжатия ε . Для нагартованного металла при обжатии более 0,25 имеем $\sigma \approx \sigma_\varepsilon^K \approx \sigma_T^{cp}$ и в этом случае, коэффициент запаса K_3 обратно пропорционален полному геометрическому фактору волокни.

Введенное выше понятие полного геометрического фактора волокни оказывается также весьма полезным и для вычисления предельных или допустимых обжатий при волочении мягкого материала на первом переходе, когда функции σ_ε и σ_T являются существенно нелинейными.

Как известно, допустимое на переходе обжатие, при котором проволока еще не будет затягиваться, определяется уравнением

$$\sigma_Z(\varepsilon) = \sigma_T^K(\varepsilon), \quad (15)$$

Используя теперь любую из формул для усилия волочения, например, формулу Зибеля, имеем

$$\sigma_T^K(\varepsilon) = \frac{\sigma_T^O + \sigma_T^K(\varepsilon)}{2} \left[\left(1 + \frac{f}{2}\right) \ln \mu + \frac{2}{3} \alpha \right] + 2f \sigma_T^K(\varepsilon), \quad (16)$$

Откуда, после несложных преобразований, получаем нелинейное уравнение для определения допустимого обжатия ε

$$\frac{2\sigma_T^K(\varepsilon)}{\sigma_T^O} = \frac{(1 + f/\alpha) \ln \mu + 2/3 \alpha}{1 - 1/2 [(1 + f/\alpha) \ln \mu + 2/3 \alpha - 2f]}, \quad (17)$$

Первую часть последнего выражения можно интерпретировать как полный геометрический фактор волокна F , учитывающий влияние калибрующего пояса. Левая часть F_1 выражения (17) определяется только кривыми нагартовки и пластичности деформируемого металла. Выведенное уравнение, при фиксированных значениях f и α , имеет решение ε , являющееся абсциссой точки пересечения функций $F_1(\varepsilon)$, $F(\varepsilon)$ и может быть легко найдено для любого конкретного протягиваемого материала численно с учетом кривых его нагартовки и пластичности, а также заданных параметров f, α для любой конкретной волокна. То есть введение понятия геометрического фактора волокна позволяет решать нелинейные уравнения общего вида для предельных обжатий

$$F[\sigma(\varepsilon)] = F(\varepsilon, \alpha), \quad (18)$$

левая часть которых зависит только от безразмерных параметров, определяемых из кривых пластичности и нагартовки, а правая их часть зависит только от геометрических параметров волоочильного инструмента.

Литература

1. Карпушенко В.П., Щепенюк Л.А., Антоненко Ю.А., Науменко А.А. Силовые кабели низкого и среднего напряжения. – Харьков, Регион-информ, 2000, 373 с. 2. Перлин И.Л., Ерманюк М.З. Теория волоочения. – М., Металлургия, 1971, 448 с.

УДК 621.393

ПРИБЛИЖЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЖАТИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ КРУГЛЫХ МЕДНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ

Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А.

(г. Харьков, Украина)

The approximated ratio for limiting coggings instituted according to the theories Gavrilenko and Petrova are reviewed.

В инженерной практике определения параметров режима волоочения круглых профилей электротехнического назначения часто возникает вопрос вычисления допустимого обжатия на первом переходе. В большинстве маршрутов волоочения на первой волоке заготовкой является медная или алюминиевая катанка, т.е. мягкий материал, имеющий низкое значение начального предела текучести σ_m^0 и предела прочности σ_B^0 . Однако, здесь достигаются и достаточно высокие обжатия ε , что позволяет максимально использовать пластические свойства пока еще не нагартованного материала. Учитывая то, что при любом маршруте волоочения сечение профиля после первой волоки можно менять в широких пределах, без ущерба для коэффициента скольжения (т.к. перед первой тяговой шайбой нет никакой предшествующей тяговой шайбы). Часто возникает вопрос быстрой оценки предельного обжатия, которое может быть достигнуто без затяжки.

Для проведения таких оценок можно воспользоваться простейшими выражениями для усилия волоочения [1].

$$P_z = \sigma_s S_k (\mu - 1)(1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (1)$$

$$P_z = \sigma_s S_k \ln \mu (1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (2)$$

где σ_s - сопротивление деформации; S_k - конечное сечение; μ - коэффициент вытяжки; α - полуугол рабочего конуса; f - коэффициент трения; P_z - усилие волоочения.

Эти выражения называются соответственно формулами Гавриленко и Петрова.

Они, хотя и не дают высокой точности, зато отличаются простотой, что позволяет получить из них вполне приемлемые для практики приближенные аналитические решения. В частности, некоторая неопределенность применения этих выражений возникает из-за неопределенности понятия сопротивления деформации. Однако, как показывает опыт, ее легко обойти, приняв в качестве этой величины значение предела прочности после волоки, что вполне приемлемо при обжатиях более 0,25.

$$\sigma_s \approx \sigma_B^K, \quad (3)$$

Из выражений (1, 2) с учетом (3) можно определить, соответственно, усилия волоочения σ_z

$$\sigma_z = P_z / S_k = \sigma_B^K (\mu - 1)(1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (4)$$

$$\sigma_z = \sigma_B^K \ln \mu (1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (5)$$

Учитывая теперь связь между обжатием ε и вытяжкой

$$\mu = 1/(1 - \varepsilon), \quad (6)$$

и то, что σ_z может достигать значения предела текучести после перехода σ_T^K без затяжки проволоки, выражения (4, 5), соответственно, перепишем в виде

$$\sigma_T^K = \sigma_B^K (\varepsilon / (1 - \varepsilon)) (1 + fctg\alpha), \quad (7)$$

$$\sigma_T^K = \sigma_B^K \ln(1 / (1 - \varepsilon)) (1 + fctg\alpha), \quad (8)$$

Разделив переменные в (7, 8) так, чтобы в левой части стояли только параметры, характеризующие пластические свойства металла, а в правой – только параметры характеризующие волочильный инструмент, будем иметь

$$\sigma_T^K(\varepsilon) / \sigma_B^K(\varepsilon) = \frac{(\varepsilon(1 + fctg\alpha))}{1 - \varepsilon}, \quad (9)$$

$$\sigma_T^K(\varepsilon) / \sigma_B^K(\varepsilon) = (1 + fctg\alpha) \ln \frac{1}{1 - \varepsilon}, \quad (10)$$

Из опыта известно, что предельные обжатия, которые могут быть получены для меди и алюминия, на первом переходе превосходят 0,25. При этих условиях кривая пластичности и кривая нагартовки сильно сближаются так, что предел текучести этих материалов после волоки $\sigma_T^K(\varepsilon)$ и предела прочности $\sigma_B^K(\varepsilon)$ различаются незначительно, т.е. можно принять с достаточной степенью точности $\sigma_T^K(\varepsilon) / \sigma_B^K(\varepsilon) = 1$. Тогда, нелинейные уравнения (9, 10) имеют аналитические решения, соответственно, равные

$$\varepsilon = 1 / (2 + fctg\alpha), \quad (11)$$

$$\varepsilon = 1 - (1 / \exp(1 / (1 + fctg\alpha))), \quad (12)$$

При волочении с использованием, например, твердосплавных волок из сплава ВК полуугол α рабочего конуса составляет 6° согласно ГОСТ 9453-75. Значение коэффициента трения по нормальному давлению f для пары «отожженная заготовка - твердосплавная волока» соответственно равен [2] для отожженного алюминия $f = 0,1$ и для отожженной меди $f = 0,07$. Подставляя эти параметры в (11, 12) получаем значения предельных обжатий согласно теории Гавриленко 37% и 34% для меди и алюминия и по теории Петрова, соответственно, для тех же материалов 45% и 41%. Отсюда видно, что значение предельного обжатия для одного и того же материала, вычисленные по разным теориям, отклоняются от среднего значения для меди на 4%, а для алюминия – на 3,5%, что вполне допустимо для приближенных оценок.

Литература

1. Карпушенко В.П., Щебенюк Л.А., Антоненц Ю.А., Науменко А.А. Силовые кабели низкого и среднего напряжения. – Харьков, Регион-информ, 2000, 373 с. 2. Перлин И.Л., Ерманюк М.З. Теория волочения. – М., Металлургия, 1971, 448 с.

УДК 539.3.; 541.182.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Колодяжный А.В., Мельчакова Н.В.

(г. Харьков, Украина)

The opportunity of reception of products from a polycomponental powder material by a method of the soldering high-strength amorphous solders of nickel group is considered. Geometrical characteristics of a powder material and dependence of porosity on them are determined.

Для получения продукции, обладающей всеми функциональными свойствами и являющейся конкурентно-способной на мировых рынках, необходимо применение новых прогрессивных технологий. Это означает, что такие технологии должны быть и экономически выгодные. Известно, что одной из таких технологий является спекание изделий из ПМ. За последние два десятилетия в этой области наметилось два направления. Это получение порошковых материалов сферической (регулярно-выпуклой) формы распылением и значительный прогресс в получении конструкционных металлических порошков аморфной структуры, обладающих хорошей прочностью, пластичностью и широкой гаммой служебных свойств (износостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и т.п.). Среди таких ПМ имеется класс порошков, являющихся аморфными припоями никелевой группы (никель-медные, например «куниф»- Cu, Ni, Fe, никель-

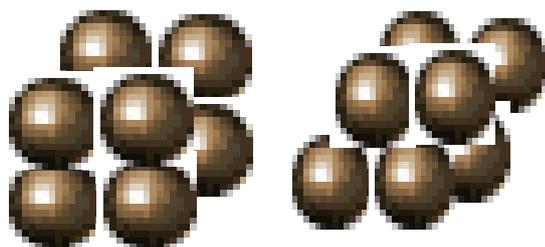


Рис.1

спекание изделий из ПМ. За последние два десятилетия в этой области наметилось два направления. Это получение порошковых материалов сферической (регулярно-выпуклой) формы распылением и значительный прогресс в получении конструкционных металлических порошков аморфной структуры, обладающих хорошей прочностью, пластичностью и широкой гаммой служебных свойств (износостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и т.п.). Среди таких ПМ имеется класс порошков, являющихся аморфными припоями никелевой группы (никель-медные, например «куниф»- Cu, Ni, Fe, никель-

хромовые, например, ВПр 41, ВПр 42, с температурой плавления 1150°C - 1200°C , $\sigma = 480$ - 520 МПа), обладающие хорошей смачиваемостью, самофлюсующиеся, которые используются в авиационной промышленности.

Нами предлагается технология, состоящая в приготовлении поликомпонентного ПМ из смеси определенных фракций ПМ (конструкционного порошка и припоя), перемешанных до гомогенного состояния, виброзаполнения форм изделия и нагрева таких форм (в печи ТВЧ-генератор или др.) до температуры плавления припоя. При этом порошок припоя смачивает каждую сферическую порошину конструкционного ПМ очень тонким слоем и собирается в зонах касания конструкционных Порошин под действием капиллярных сил. Рассмотрев идеальные (по строению) структуры (кубическая, ромбическая и т.д.), а также стохастическую (см. рис. 1), удалось установить геометрические и весовые соотношения конструкционного ПМ и припоя. Так, если рассматривать кубическую структуру, состоящую из восьми соприкасающихся конструкционных порошин радиуса R , то между ними (касаясь всех восьми) находится сферическая порошина припоя радиуса $r=0,73R$.

Оказывается, в объеме, состоящем из описанного куба, таких порошин припоя восемь шт. Отсюда получается весовое соотношение двух фракций 1:0,39, при этом пористость Π такой идеальной структуры $\Pi=27\%$ для кубической структуры. Однако, эта структура при таянии припоя становится неустойчивой – каждый шар верхнего слоя опускается в лунку, опираясь на четыре соприкасающиеся порошины конструкционного ПМ, а их центры образуют правильную четырехгранную пирамиду. Таким образом, куб со стороной $4R$ переходит в параллелограмм с тем же основанием и высотой $h=3,42R$, сохраняя массу. При этом пористость бикомпонентного материала будет не более $\Pi \leq 17,30\%$. Дальнейшее уменьшение пористости происходит за счет добавления в многокомпонентный ПМ более мелкой фракции сферического конструкционного материала $r=(5...15)R$ (для заполнения пор фракции R), при этом можно получить материал с любой заданной пористостью. Объемную долю пустот можно определить по насыпной плотности ПМ или плотности таблетированных образцов. Для легированных сталей она равна $\rho_{стм} \approx 4,0...4,6$ г/см³.

Объем частиц фракций, входящих в ПМ, определяем по соотношениям:

$$S_1 = \frac{1}{1+V_1}; \quad S_2 = \frac{V_1}{1+V_2}; \quad S_3 = \frac{V_2^2}{1+V_3};$$

$$S_{n-1} = \frac{V_{n-2}^{n-2}}{1+V_{n-1}}; \quad S_n = \frac{P V_{n-1}^{n-1}}{1+V_n},$$

здесь V_n - объемная доля пустот в данной фракции, S_n - объемная доля частиц данной фракции ПМ, P - пропорциональная доля последней фракции.

Прочность поликомпонентного порошкового материала определяется количеством точек касания между сферическими конструкционными порошинами фракций наибольшим радиусом R и более мелкими фракциями, а так же радиусами шайб остывшего припоя вокруг этих точек касания. Для идеальных структур, которые являются (после таяния порошин припоя) однокомпонентным ПМ, таких точек будет шесть и в предположении равномерного распределения припоя по точкам касания порошин, можно вычислить радиус этих шайб-галтелей: $r=0,638R$. Однако действительная прочность такого материала определяется экспериментально при статических и динамических (ударных) испытаниях линейных образцов на разрыв.

Литература

1. Самойлов В.М., Дренова Е.И., Самойлов Д.В. Расчет гранулометрического состава полидисперсного порошкового наполнителя, обеспечивающего максимальную плотность упаковки частиц.- Порошковая металлургия.1995, №3/4,- стр.24-28.
2. Колодяжный А.В. Объемная пайка.-К.: Вісник інженерної академії України,-2000.337с.
3. Колодяжный А.В., Мельчакова Н.В. Определение механических характеристик биметаллической композиции порошкового материала в технологии объемной пайки.

УДК 539.3

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Вакуленко К.В., Меша Ю.В., Чернобрышко М.В., канд. тех. наук.

(г. Харьков, Украина)

The problem of hardening of elements of designs which are subject to influence pulse loading is considered. The mathematical model of process with a variation of loading is under construction. The wave equation is solved and numerical experiment for rail steel is carried out.

Среди многообразия технологий обработки деталей и элементов конструкций, а также испытаний материалов, одно из значительных мест занимают технологии, строящиеся на основе импульсного нагружения. Импульсным нагрузкам также подвергаются в процессе работы реальные промышленные конструкции.

Как известно, импульсное нагружение представляет собой воздействие давлениями $10^6 - 10^9$ Па за достаточно малый промежуток времени (10^{-6} с и менее). В результате чего изменяется напряженно-деформированное состояние (НДС) материала с возникновением упругих, пластических или смешанных деформаций или разрушением. Поэтому, в зависимости от назначения технологического процесса подбирается вид, сила и время воздействия.

Так в [1] описана технология динамического испытания материалов с применением электрического импульса. Проводилось исследование НДС кольцевых образцов и их температуры. В [2] предлагалось использовать импульсный энергоноситель для разделения и изготовления деталей по нанесенному вдоль заданного контура концентратору. При этом отмечалось, что характер роста и прохождения разделяющих трещин существенно зависит от величины и длительности импульса прилагаемой нагрузки. Эффект упрочнения подложки в результате воздействия плазменной струей с образованием покрытия отмечен в [3]. В упомянутых работах однако не проводится экспериментальный подбор, а не численный анализ процессов с изменением величины нагружения и подбора его оптимальных параметров.

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием используется для повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла, а также для формирования в нем поверхностных внутренних напряжений (преимущественно сжатия). Для этого исследовались физико-механические свойства металла в момент действия нагрузки [4,5], процесс распространения в них волн и распределения напряжений и деформаций [6,7]. При этом, результат упрочнения в зависимости от вариации нагружения во внимание не принимался.

Исследование времени воздействия и максимальной величины импульса намного проще производить методами математического моделирования, а не путем реального и зачастую дорогостоящего эксперимента. В данной работе рассмотрено упрочнение металлических материалов сильным воздействием импульсной нагрузки. В результате такого специально подобранного воздействия, металлическая поверхность деформируется сначала в упругой зоне, потом в пластической. А в результате снятия импульса нагрузки остаточные напряжения позволяют получить новые прочностные свойства для имеющегося изделия. Однако, чтобы данная схема привела к упрочнению, а не разрушению конструкции, необходим предварительный расчет максимальной величины прикладываемой нагрузки, времени и зоны ее воздействия.

Для решения поставленной задачи определим напряженно НДС толстой пластины под действием импульсной нагрузки, сосредоточенной на некоторой прямоугольной области. Декартову систему координат выбираем так, что начало координат совпадает с зоной приложения активной нагрузки. В результате сильного кратковременного локального воздействия пластина деформируется. Как показали исследования [5] в зоне нагружения возникают большие пластические деформации. Учитывается также влияние скорости деформации на прочностные свойства материала. Поэтому компоненты тензоров напряжений, деформаций и ее скоростей выражаем через величину внешней нагрузки. Дальнейший этап исследования предполагает путем математического моделирования выразить параметры НДС через величину импульсной нагрузки. Таким образом, проварьировав параметры нагружения, определяем их оптимальную величину, по сути дела решая обратную задачу.

Если считать среду однородной и изотропной, то перемещения находим из волнового уравнения [8]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \Delta u + P(x, y, z, t) \quad (1)$$

где u – вектор перемещения; $a = \sqrt{(1/\rho)(d\sigma_i/de_i)}$; P – импульсная нагрузка; с начальными:

$$u(x, y, z, t) = u(x, y, z, 0) = 0, \quad \frac{\partial u(x, y, z, t)}{\partial t} = \frac{\partial u(x, y, z, 0)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

и граничными условиями:

$$\begin{aligned} u(x, y, z, t)|_{x=0} &= u(x, y, z, t)|_{x=a} = 0, \\ u(x, y, z, t)|_{y=0} &= u(x, y, z, t)|_{y=b} = 0, \\ u(x, y, z, t)|_{z=0} &= u(x, y, z, t)|_{z=h} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Математическое выражение для приложенной нагрузки записываем следующим образом:

$$P_z(l, t) = P_m \exp\left[-\frac{1}{Q}(t-l/D)\right] H(t-l/D) \quad (4)$$

где P_m – максимальное давление на фронте волны; Q – показатель убывания давления за фронтом; $l(x, y)$ – направление распространения нагрузки; D – скорость распространения фронта нагрузки; $H(\tau)$ – функция Хэвисайда.

Такой вид (4) позволяет учесть как кратковременность, так и интенсивность нагружения, а также предусмотреть распространение и быстрое затухание внешнего воздействия [9].

Смешанную задачу (1) – (3) решаем методом Фурье. Сходимость решения проверяется путем численного эксперимента. В результате исследования получаем следующую зависимость для вектора перемещений:

$$u(x, y, z, t) = \sum_{k,n,m=1}^{\infty} T_{knm}(t) X_k(x) Y_n(y) Z_m(z) \quad (5)$$

$$T_{knm}(t) = C^1_{knm} \cos \omega_{knm} t + C^2_{knm} \sin \omega_{knm} t + \int_0^t P_{knm}(\tau) \frac{\sin \omega_{knm}(t-\tau)}{\omega_{knm}} d\tau$$

где

Процесс скоростного упрочнения рассматриваем с учетом больших пластических деформаций в течение

очень короткого времени. В качестве основной физической закономерности принимаем условие совпадения направляющего тензора напряжений с направляющим тензором деформаций и с направляющим тензором скоростей деформаций. Такое положение справедливо в условиях простого нагружения и, как показано в [8] может быть применимо к исследованию изотропного деформирования металлов. Поэтому компоненты тензора деформаций находим согласно известным зависимостям [9]. При дальнейших исследованиях переходим к интенсивностям деформаций, а интенсивности напряжений ищем исходя из следующих соображений.

Зависимость $\sigma_i - e_i$ для упругой области вычисляется по закону Гука, а для области разгрузки аппроксимируется линейным законом. Зависимость $\sigma_i - e_i$ для пластической области строим на основе модели материала со степенным законом деформационного упрочнения [16]: $\sigma_i = 3Ge_i[1 - \omega(e_i)]$

где $\omega(e_i) = 1 - (e_i/e_s^{дин})^{m-1}$ - кинематическое упрочнение, выражающее зависимость прочностных и деформационных характеристик материала от скорости деформации.

В результате анализа e_i для конкретной области выбираем свой закон вычисления σ_i :

Дальнейшее решение задачи проводится численными методами, в частности, методом конечных разностей с использованием неявной разностной схемы, что позволяет обеспечить сходимость решения и удовлетворению полному набору начальных и граничных условий, вплоть до вторых производных от заданных функций.

Рассмотрим упрочнение прямоугольной пластины длиной 30 мм, шириной 70 мм и толщиной 5 мм (рис. 1).

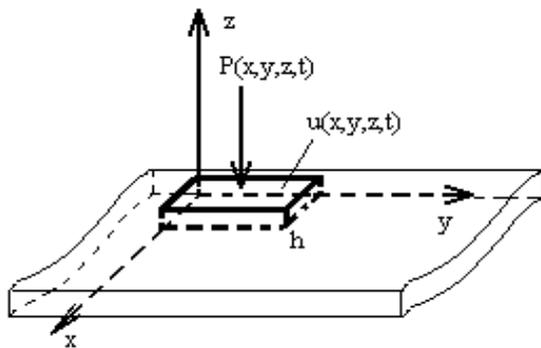


Рис. 1 Схема расчета задачи.

Материал пластины – сталь со следующими характеристиками: модуль упругости - $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона - $\nu = 0.3$; плотность - $0,0078$ кг/см³; статический предел текучести - $\sigma_T^{ст} = 204$ МПа; модуль упрочнения - $E_T = 58 \cdot 10^2$ МПа; динамический предел текучести - $\sigma_T^д = 240$ МПа. Однако, следует заметить, что для этого необходимо провести дополнительное экспериментальное исследование. Использовалась равномерная прямоугольная сетка. Размер ячейки выбирался из соображений устойчивости разностной схемы. Выбор шага по времени определялся условием Куранта-Фридрихса:

$$h_z < h_x h_y h_z / (h_x + h_y + h_z) c,$$

где c – скорость волны растяжения-сжатия или скорость распространения волны в материале.

В результате исследования получены зависимости деформаций на промежутке $0 - h$ от времени для различных величин давления (рис. 2). Кривая 1 соответствует давлению в $3 \cdot 10^9$ Па, кривая 2 — давлению в $2 \cdot 10^9$ Па, кривая 3 — давлению в $1.5 \cdot 10^9$ Па и кривая 4 — давлению в $1 \cdot 10^9$ Па. На графике хорошо просматривается, что повышение давления влечет за собой рост деформаций по толщине пластины, что в свою очередь влияет на упрочнение конструкции в процессе импульсного нагружения. Также исследования показали, что повторное нагружение увеличивает зону упрочнения по толщине пластины.

В настоящей работе изложен еще один подход к исследованию упрочнения материалов. Это математический подход, который позволяет заменить ряд трудоемких и дорогостоящих экспериментов численными исследованиями. Еще одно преимущество изложенного метода заключается в том, что проводя численный эксперимент мы не ориентируемся на конкретный вид нагружения, а используем в вычислениях

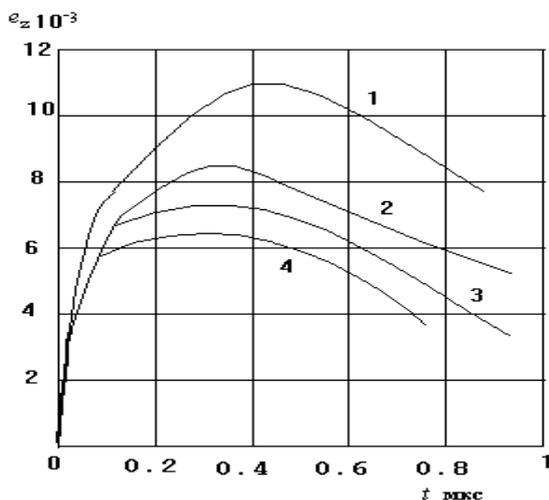


Рис. 2. Развитие во времени деформаций по толщине пластины.

только математическую интерпретацию вида импульсной нагрузки. Таким образом, всегда можно адаптировать уже проведенные исследования к новому типу импульса. Однако, следует заметить, что для этого необходимо провести дополнительное экспериментальное исследование.

Литература

1. Колодяжный А.В., Вакуленко К.В., Чернобрышко М.В. Электроимпульсный метод определения динамических деформационных характеристик материалов // Вісник інженерної академії України. Спец. вип. 2001. Інформація по 3-ій міжнар. наук.-техн. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". (24-26 квітня 2001 р.), Харків. -2001. - С.122-125.
2. Колодяжный А.В., Вакуленко К.В., Чернобрышко М.В., Яреценко В.Г. Применение электровзрывного импульсного нагружения для управляемого разделения конструктивных элементов // Вісник інже-

- нерної академії України. Спец. вип. 2002. Інформація по 5-ій міжнар. наук.-техн. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". (28-30 травня 2002 р.), Харків. -2002. – С. 556 – 559.
3. Колодяжный А.В., Вакуленко К.В., Сотрихин С.Ю. Эффект электрического взрыва проводников и его технологическое использование при испытании материалов при поверхностном упрочнении // Вісник інженерної академії України. Спец. вип.. 2000. Інформація по 2-ій міжнар. наук.-техн. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". (1–3 листопада 2000 р.), Харків. - 2000. - С.185-188.
 4. Степанов Г.В. Модель механического поведения металлических материалов при действии нагрузок импульсного характера. // Проблемы прочности, 1978. – №5. – С. 99-104.
 5. Степанов Г.В. Уруго-пластическое деформирование материалов под действием импульсных нагрузок. – К.: Наук. думка, 1979.
 6. Степанов Г.В. Распространение плоских волн в вязкопластичном материале с линейным упрочнением. // Проблемы прочности, 1975. – №8. – С. 68 - 71.
 7. Ольсон Г.Б., Мескал Дж. Ф., Азрин Л. Локализация деформаций при ударном нагружении / Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов. – М.: Металлургия, 1984. – с. 67-89.
 8. Кононенко В.Г. Высокоскоростное формоизменение и разрушение металлов. – Харьков: Вища школа / изд.-1980. – 232 с.
 9. Воробьев Ю.С., Колодяжный А.В., и др. Скоростное деформирование элементов конструкций. - Киев: Наук. думка, 1989. - 192 с.

УДК 697.34

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТ СТРУКТУРЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЭНЕРГЕТИКИ

**Воинов А.П., докт. техн. наук, проф.,
Воинова С.А., канд. техн. наук, доц., Д.В. Чернуха.**
(г. Одесса, Украина)

The influence of fuel and energy structure balance that exist today in the energy of Ukraine, on the development of heat supply systems is illuminated.

В нынешней структуре топливно-энергетического баланса энергетики Украины доля отечественного твёрдого топлива несущественно превосходит 50%, остальную часть составляют импортное газовое и жидкое топливо. Данная структура временна, она обусловлена преходящими трудностями перестройки и развития народного хозяйства.

Возможный прогноз предстоящего изменения структуры опирается на анализ направления и силы действия влияющих факторов [1, 2, 3].

Первым из числа основных факторов является то обстоятельство, что основная масса котельно-топочного оборудования ТЭС рассчитана на сжигание энергетического твёрдого топлива.

Вторым фактором является то обстоятельство, что повышение энерговооружённости народного хозяйства, снижение энергетической составляющей в себестоимости продукции всех его отраслей возможно только при условии уменьшения цены электричества и теплоты. А цену этих универсальных товарных энергетических ресурсов определяет цена первичного ресурса – топлива. Единственный путь, ведущий к этому результату, - это путь вытеснения в топливном балансе дорогостоящего импортного газового и жидкого топлива отечественным недорогим энергетическим твёрдым топливом. Решающее значение успеха на этом пути для развития государства очевидно.

Перевод в бывшем Союзе со второй половины 60-х годов прошлого столетия подавляющего числа малых, средних и некоторого числа крупных котлов на газовое топливо, а также значительного числа – на жидкое – был естественной реакцией энергетики на появление и быстрое развитие добычи топлива этих видов, их низкой цену и отечественное их производство.

Последовавшее в 90-х годах резкое изменение обстановки на топливном рынке поставило значительную часть отечественной энергетики перед необходимостью работать на газомазутном, но теперь импортном, топливе. Усугубило обстановку сокращение производства отечественного твёрдого топлива и естественное в условиях добычи на Донбассе снижение его качества. А это обусловило необходимость сжигания жидкого топлива в объёме нескольких миллионов тонн в год для подсветки факела в пылеугольных топках, на ТЭС.

В сложившейся обстановке для развития энергетики остаётся единственный путь – изменение структуры ее топливного баланса путем планомерного увеличения в ней доли твёрдого отечественного топлива.

В соответствии с изложенным, целесообразно новые вводимые огнетехнические установки, прежде всего энергетические, проектировать, в основном на использование твёрдого топлива, параллельно, планомерно переводить на него часть действующих котельных; начиная с крупных, постепенно переходить на средние и мелкие. На это должна быть ориентирована научно-техническая и инвестиционная политика, проводимая в топливно-энергетическом комплексе страны, стратегическая программа его развития.

Для осуществления этой программы, столь же важной, сколь и нуждающейся в крупном вложении ресурсов, необходимы существенные изменения в ряде крупных организационно-технических вопросов. Отметим два из их числа.

Во-первых, необходимо расширение производства в сфере обогащения твёрдого топлива и его кондиционирования (классификации) по крупности кусков. Только при поставке малым и, особенно, микропотребителям высококачественного твёрдого топлива, возможно применение автоматизированных малых топочных устройств, надёжно действующих в условиях периодического их обслуживания.

Во-вторых, необходимо проведение комплекса работ по созданию новых и обновлению существующих топочных устройств и котельно-топочных систем в целом, способных функционировать на твёрдом топливе с высокой эффективностью. При этом, естественно, в энергетике целесообразно сжигать низкокачественное, а в жилищно-коммунальном секторе – высококачественное твёрдое топливо.

Результаты использования твёрдого топлива разных сортов, особенно низкокачественного топлива, зависят от возможностей применяемых котельно-топочных технологий. Анализ известных из их числа показывает, что высоко эффективное сжигание энергетического, т. е. низкокачественного, твёрдого топлива возможно только при использовании прогрессивных и приоритетных технологий, прежде всего технологии объёмного охлаждения топочной среды, технологии кипящего слоя, технологии низкотемпературного сжигания, технологии пиролиза твёрдого топлива, технологии сжигания под давлением. Значительный интерес представляет сочетание перечисленных технологий, особенно первых трёх [4–7, 9].

Изложенные обстоятельства влияют на структуру поставки органического топлива в важную часть энергетики – в сферу теплообеспечения (ТО) жилищно-коммунального сектора.

На фоне изложенного есть основание считать характерным развитие ТО в ближайшей перспективе со следующими особенностями:

- возрастание доли твёрдого топлива в структуре топливного баланса энергетики на 1-3 % в год, с ускорением;
- направление необходимых ресурсов на повышение технологической эффективности существующих котельно-топочных систем, работающих на твёрдом топливе, также на создание новых высоко эффективных систем,
- внедрение на ТЭС технологий низкотемпературного циркулирующего кипящего слоя для рекордно высококачественного твёрдого топлива (прежде всего, для отходов обогащения каменного угля и антрацита);
- применение в средней энергетике, на промышленно-отопительных котельных котельно-топочных систем с низкотемпературным пузырьковым кипящим слоем для энергетического твёрдого топлива, включая высококачественное,
- внедрение в системах ТО предельно малой мощности и в индивидуальных установках автоматических водонагревателей на твёрдом кондиционированном топливе высокого качества;
- применение догрева сетевой воды в тепловых пунктах, в условиях пикового или предпикового режимов с источниками теплоты разных типов, в том числе источниками на твёрдом топливе,
- применение в системах ТО новых совершенных систем автоматизированного управления с алгоритмами процесса управления, адаптивными к погодным условиям, качеству топлива и особенностям режима работы оборудования, включая аварийные режимы [8].

Выводы

1. Предстоящее увеличение доли твёрдого топлива в топливно-энергетическом балансе энергетики Украины обуславливает соответствующие изменения постановки и решения ряда научно-технических и организационно-технических вопросов в сфере ТО.
2. Необходимо проведение подготовки к переводу части источников теплоты, работающих на природном газе, на твёрдое топливо.
3. Необходимо выполнение программы научно-исследовательских, проектно-конструкторских и внедренческих работ для широкого промышленного освоения технологии высокоэффективного использования низкокачественного твёрдого топлива, прежде всего, - технологии объёмного охлаждения топки и технологии низкотемпературного кипящего слоя.
4. В создаваемых и в обновляемых котельно-топочных системах необходимо использовать прогрессивные и приоритетные технологии. Значительный интерес представляет сочетание некоторых из них.
5. Прогрессивные технологии сжигания твёрдого топлива целесообразно применять на ТЭЦ и в промышленно-отопительных котельных во всём диапазоне мощности используемых в них котлов.
6. Для индивидуальных систем ТО предельно малой мощности целесообразно разработать оригинальные топочные устройства на кондиционированном твёрдом топливе высокого качества, допускающие периодическое обслуживание.
7. Существующие котельные установки, работающие на газовом топливе, целесообразно обновлять переводом их на энергетическое твёрдое топливо, с использованием технологий объёмного охлаждения топки и низкотемпературного кипящего слоя, с оставлением газового топлива в качестве растопочного, или, в отдельных случаях, в качестве растопочно-резервного.

8. Важным условием успешного использования твердого топлива в сфере ТО является применение в котельных установках систем автоматизированного управления технологическим процессом, в которых использованы новейшие достижения теории и практики управления.

Литература

1. Дикий М.О. Сучасний стан і перспективи оздоровлення енергетики України // Електрические станции. — 2001. — № 5. — С. 2.
2. Воинов А.П. Проблемы нормализации состояния и дальнейшего развития энергетики Украины // Вісник інж. акад. України. Спец. випуск. — Одеса, 1998 г. — С. 19 — 20.
3. Малахов Ю.В., Шевченко Н.Е., Воробьёв И.Е. О стратегии и основных направлениях развития электроэнергетики Украины в первой половине XXI века // Энергетика и электрификация — 2001. — № 7. — С. 8 — 14.
4. Сжигание топлива в псевдооживленном слое // Махорин К.Е., Хинкис П.А. / Отв. ред. Сигал И.Я. — Киев: Ин-т газа АН УССР. — Наук. думка, 1989.
5. Воинов А.П. Проблематика применения топочного псевдооживленного слоя в котельно-топочных процессах // Тези доп. 9 Міжнар. конф. "Удосконалення хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв", 10-13 вересня 1998 р.: — Одеса: 1996. — С. 28.
6. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
7. Воинов А. П. Элементы рабочего процесса котла с объемно-охлаждаемой топкой с кипящим слоем. В кн. "Сжигание и газификация твердых топлив в кипящем слое". (Свердловск, май 1986). Тез. докл. на н.-т. конф. - Свердловск: 1986.
8. Воинов А. П., Воинова С. А. Особенности автоматического управления котлами с низкотемпературным пузырьковым кипящим слоем. Вісник Інженерної академії України. — 1997. — № 2.
9. Воинов А.П. Особенности рабочего процесса котла с объемно-охлаждаемой топкой // Изв. Вузов СССР — Энергетика, 1982, №1. — С. 62 — 67.

УДК 697.34

ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЕ. КАКИМ ПУТЕМ ЕМУ РАЗВИВАТЬСЯ?

Воинов А.П., докт. техн. наук, проф.
(г. Одесса, Украина)

The problem of development of system of the centralized heating is analysed. The probably perspective of the solution of a problem is justified.

Понятие "теплообеспечение" (ТО) включает две составляющие: "теплоснабжение" (ТС), то есть выработку и подачу к потребителю теплоты, и "теплоиспользование" (ТП), — подачу теплоты внутри строения, к помещениям потребителей и распределение ее в их объеме.

В первой половине прошлого столетия в бывшем Союзе была осуществлена программа разработки и широкого применения крупных систем централизованного ТО (СЦТО). Ее научно-технической основой является экономическая (следовательно, и экологическая!) целесообразность комбинированной выработки электричества и теплоты в энергоустановках тепловых электрических станций.

Каждая СЦТО содержит три основных элемента: источник теплоты (ТЭС, ТЭЦ, районную котельную), тепловую сеть — (систему различных трубопроводов) и оборудование в районе расположения потребителей (тепловые пункты, разводящие трубопроводы, трубопроводы и тепловые приборы в помещениях потребителей).

Тепловые сети — позволяют в наибольшей степени экономить капитальные вложения. Разработанные типовые решения конструкции теплопроводов и способов их прокладки отличались минимальной стоимостью. Однако практика показала, что долговечность типовых тепловых сетей оказалась невысокой. Это обстоятельство сформировало у потребителей и широкой общественности мнение о, якобы, низкой надежности СЦТО в целом.

Под влиянием упомянутых обстоятельств в последнее десятилетие раздаются голоса о, якобы, целесообразном отказе от идеи использования крупных СЦТО и переходе к системам малым. Этот вопрос приобрел концептуальное значение.

Уместно заметить, что в ведущих странах Западной Европы, вслед за бывшим Союзом, создали и широко применяют крупные СЦТО. Там тепловые сети отличаются крупными капиталовложениями и высокой надежностью. В этих странах не возник повод для попыток развенчать идею, концепцию ЦТО.

Ныне в Украине практически во всех крупных населенных пунктах действуют СЦТО.

Отечественная энергетика в сфере ТО ищет пути выхода из трудного положения. Каков же целесообразный путь, что следует учесть при его выборе? Важность выбора верного решения трудно переоценить.

Проблема уточнения или выбора целесообразного пути развития СЦТО в нашей стране содержит научно-технический и социальный аспекты. В свою очередь, научно-технический аспект содержит три составляющие:

экологическую, экономическую и общетехническую.

Таблица

Сопоставительный анализ систем ТО

| Фактор | Кэф. весомости фактора | Система ТО | | | |
|--|------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| | | ЦСТО | ТО ^С | ЦСТО | ТО ^{СТ} |
| | | Балл исходный | | Балл с учетом коэф. весомости | |
| 1 Экологический аспект | | | | | |
| 1.1 Выброс | 3 | 2 | 0 | 6 | 0 |
| 1.2 Сброс | 1,5 | 1 | 2 | 1,5 | 3 |
| 1.3 Тепловое загрязнение грунта | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 1.4 Отторжение площадей | 1,5 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Частная сумма баллов | | 5 | 4 | 11,0 | 6,5 |
| Частное соотношение числа баллов | | 1,0 | 0,80 | 1,0 | 0,59 |
| <u>2 Экономический аспект</u> | | | | | |
| 2.1 Изыскательские и проектные разработки | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2.2 Капитальные вложения в систему, удельные | 1,5 | 1 | 2 | 1,5 | 3 |
| 2.3 Оплата топлива и материалов | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| 2.4 Оплата технич. обслуживания | 1,5 | 2 | 1 | 3 | 1,5 |
| Частная сумма баллов | | 6 | 5 | 9,5 | 7,5 |
| Частное соотношение числа баллов | | 1,0 | 0,83 | 1,0 | 0,79 |
| 3 Общетеchnический аспект | | | | | |
| Надежность | | | | | |
| 3.1 Безотказность | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 3.2 Долговечность тепловой сети | 1,5 | 1 | 2 | 1,5 | 3 |
| 3.3 Ремонтопригодность | 1,5 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |
| 3.4 Сохраняемость | 1,25 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 |
| 3.5 Степень автоматизации | 1,5 | 2 | 1 | 3 | 1,5 |
| 3.6 Удельные капиталовложения в тепловую сеть | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 3.7 Приемистость | 1,5 | 1 | 2 | 1,5 | 3 |
| 3.8 Ряд удельных показателей функционирования | 1,25 | 2 | 1 | 2,5 | 1,25 |
| 3.9 Уровень требовательности к квалификации персонала | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| Частная сумма баллов | | 13 | 13 | 20,5 | 20,5 |
| Частное соотнош. числа баллов | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 Социальный аспект | | | | | |
| 4.1 Мнение граждан о качестве работы СТО | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| 4.2 Уровень оплаты услуг по ТО | 2 | 2 | 0 | 4 | 0 |
| 4.3 Эргономичность элементов оборудования СТО | 1,5 | 2 | 1 | 3 | 1,5 |
| 4.4 Степень использования накопленного опыта применения СЦТО | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| Частная сумма баллов | | 8 | 4 | 15 | 7,5 |
| Частное соотнош. числа баллов | | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 0,5 |
| Общая сумма баллов | | 31 | 23 | 54 | 37 |
| Общее соотношение числа баллов | | 1,0 | 0,74 | 1,0 | 0,69 |

Для сопоставительного анализа свойств крупных СЦТО и свойств малых СТО воспользуемся методом логико-технической балльной оценки (ЛТБО).

Условимся оценивать степень совершенства рассматриваемой системы по данному свойству (показателю, фактору) баллом 2, если степень совершенства высока, баллом 1, если она средняя, и баллом 0, если она низка.

Показатели совершенства систем ТО приняты в качестве влияющих факторов. Представляет интерес сопоставительный анализ свойств систем без учета и с учетом коэффициентов весомости факторов. Последние, как и весь анализ по методу ЛТБО, основаны на экспертной оценке степени влияния факторов. Результаты выполненного анализа приведены в таблице.

Опираясь на полученные данные, можно высказать ряд положений.

По экологическим свойствам СЦТО существенно превосходят СТО: соотношение баллов оценки составляет 1,0 : 0,62. Это особенно сильно проявляется в отношении выброса вредных веществ: 6,0 : 0.

По сбросу крупные системы уступают мелким: 1,5 : 3,0. По другим показателям сопоставляемые системы равно – ценны. Особое звучание экологическим свойствам энергетики придало то, что она превратилась в наиболее опасного и самого крупного источника загрязнения окружающей среды.

По экономическим свойствам СЦТО также существенно превосходят СТО (1,0 : 0,79). Превосходство сложилось в сфере оплаты топлива, материалов и технического обслуживания, соответственно, 4 : 2 и 3 : 1,5. Вместе с тем, мелкие системы превосходят крупные по удельным капитальным вложениям (1,5 : 3,0). По изыскательским и проектным разработкам эти системы практически равноценны. Однако,

По общетехническим свойствам СЦТО и СТО в целом практически равноценны. Однако, по некоторым частным свойствам они отличаются друг от друга. В частности, СЦТО превосходят СТО по степени автоматизации, ряду удельных показателей функционирования и по уровню требовательности к квалификации обслуживающего персонала: 3 : 1,5; 2,5 : 1,25; 4 : 2, соответственно. Малые системы превосходят крупные по долговечности тепловой сети традиционного типа (1,5 : 3), по удельным капитальным вложениям в тепловую сеть (2 : 4) и по приемистости (1,5 : 3). По другим показателям сопоставляемые системы равноценны.

По социальным свойствам СЦТО превосходят СТО (1 : 0,5) по всем показателям, кроме мнения граждан о качестве работы систем теплоснабжения (4 : 4), которое не зависит от мощности системы. В социальном отношении потребители, получающие теплоту от СЦТО, защищены от забот по созданию и содержанию системы ТО лучше.

Из изложенного следует, что СЦТО в целом превосходят СТО. Отношение их оценочных баллов составляет 1 : 0,69, с учетом коэффициентов весомости факторов, и 1 : 0,74 – без их учета. Особо следует отметить то важное обстоятельство, что это превосходство проявляется к важнейшей сфере – экологической. Кроме того, оно сложилось также в социальной и в экономической сферах. Т.о., СЦТО решительно опережают СТО по основным свойствам и, следовательно, должны сохранить положение наиболее целесообразных.

Структура топливно-энергетического баланса энергетики Украины характеризуется малой (несколько более 50 %) долей твердого топлива, высокой долей импортного дорогого газового и жидкого (несколько менее 50 %) топлива. Реализация программы увеличения доли отечественного недорогого твердого топлива – подлежит осуществлению в годы близкой перспективы.

Эта программа коснется и сферы ТО, в которой основная часть теплогенерирующего оборудования ныне сжигает газовое топливо. Реализация программы в сфере ТО будет состоять в переводе значительной части существующих топочных устройств с газового на твердое топливо, а также в создании и вводе новых топочных устройств на твердом топливе. По соображениям экологического и экономического характера, целесообразно переводить с газового на твердое топливо энергетические установки, начиная с крупных. Относительно мелкие целесообразно переводить во вторую очередь.

Известные котельно-топочные технологии позволяют сжигать твердое энергетическое топливо с разной эффективностью. Наиболее высоких показателей позволяет добиться сочетание технологии объемного охлаждения топочной среды и технологии низкотемпературного кипящего слоя.

Существенной частью задачи развития и повышения технологической эффективности систем ТО в Украине является выполнение программы по нормализации состояния потребителей теплоты.

Важным требованием, предъявляемым к современным системам ТО, является применение комплексной автоматизации оперативного управления производственно-административными элементами системы, а также применение автоматического управления технологическим процессом в каждом из них с использованием современных достижений в сфере автоматизации.

Выводы

1. Применение крупных СЦТО целесообразнее применения мелких СТО по всем аспектам их технологического процесса.
2. Среди элементов СЦТО наименее надежным является теплосеть в традиционном исполнении
3. Предстоящий перевод части источников теплоты (котельных установок) с газового топлива на твердое целесообразно начинать с установок высокой единичной мощности, затем переходить к мелким.
4. Целесообразно применять на твердом топливе котельно-топочные технологии прогрессивного типа, прежде всего технологии объемного охлаждения топки и низкотемпературного кипящего слоя.
5. Разработка и создание новых систем ТО, а также обновление существующих систем, должны опираться на применение комплексной автоматизации управления их элементами, с применением новейших достижений науки и техники, способных обеспечить их функционирование на современном уровне.

УДК 621.129.14

ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА: НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ УКРАИНЫ (РЕЗУЛЬТАТЫ ШЕСТНАДЦАТИЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ 1986-2002Г.Г.)

Гриценко Г.Д., Любченко А.П., Чигрина Т.В.

(г.Харьков, Украина)

The results of measurements of radioactive contamination of objects incoming to industrial enterprise which were conducted during 16 years are represented. It is shown that in the course of time after disaster in chernobyl the radioactive contamination of objects is dropping continuously and intensively.

В настоящем сообщении речь идет о естественном всплеске регистрируемой радиоактивности контролируемых на предприятии объектов, определенных технической документацией, в связи с чернобыльской катастрофой. Под естественной загрязненностью понимается миграция радиоактивности в результате действий природных явлений (ветер, птицы и животные, перемещение людских потоков и т.п.) и регламентированной производственной деятельностью человека (контроль поступающих на предприятие материалов, машин, агрегатов и т.п.).

Актуальность данной проблемы заключается не только в том, что объективно необходимо знать уровень радиации и радиоактивную чистоту обрабатываемых на предприятии материалов. Дело еще и в том, что бытуют две точки зрения на миграцию радиоактивности от центра загрязнения (Чернобыля). Первая утверждает постепенное затухание радиоактивной загрязненности в данной конкретной области вне зоны интенсивного загрязнения вокруг ЧАЭС. Вторая же предполагает наличие повторного возрастания через некоторое время уровня радиоактивной загрязненности за счет естественной миграции загрязненных микро- и макрообъектов. Понятно, что ответ на этот вопрос может дать лишь эксперимент, результаты которого и приводятся в данном сообщении.

Государственное предприятие (ГП) «Завод им. Малышева» находится ~ 450 км на восток от Чернобыля. Роза ветров на 26 апреля 1986 г. была такова, что радиоактивное облако, образовавшееся после взрыва на ЧАЭС, направилось в противоположную от предприятия сторону. Поэтому регистрируемое повышение радиоактивности измеряемых объектов связано с естественной (натуральной) миграцией изучаемых предметов в результате природных явлений и производственно-бытовой деятельности человека. Измерению подвергались все поступающие на предприятие материалы, необходимые для течения производственного процесса, машины и оборудование, поступающие на предприятие из других областей Украины, люди, эвакуированные из чернобыльской зоны (их одежда, вещи и продукты питания), а также командированный в Чернобыль персонал и принадлежащие ему предметы.

Неразрушающий контроль радиоактивности осуществлялся при помощи приборов ДП-5А(Б,В), ДКС-90У, СРП-88Н и др. бесконтактным методом для исключения возможности загрязнения датчиков применяемых приборов.

Проведенные измерения показали, что наибольшее количество случаев загрязнений радиоактивностью

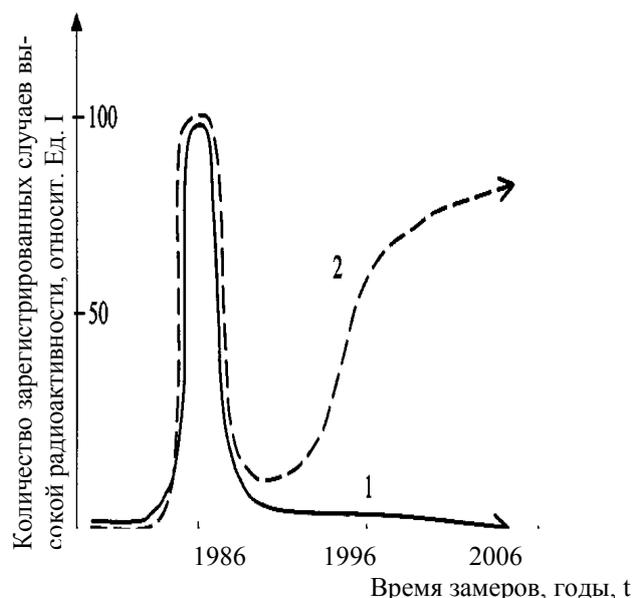


График количества зарегистрированных случаев высокой радиоактивности после Чернобыльской катастрофы с течением времени: 1 – экспериментально регистрируемые случаи радиоактивного загрязнения; 2 – предполагаемые некоторыми авторами случаи радиоактивного загрязнения.

(причем, в весьма высокой степени – до ≥ 400 $\text{тг} \cdot \text{час}^{-1}$) наблюдалось в течении лета 1986г. и на протяжении полутора лет после катастрофы. Затем начался плавный непрерывный спад обнаружения радиоактивной загрязненности замерыемых объектов (см. график). С течением времени радиоактивность довольно резко снижалась и кривая $I = f(t)$ асимптотически приближалась к оси абсцисс. При этом уровень радиации i , замерыемый на территории предприятия, все годы был практически постоянным во времени и составлял $i = f(t) = \text{const} = 15 - 20 \mu \text{р. час}^{-1}$.

Таким образом, более чем шестнадцатилетние исследования радиоактивной загрязненности поступающих на предприятие объектов измерения, используемых в работе и при общении, свидетельствуют в пользу первой, приведенной выше, точки зрения. А именно: с течением времени после чернобыльской катастрофы радиоактивная загрязненность, связанная с этим обстоятельством, непрерывно и интенсивно падает. Графически это выражается в том виде, что кривая $I = f(t)$ асимптотически с течением времени приближается к 0.

УДК 621.98.04: 621.822.5:62-419.4.002

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА

Гулюк А.А., Чуйкова Е.В.

(г. Харьков, Украина)

Clause is devoted to change of deformation on thickness of an antifriction layer and steel basis during welding by energy of explosion of a bimetal plate.

В настоящее время на крупногабаритных транспортных дизелях, как правило, применяются подшипниковые вкладыши, состоящие из стальной основы и алюминиево-оловянного антифрикционного слоя. Технологическая схема производства подшипников включает вырубку заготовки из биметаллической ленты, гибку ее в штампе

на кривошипном прессе, и последующую калибровку. Полосы из биметалла, используемые для штамповки заготовок вкладышей изготавливаются сваркой энергией взрыва.

В работе исследовалась биметаллическая заготовка шатунного вкладыша в исходном состоянии после сварки взрывом в ГКБ «Южное», г. Днепропетровск.

Представленная заготовка фрезеровалась по торцам в размер, соответствующий пластине, передаваемой на штамповку (324x128 мм). Чистота обработки поверхности торцов в пределах Rz 10...40 обеспечивает выявление границы линии соединения стальной основы.

Измерение толщины биметаллической пластины и стальной основы осуществляли микрометром с плоскими губками с точностью $\pm 0,01$ мм.

Места расположения точек контроля толщин, а также значения полученных величин представлены на

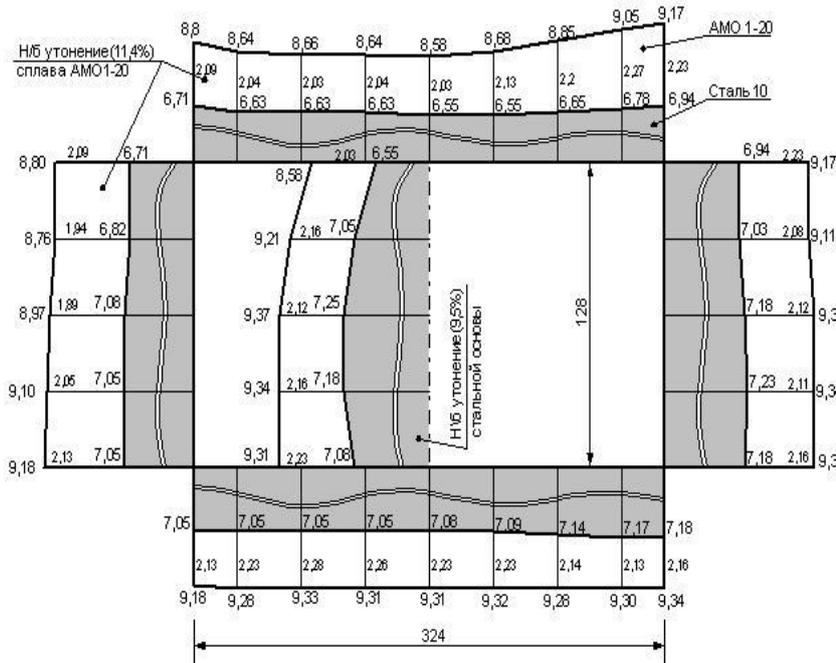


Рис. 1 Деформация биметаллической пластины сталь – сплав АМО1-20 при сварке взрывом на ГКБ "Южное".

рисунке.

Вывод:

1. В процессе сварки биметаллических пластин для вкладышей подшипников скользящего типа энергией взрыва на ГКБ «Южное» происходит утонение как стальной основы, так и антифрикционного слоя преимущественно вдоль ширины заготовки.

Направление изменения толщины пластины в сторону утонения соответствует направлению взрывной волны, образующейся при сварке взрывом.

2. Степень утонения стальной основы находится в пределах 4...9,5%, антифрикционного слоя 6,5...11,4%.

Литература

1. Гостев Б.И., Зильберг Ю.Я. Алюминиевый сплав АСМ для тяжело нагруженных подшипников. – М.: Машгиз. – 1959. – 184 с. 2. А.С. 1726094 СССР, МКИ В 21Д 22/2. Способ изготовления полуцилиндрических деталей.
2. Гулюк Александр Александрович, начальник лаборатории ГП «Завод имени Малышева», тел. 28-44-71.

УДК 621.923.74.079

ПРИТИРОЧНАЯ ПАСТА

Бабай Н.П., Любченко А.П., докт. техн. наук, Мельничук Н.С.

(г. Харьков, Украина)

New paste for final operation of polishing of contacting details.

В современном машино- и приборостроении для достижения высокой точности поверхностей и придания им светоотражательной способности применяют полировальные пасты, связкой которых являются химические ингредиенты органического и неорганического происхождения. Для интенсификации процесса притирки используют составы, содержащие твердые компоненты, органические и полимерные поверхностно-активные вещества и углеродные жидкие

среды.

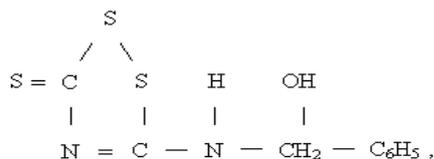
Основными недостатками обычно применяемых паст и притирочных составов являются: трудоемкость приготовления; использование токсичных и пожароопасных растворителей (керосина, бензина и т.п.) для удаления пленки, образующейся при доводке; затруднения при утилизации из-за наличия биологически опасных веществ, ухудшающих санитарно-гигиенические условия труда.

В основу разработки поставлена задача создания пасты, способной снизить пожароопасность, улучшить санитарно-гигиенические условия труда и одновременно обеспечить повышение продуктивности процесса обработки деталей путем интенсификации съема припуска металла при сохранении высокой чистоты притертой поверхности.

Поставленная цель достигается тем, что в абразивно-доводочную пасту, содержащую микропорошок карбида бора, стеарин, олеиновую кислоту, 3-имино- α -оксиметиленилфенил-1,2,4-дитиазолидинтион-5 и полиэтиленоксид-1500, добавляются дополнительно 2,2; 2"-нитрилотриэтанол и силикагель.

В составе пасты расплав стеарина, олеиновой кислоты в соединении с полиэтиленоксидом-1500, силикагелем и 2,2; 2"-нитрилотриэтанолом образуют адсорбционные смазочные пленки, способствующие разделению трущихся поверхностей. При этом наблюдается эффект синергизма – взаимное усиление смазочного и стабилизирующего действия этих компонентов, что обеспечивает равномерное распределение абразивных частиц в зоне обработки, повышает химическую активность абразива и, таким образом, повышает продуктивность обработки деталей, и, одновременно предотвращает коррозию обрабатываемых деталей и оборудования.

Благодаря этому обеспечивается высокий класс чистоты притертых поверхностей. Однако эти пленки не могут противостоять действию высоких нагрузок и температуры. В данных условиях более эффективны хемосорбционные пленки, которые в процессе разрушения непрерывно возобновляются в результате химического взаимодействия с металлом. Образованию хемосорбционной пленки способствует присутствие в составе пасты 3-имино- α -оксиметиленилфенил-1,2,4-дитиазолидинтион-5 (ТУ 14-6140) в виде порошка желтого цвета с формулой



который является ингибитором кислотной коррозии. Полиэтиленоксид-1500 образует щелочную среду, под действием которой 3-имино- α -оксиметиленилфенил-1,2,4-дитиазолидинтион-5 превращается с перегруппировкой гетероцикла в димер. Получаемое для этого соединение способно образовывать на поверхности металла мономолекулярный защитный слой с большим количеством атомов серы, который обладает противозадирными и антикоррозионными свойствами.

Одновременно вышеуказанный димер в щелочной среде проявляет ингибирующие свойства по отношению к черным металлам.

Введение в состав пасты 2,2; 2"-нитрилотриэтанолом в соединении с полиэтиленоксидом-1500 дает возможность быстро и полностью удалить остатки пасты с обрабатываемых деталей проточной водой или моющим средством, что обеспечивает качественную подготовку деталей под гальванизацию. При этом удовлетворяются требования пожарной безопасности и обеспечиваются нормальные санитарно-гигиенические условия труда рабочих.

Применение притирочной пасты позволяет повысить интенсивность съема припуска в 1,3 - 1,7 раза. Состав пасты нетоксичен; паста проста в приготовлении и хорошо смывается водой.

Литература

1. Авт. свид. СССР № 1106823, МКВЗ: СО 9 G 1/02, опубл. 1984 г.
2. Авт. свид. СССР № 1650683, МКВ5: СО 9 G 1/02, опубл. 1991 г.
3. Вредные вещества в промышленности, том 1 и 2.- Л.: Химия, 1976
4. Масловский В.В. Доводочные и притирочные работы.- М.: Высшая школа, 1971

УДК 678.664.620.179.4

СОВМЕЩЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ НА ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛИ ПОЛИМЕРНОГО ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ЛИМ-1

Голынская Г.С., Лысова Л.М., Якунина В.И.

(г. Харьков, Украина)

Composition LIM-1 is used in combination with bakelite lacquer, which makes it possible to increase adhesion of protective coating to metal surfaces. Due to this serial technology of applying of protective-sealing coating onto air conditioners is made in two stages and characterizes by high labor content and continuance. To accelerate the process and reduce power inputs it was suggested to partially combine process of bakelite lacquer and LIM-1 cure.

Для предотвращения преждевременного износа отдельных узлов изделия и выхода самого изделия из строя при изготовлении воздухоочистителей применяется антикоррозионно-защитное и герметизирующее покрытие

на основе поливинилхлоридной композиции – ЛИМ-1.

Полимерная композиция ЛИМ-1 из-за невысокой адгезии к металлическим поверхностям применяется в комбинации с бакелитовым лаком.

Серийная технология нанесения защитно-герметизирующего покрытия ЛИМ-1 на воздухоочистители отличалась высокой трудоемкостью и продолжительностью, так как формирование покрытия происходило при реализации 2-х технологических процессов - бакелитирование и лимирование. При этом процесс бакелитирования включает в себя нанесение 2-х слоев бакелитового лака с определенным температурным режимом отверждения: после нанесения первого слоя предусмотрена выдержка его при температуре помещения в течение 40 минут, медленный в течение 40 мин подъем температуры от 50 до 120°C и выдержка при температуре (120 ± 5)°C в течение 1 часа.

После охлаждения на изделие наносят второй слой бакелитового лака с соблюдением следующих технологических требований:

| | |
|---------------------------------------|----------------|
| выдержка на воздухе | - 40 мин; |
| подъем температуры от 50 до 120°C | - 40 мин; |
| подъем температуры 120 до 150°C | - 30 мин; |
| выдержка при температуре 150 до 160°C | - 1,5-2,0 час. |

В целом процесс бакелитирования занимает около 6 час. Процесс лимирования заключается в том, что на покрытые бакелитовым лаком воздухоочистители наносят поливинилхлоридную композицию ЛИМ-1. Для получения прочного герметизирующего покрытия толщиной 2-3 мм композицию ЛИМ-1 наносят в два слоя с выдержкой каждого при температуре от 50 до 120°C в течение 20 минут. Для окончательной полимеризации поливинилхлоридной композиции воздухоочистители выдерживают в течение 2-2,5 часов при температуре 150 до 160°C.

В итоге продолжительность процесса нанесения антикоррозионно-защитного герметизирующего покрытия на воздухоочистители составляла 8-8,5 часов.

В целях ускорения процесса нанесения защитного полимерного покрытия на воздухоочистители и, учитывая то, что отверждение бакелитового лака и ЛИМ-1 происходит практически в одинаковых условиях, лабораторией неметаллических материалов предложено частичное совмещение процессов отверждения обоих покрытий, позволившее сократить продолжительность технологического цикла на 2,5 часа. Сокращение технологического цикла было достигнуто тем, что на второй слой бакелитового лака, после выдержки его на воздухе в течение 40 минут, наносят два слоя поливинилхлоридной композиции с предварительной полимеризацией каждого слоя при температуре от 50 до 120°C в течение 20 минут. Для достижения полной полимеризации покрытие выдерживают при T = 150 - 160°C в течение 2-2,5 часов.

Нанесение поливинилхлоридной композиции на незаполимеризованный слой бакелитового лака приводит к повышению прочностных показателей получаемого при этом защитного покрытия, о чем свидетельствуют данные, приведенные в таблице.

Таблица

Прочностные показатели защитного поливинилхлоридного покрытия, применяемого с бакелитовым подслоем

| Режим полимеризации | Показатели | | |
|---|--|----------------------------|-----------------|
| | Условная прочность пленки при разрыве, МПа | Прочность связи с металлом | |
| | | при отрыве, МПа | при сдвиге, МПа |
| Полимеризация в две стадии: 1 ст.: полное отверждение бакелита 2 ст.: отверждение ЛИМ-1 | 3,1 | 7,0 | 6,0 |
| Отверждение по сокращенному режиму | 3,8 | 7,5 | 6,9 |

Увеличение прочностных показателей может быть результатом дополнительного структурирования покрытия. Это объясняется тем, что полная полимеризация бакелитового лака с образованием твердой пленки с 3-х мерной структурой заключается в постепенном переходе при нагревании феноло-формальдегидной смолы из резолы сначала в резитол, а затем в резит.

В недополимеризованном бакелитовом лаке смола большей частью находится в стадии резитола, отличающегося незначительным содержанием поперечных связей и наличием свободных реакционно-способных метилольных групп с подвижным атомом водорода. Поэтому при нанесении поливинилхлоридной композиции на незаполимеризованный слой лака между двумя полимерами имеет место не только взаимная диффузия цепных молекул, но и химическое взаимодействие реакционно-способных эпокси- и метилольных групп, способствующее упрочнению связей в полимерной композиции (наличие эпокси-групп обусловлено входящей в состав ЛИМ-1 эпоксидной смолы).

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующий вывод: совмещенный технологический процесс нанесения на воздухоочистители полимерного защитного покрытия на основе поливинилхлоридной композиции ЛИМ-1 с подслоем из бакелитового лака, не ухудшая качество антикоррозионной защиты узла, снижает трудоемкость, обеспечивает рост производительности труда и экономию электроэнергии и на 30% уменьшает продолжительность технологического цикла.

УДК 621.129.13

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА МАГНИТНЫХ ШУМОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ**Аксенова С. И., канд. тех. наук, Любченко А. П., докт. тех. наук, Яворович С. И.**
(г. Харьков, Украина)

Revealed is the correlation relationship between magnetic characteristics (EMF of magnetic noises, coercitive force) and subsurface layers' parameters of steel and cast iron details strengthened by surface plastic deformation and laser hardening methods. The possibility of Barkgauzen method use for quality control of surface hardening is demonstrated.

Исследовано влияние методов поверхностного упрочнения пластическим деформированием (ППД обкаткой роликами) и лазерной закалкой (ЛТО) на магнитные характеристики – ЭДС магнитных шумов и коэрцитивную силу.

Выявлена корреляционная зависимость между усилием обкатки при ППД и исследованными магнитными характеристиками. Показано, что метод магнитных шумов так же, как и коэрцитиметрический метод, может быть использован для контроля качества упрочнения поверхностных слоев стальных деталей методом ППД. При этом контроль с использованием метода магнитных шумов должен иметь большую чувствительность, чем контроль по величине коэрцитивной силы. Для дальнейшего повышения чувствительности контроля предложено использовать комбинированную величину – отношение ЭДС МШ к H_c .

Результаты определения ЭДС магнитных шумов поточечным сканированием по ширине лазерного трека свидетельствует о том, что эта магнитная характеристика отражает изменение свойств лазерно-упрочненного слоя и может быть использована для его контроля.

УДК 621.744

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ**Малютина Э.С., Завгородняя Л.П.**

(г. Харьков, Украина)

The new strengthening coat for moulds and cores is presented.

Одним из основных способов повышения качества литейных форм и стержней является применение упрочняющих покрытий, позволяющих снизить осыпаемость и повысить поверхностную прочность. В литейных цехах, как правило, в качестве упрочняющих покрытий используются водные растворы связующих. Однако проникающая способность таких покрытий невелика – 3-5 мм.

В ГП «Завод им. В.А. Малышева» разработано упрочняющее покрытие, обладающее повышенной проникающей способностью. В его состав входят, мас. %: лигносульфонат технический – 30-42, триполифосфат натрия – 1,5-2,5. Повышение проникающей способности покрытия обеспечивается за счет введения моноэтаноламина, обладающего свойствами поверхностноактивных веществ. Изменением плотности и соотношения компонентов проникающая способность покрытия регулируется от 5-13 мм. Триполифосфат натрия снижает гигроскопичность покрытия и совместно с лигносульфонатом техническим улучшает его пластичность.

Моноэтаноламин используется в качестве разбавителя, способствующего понижению вязкости и повышению проникающей способности покрытия.

Покрытия готовили следующим образом: в краскомешалку заливали воду, ЛСТ, ТПФ натрия, перемешивали в течение 10 минут, после чего вводили моноэтаноламин и еще дополнительно перемешивали в течение 5-10 минут. Плотность готового покрытия 1,12-1,25 г/см³, условная вязкость 9,5-18,1 с по ВЗ-4.

Наибольший эффект достигается при нанесении разработанного упрочняющего покрытия на жидкостекольные смеси теплового отверждения с пониженным содержанием связующего. Так, при применении смесей с содержанием жидкого стекла 2-3 мас. %, поверхностная прочность форм и стержней повышается в 2-2,5 раза, а осыпаемость снижается от 0,4-0,6 до 0,005-0,01%.

Применение разработанного состава упрочняющего покрытия в ГП «Завод им. В.А. Малышева» позволило повысить поверхностную прочность форм, стержней в 2-2,5 раза и уменьшить их потери, снизить брак отливок по засору в 1,5-2 раза, а также вдвое сократить расход связующего материала при изготовлении формовочных и стержневых смесей.

УДК 621.735.32.06

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ**Влащенко Г.И., канд. техн. наук, Листопад И.А., канд. техн. наук, доц.,****Фабричникова И.А.**

(г. Харьков, Украина)

Called on experimental studies have shown that change hardness depends on termal processing in different ambience.

Известно, что в корнерезках одним из основных рабочих органов являются ножи. Ресурс ножей до замены

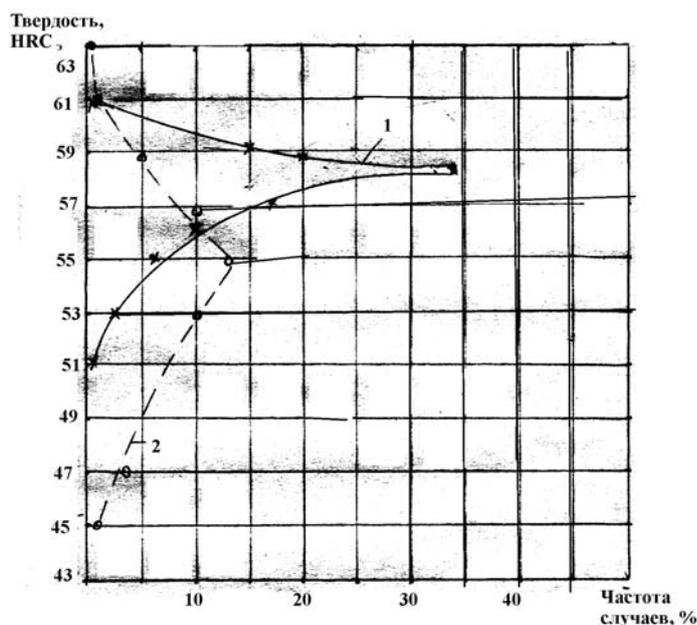


Рис. 1. Распределение твердости ножей из стали при нагреве под закалку: 1 – в соляной ванне; 2 – в электрической печи с воздушной сферой.

С целью частичной защиты поверхности от окисления и обуглероживания нагрев образцов осуществляли в чугунной стружке. После термообработки поверхность образцов шлифовали на глубину 0,25мм и определяли твердость.

Экспериментальные исследования изменения твердости в зависимости от режима термообработки показало, что повышение температуры нагрева в интервале 1120-1180⁰С приводит к монотонному снижению твердости после закалки, как в масле, так и в селитре. Последующий отпуск при 560⁰С увеличивает твердость по сравнению с закаленным состоянием вследствие превращения остаточного аустенита. Наиболее интенсивно стойкость и твердость повышается после первого отпуска, а при последующих она несколько снижается. После всех отпусков закаленной в селитре стали наиболее высокая твердость HRC₅ 56-58 получается при температуре закалки 1150⁰С.

Увеличение длительности выдержки в пределах 0,30-1,6мин/мм при температуре нагрева под закалку слабо влияет на твердость стали в закаленном состоянии, однако после отпуска замечено, что лучшие результаты обеспечиваются при более коротких выдержках, 0,2-и 0,5мин/мм.

В принятой на заводе технологии термообработки ножей наиболее нестабильным является нагрев ножей в электрических печах с воздушной средой, в которых невозможно при коротких выдержках равномерно прогреть каждый нож, а увеличение длительности выдержки вызывает местные перегревы.

Отмеченные недостатки нагрева ножей в электропечах с воздушной средой могут быть устранены нагревом в высокотемпературных соляных ваннах СВС 60/13 с выдержкой 0,20-0,30мин/мм.

Проведенные испытания изготовленных опытных образцов ножей показали (рисунок 1), что при нагреве в соляной ванне обеспечивается более высокая твердость и значительно меньший разброс. Изменение прочности влияет на изменение долговечности, которая влияет на порезку корнеплодов.

Общая средняя стойкость режущей кромки ножей, закаленных с нагревом в соляной ванне в 1,4-1,6 раза выше, чем у закаленных с нагревом в электропечи с воздушной средой.

Средняя долговечность ножей, закаленных с нагревом в соляной ванне, до выхода из строя по причинам скола, поломки и износа соответственно в 1,8, 2,2 и 2,4 раза выше, чем у ножей, закаленных нагревом в электропечах с воздушной средой.

Анализ, выполненный на основании проведенных исследований, показал, что применение такой технологии на изготовление ножей обеспечит равномерность нагрузок между ними, что позволяет свести до минимума их расход снизить затраты, значительно повысить надежность, долговечность и уменьшить простои корнерезки, увеличить производительность труда и повысить точность порезки корнеплодов.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что изменение твердости зависит от термообработки в различных сферах.

Литература

1. Алимов Ю.А. Защитные покрытия на металлах. – К.: Наукова думка, 1074. – Вып.1. – С.118-124.
2. Лекович Л.С., Ворошин Л.Г. и др. Защитные покрытия на металлах. – К.: Наукова думка, 1975. – Вып.9. – С.17-24.

составляет несколько дней и требует переточки, либо частой замены.

Режущие ножи из стали 65ГА для измельчения корнеплодов на сахарных заводах и сельскохозяйственных предприятиях характеризуются невысокой стойкостью, что приводит к повышенному расходу дефицитного инструмента, потерям времени на переналадку и снижению технико-экономических показателей. Важным фактором, определяющим стойкость ножей, является термическая обработка. При существующей на заводе технологии термообработки ножей твердость их колеблется в широких пределах. Для увеличения ресурса ножей необходимо провести упрочнения. Существуют различные методы упрочнения [1,2].

Поэтому в лаборатории на образцах изучалось влияние режима термообработки на твердость стали 65ГА. Для исследования были взяты образцы, которые подогрели при 850⁰С в течении 30мин. в трубчатой электропечи Т-40/600, а затем подвергали термообработке с различными режимами для выявления оптимальной твердости.

УДК 621.333.531.

К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ УСИЛИЙ НАТЯЖЕНИЯ ГИБКОГО ЭЛЕМЕНТА**Листопад И.А., Влащенко Г.И., канд. техн. наук, доц., Лукьянов И.М.***(г. Харьков, Украина)**The Broughted ways of the checking effort voltages flexible element.*

Существенным для обеспечения надежности и качественной эксплуатации подъемных механизмов является контроль усилия натяжения гибкого тягового элемента.

Для разовых и периодических замеров усилия натяжения гибкого элемента можно использовать переносной прибор, схема которого представлена на рис.1.

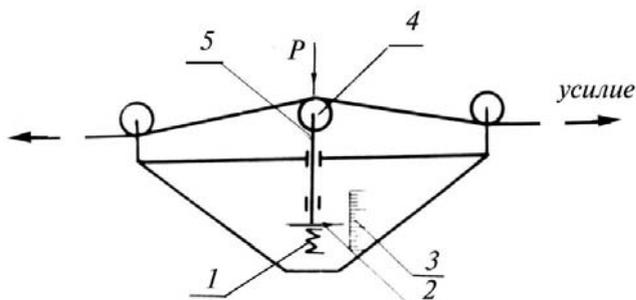


Рис.1. Схема прибора.

Прибор устанавливается непосредственно на гибком элементе. При натяжении элемента составляющая усилий в обеих его ветвях через седло 4 и шток 5 снижает пружину 1, а величина этого сжатия передается через рейку, шестеренку и стрелку 2 на циферблат 3, показывающий нагрузку. В зависимости от диаметра гибкого элемента положение опорных крюков фиксируется гайками. Первичный перегиб гибкого элемента при установке прибора осуществляется последующей подачей седла вверх с помощью воротка шкива, который доводится до отказа.

С целью проведения непрерывного замера (контроля) усилий натяжения гибкого элемента с последующей регистрацией показаний и как управляющего сигнала в системе автоматического поддержания усилия нами разработан и опробован электрический способ, который осуществляется с помощью измерительного моста.

Тензодатчики применялись с базой 15 и 20мм и, соответственно, сопротивлением 150 и 200 Ом. Мост питается переменным или постоянным током напряжением 9 или 12в.

В качестве регистрирующего прибора применяются протарированный на соответствующее усилие милливольтметр.

В качестве деформируемой детали можно использовать отдельные узлы механизма, воспринимающие силовой поток.

Однако, по нашему мнению, наиболее целесообразным представляется измерение усилий натяжения магнитоупругими датчиками силы. Эти датчики обладают высокой чувствительностью, которая достигается за счет крестообразных обмоток. Действие датчика основано на различии между продольной и поперечной чувствительностью материала.

При нагружении магнитопровода его магнитная проводимость в вертикальном направлении снижается сильнее, чем в горизонтальном.

Обмотка возбуждения и измерительная расположены взаимно перпендикулярно, поэтому в отсутствии приложенной силы магнитные линии первичной обмотки не охватывают силовых линий вторичной обмотки. Геометрически при отсутствии деформации э.д.с., наводимая вторичная обмотка должна быть равна нулю. Однако, практически имеется некоторая э.д.с. разбаланса. Остаточное напряжение нулевого разбаланса компенсируется с помощью специальной схемы.

При приложении силы к сердечнику происходит перераспределение магнитного поля и в измерительной обмотке происходит процесс появления э.д.с., пропорциональной силе давления. Датчик состоит из нескольких однотипных сердечников. Выступы сердечников обеспечивают концентрирование нагрузки в обмотке катушек.

Как и проволочные тензометрические датчики сопротивления магнитоупругие датчики силы могут работать в комплекте с самописцем.

Технические данные рекомендуемого магнитоупругого датчика следующие:

| | |
|--|----------|
| Диапазон измерения силы давления, тонн | 0...100 |
| Обмоточные данные: | |
| число витков обмотки возбуждения | 1 |
| Сечение проволоки обмотки возбуждения, мм ² | 0,78 |
| Количество однотипных сердечников в датчике | 1 |
| Частота тока питания, Гц | 50 |
| Количество пластин в одном сердечнике | 800 |
| Статическая характеристика | линейная |

При дальнейших поисках и разработке методики измерения больших усилий натяжения был приспособлен ограничитель натяжения канатов серии ОПК-45, разработанный и сконструированный ВНИИОМШСом.

Принцип действия прибора заключается в следующем. Для преобразования усилия натяжения в пропорциональные ему и меньшее по величине усилие использована система трех роликов, между которыми контролирую-

емый гибкий элемент располагается с небольшим перегибом в плоскости симметрии среднего (подвижного) ролика.

В качестве преобразователя механических усилий в электрический сигнал применен магнитоупругий датчик трансформированного типа, сигнал, на выходе которого является функцией прилагаемого усилия.

При натяжении гибкого элемента подвижный центральный ролик воспринимает результирующая треугольника сил и, упираясь на магнитоупругий датчик, воздействует на него. Сигнал с выхода датчика поступает на усилитель, а затем на показывающий и самопишущий прибор, шкала которого протарированная и отградуированная в соответствующих единицах измерения.

Таким образом, электрические способы измерения усилий натяжения гибкого элемента являются простыми, удобными и надежными в работе. Кроме того, электрические способы контроля обеспечивают достаточную готовность усилия.

К достоинствам этих способов относится также возможность дистанционного измерения и автоматического контроля силового режима, автоматизация управления работой механизма.

Источниками питания при электрических способах замера используются генераторы, аккумуляторы, гальванические элементы или электрическая сеть.

Литература

1. Влащенко Г.И. и др. К вопросу измерения концентрации напряжений в деталях машин//Вісник ХДТУСГ. Вып.15. – Харьков, 2003.

УДК 621.785

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ ТВЧ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Пашкова Г.И.

(г. Харьков, Украина)

The results of study of influencing of quenching by high-frequency currents to the surface of nicks on a microstructure, level of residual stresses, endurance and use reliability of crankshafts from high-strength cast iron are reduced.

Повышение надежности работы тепловозных дизелей тесно связано с совершенствованием технологии изготовления коленчатых валов – наиболее ответственных и дорогостоящих деталей. Срок службы коленчатых валов определяется в основном износостойкостью их шеек и характеристиками усталости [1].

Одним из эффективных способов повышения износостойкости шеек коленчатых валов является локальное упрочнение закалкой с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) [2-4].

Однако для крупных коленчатых валов дизелей типа Д100 и Д80 (длина 4,5 м, масса 1100 и 1683 кг) применение такого способа упрочнения имеет свои особенности, обусловленные конструкцией и материалом вала.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния локального поверхностного упрочнения закалкой ТВЧ на структуру, физико-механические свойства, износостойкость и усталостные характеристики крупных коленчатых валов тепловозных дизелей. Известно [5, 6], что одним из факторов, характеризующих сопротивление детали усталости, являются остаточные напряжения. Представляет интерес изучение их распределения в шейках коленчатых валов для оценки эффективности закалки ТВЧ.

В качестве материала для проведения экспериментальных исследований использовали высокопрочный чугу

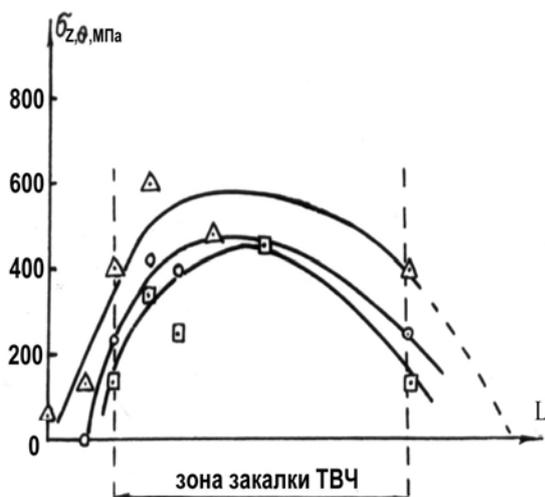


Рис. 1,а. Распределение остаточных напряжений в шейках коленчатых валов: после закалки ТВЧ.

н, модифицированный Mg, следующего химического состава, масс. %: 3,4...3,9 C; 1,9...2,5 Si; 0,8...1,25 Mn; 0,5...1,0 Ni; 0,2...0,5 Mo; 0,05...0,1 Mg; ≤ 0,1 Cr; ≤ 0,05 P; ≤ 0,02 S.

После отливки коленчатые валы подвергали предварительной механической обработке, а затем закалке ТВЧ по шейкам, включающей предварительный подогрев поверхностного слоя шеек до температуры 350-400°C (в течение 40 с при мощности генератора 40 кВт), нагрев токами высокой частоты до 955-990°C (мощность генератора 500-700 кВт, время 5-6 с) и охлаждение на воздухе за счет теплоотвода в массу металла и окружающую среду. Закалку осуществляли без вращения вала, постоянный зазор между индуктирующим проводом и поверхностью шейки обеспечивали за счет применения тугоплавких вставок. Для уменьшения напряжений после закалки осуществляли отпуск валов при $t = 370 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 12 ч.

Толщина упрочненного слоя составила 4...5 мм, твердость после отпуска находилась в пределах 41...54 HRC₃. Исследование микроструктуры зоны закалки

выявило наличие мелкоигольчатого мартенсита и структуры с характерным рисунком перлита. На границе с основным металлом наблюдается структура неполной закалки.

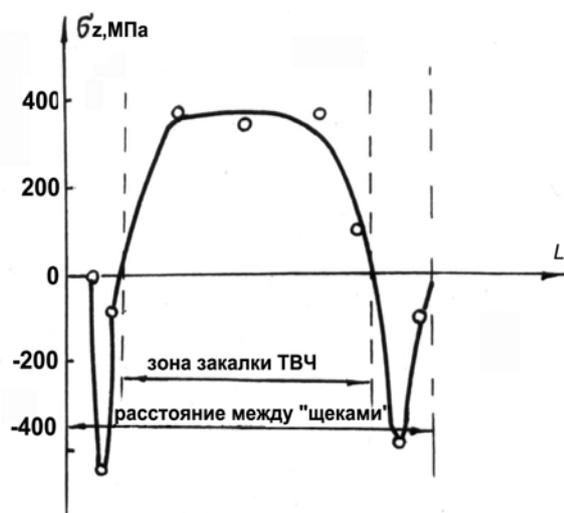


Рис.1,б. Распределение остаточных напряжений в шейках коленчатых валов: б – после шлифования на глубину 0,7 мм и обкатки галтелями роликами (рентгеновский метод)

Исследование остаточных напряжений в шейках коленчатых валов рентгеновским способом производили $\sin^2\psi$ -методом с использованием безгониометрического портативного прибора ПРИН с двуханодной рентгеновской трубкой.

Результаты измерений приведены в таблице и на рисунке.

В поверхностном слое шеек валов, закалённых ТВЧ, получены остаточные напряжения, которые как в осевом, так и в тангенциальном направлении являются растягивающими. Причём тангенциальные напряжения чаще всего в 1,5-2 раза больше осевых по абсолютной величине. Соотношение осевых и тангенциальных составляющих обусловлено отношением размеров диаметра и длины шеек, которое составляет для коренных шеек 2,3, а для шатунных – 1,6. Абсолютная величина напряжений на поверхности коренных шеек чаще всего выше, чем на шатунных.

Появление в результате закалки ТВЧ в тонком поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений может быть объяснено неблагоприятным соотношением протяжённости закалённого слоя и диаметров шеек. Относительно малая длина шеек может служить причиной взаимного влияния двух зон обрыва закалённого слоя, что приводит к формированию напряжений растяжения.

С целью проверки влияния закалки ТВЧ на надёжность коленчатых валов исследовали ограниченную выносливость при изгибе отсеков упрочнённых и неупрочнённых валов. Испытания проводили на универсальной испытательной машине с гидропульсатором типа МУП-100, обеспечивающей знакопостоянный цикл нагружения в плоскости одного из кривошипов коленчатого вала. Коэффициент асимметрии цикла принят равным 0,3. Частота нагружения 7,5 Гц. Отсеки валов включали 4 коренных и 3 шатунных шейки с различным расположением кривошипов. Уровень максимальной циклической нагрузки определяли путем предварительного тензометрирования отсеков коленчатых валов при их ступенчатом статическом нагружении.

Таблица

Результаты исследования остаточных напряжений в шейках коленчатых валов механическим методом

| Зона измерения | | Вид обработки | | | |
|----------------|----|------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| | | Закалка ТВЧ | | Шлифование после закалки на глубину 0,7 мм | |
| | | σ_z , МПа | σ_θ , МПа | σ_z , МПа | σ_θ , МПа |
| Коренные шейки | I | +66...+68 | +99...+134 | -102...-76 | +2...+7 |
| | II | +19...+41 | +42...+86 | -42...-31 | +35...+61 |
| Шатунные шейки | I | +15...+25 | +28...+39 | -67...-48 | +6...+9 |
| | II | +29...+55 | +44...+57 | +20...+47 | +56...+66 |

Триботехнические испытания образцов из высокопрочного чугуна без упрочнения и с закалкой ТВЧ поверхности производили на стенде ИПС-2 по схеме «вал – вкладыш» в течение 50 и 100 ч. Скорость скольжения составляла 8 мс^{-1} , нагрузка 500 Н, смазка – масло М14В₂. Втулка была изготовлена из материала коленчатого вала, кольца – из вкладышей.

Полученные экспериментальные данные показали, что упрочнение закалкой ТВЧ обеспечивает повышение износостойкости коленчатого вала в 2,2-2,7 раза по сравнению с неупрочнённым состоянием. Уменьшается также износ контртела – вкладыша, изготовленного как из бронзы БрС30 с приработочным покрытием Pb-Sn-Cu, так и из алюминиевого сплава АО20-1.

Локальные остаточные напряжения в шейках валов определяли механическим методом отверстий [7,8] и рентгеновским способом.

В первом случае в центральной части шейки валов сверлили отверстия диаметром 12 мм, глубиной 15-20 мм. Для определения деформаций до и после сверления снимали показания тензорезисторов, наклеенных на поверхность шейки. Расчёт значений напряжений производили для розеточных схем по методике [8].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что локальное упрочнение цилиндрической поверхности шеек коленчатых валов из высокопрочного чугуна закалкой ТВЧ приводит к снижению как ограниченного предела выносливости (на 27% по сравнению с неупрочненными валами), так и долговечности при перегрузках.

Для повышения усталостных характеристик было произведено упрочнение обкаткой роликами переходных галтелей и цилиндрической поверхности шеек после упрочнения закалкой ТВЧ. Проведенные испытания на усталость показали существенное повышение предела ограниченной выносливости и долговечности при перегрузках, которые достаточно близки по своим значениям к характеристикам валов без закалки ТВЧ, но с обкатанными роликами галтелями.

Эксплуатационные испытания на одноцилиндровых отсеках и развёрнутых изделиях подтвердили результаты лабораторных исследований.

Способ упрочнения коленчатых валов, базирующийся на закалке ТВЧ поверхности шеек, рекомендован для условий серийного производства транспортных дизелей.

Литература

1. Кудрявцев И. В., Наумченков Н. Е., Саввина Н. М. Усталость крупных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 237 с.
 2. Головин Г. Ф., Замятин М. М. Высокочастотная термическая обработка. – Л.: Машиностроение, 1990. – 239 с.
 3. Шепеляковский К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. – М.: Машиностроение, 1972. – 287 с.
 4. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г.Бойцов, В.Н.Машков и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 143 с.
 5. Хворостухин Л. А., Шишкин С. В., Ковалёв А. П., Ишмаков Р. А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. – М.: Машиностроение, 1988. – 142 с.
 6. Чепя П. А., Андрияшин В. А. Эксплуатационные свойства упрочнённых деталей. – Минск: Наука и техника, 1988. – 192 с.
 7. Биргер И. А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
 8. Остаточные напряжения в заготовках и деталях крупных машин / под ред. О. Н. Михайлова. – Свердловск: НИИТЯЖМАШ Уралмашзавода, 1971. – 191 с.
-

3. ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 539.3:621

СОВМЕСТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ РОТОРА С РАБОЧИМИ КОЛЕСАМИ

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, проф., Дьяконенко К.Ю.

(г. Харьков, Украина)

Vibrations of rotor with bladed disks which can be deformed were considered. This accounting scheme is simplified model of rotor of gas-turbine engine and steam turbines. Eigen frequencies and mode shapes are received for models of rotor that are different in number of disks. Mutual influence of elements of the system on parameters of vibration is shown.

Для современного энергомашиностроения характерна тенденция создания турбоагрегатов большой единичной и удельной мощности, ужесточаются требования к прочности и надежности турбоагрегатов при росте интенсивности нагрузок. Рост мощности и стремление к равнопрочности турбоагрегатов приводят к необходимости исследований колебаний не только отдельных наиболее ответственных элементов, но и систем элементов, а также турбоагрегата в целом [1-5]. В настоящей работе были исследованы совместные колебания таких систем как диск, лопатка, диск – лопатки (рабочее колесо), вал – диски, вал – рабочие колеса. Использовался метод конечных элементов. Были получены параметры колебаний элементов ротора независимо друг от друга и параметры колебаний всей системы. Их сопоставление позволило выявить взаимное влияние и определить степень необходимости учета совместности колебаний.

Рассмотрим вал с двумя рабочими колесами разного диаметра (см. рис 1). Рабочее колесо представляет собой диск с приближенным к реальному поперечным сечением на котором закреплено 36 лопаток с упрощенным (прямоугольным) поперечным сечением и углом закрутки 60° . Такая модель выбрана из условий удобства анализа взаимного влияния различных элементов при изучении собственных колебаний.

В данной модели элементы деформируются совместно, следовательно имеется возможность анализа совместных колебаний системы вал – рабочие колеса. Граничные условия моделируют два опорных подшипника, расположенных по торцам ротора, т. е. по торцам ротор не может перемещаться в радиальных направлениях. В результате решения трехмерной задачи о собственных колебаниях в конечноэлементной постановке были получены собственные частоты и формы колебаний для следующих моделей: одна лопатка, диск, рабочее колесо, вал – диск, вал – рабочие колеса.

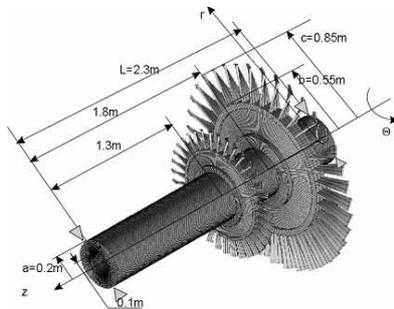


Рис. 1. Трехмерная модель ротора с рабочими колесами.

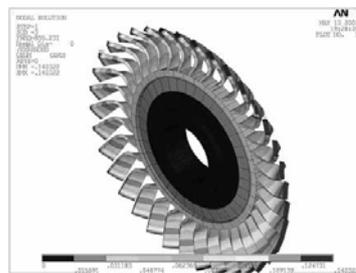


Рис. 2. Зонтичные колебания рабочего колеса с узловой окружностью на лопатках, $f=855$ Гц.

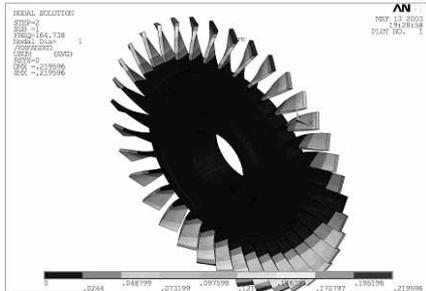


Рис. 3. Изгибные колебания рабочего колеса с одним узловым диаметром, $f=164$ Гц.

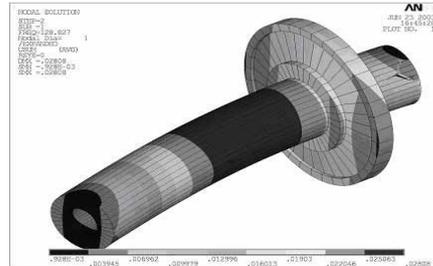


Рис. 4. Изгибные колебания вала связанные с изгибными колебаниями диска с одним узловым диаметром, $f=129$ Гц.

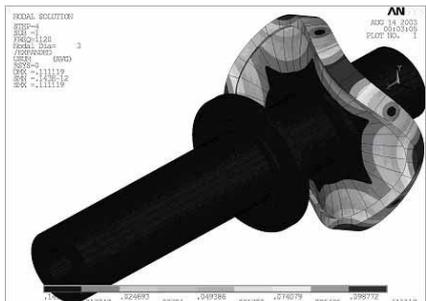


Рис. 5. Верные колебания диска с тремя узловыми диаметрами, вал и второй диск почти не деформируются, $f=1120$ Гц.

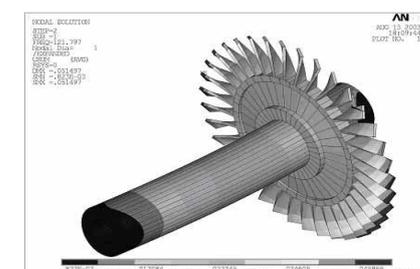


Рис. 6. Изгибные колебания вала, связанные с изгибными колебаниями рабочего колеса с одним узловым диаметром, $f=121$ Гц.

В данной модели элементы деформируются совместно, следовательно имеется возможность анализа совместных колебаний системы вал – рабочие колеса. Граничные условия моделируют два опорных подшипника, расположенных по торцам ротора, т. е. по торцам ротор не может перемещаться в радиальных направлениях. В результате решения трехмерной задачи о собственных колебаниях в конечноэлементной постановке были получены собственные частоты и формы колебаний для следующих моделей: одна лопатка, диск, рабочее колесо, вал – диск, вал – рабочие колеса. Количество дисков и рабочих колес бралось 1-2. Были рассмотрены колебания системы с количеством узловых диаметров

от 0 до 10 и с тремя первыми частотами для каждого узлового диаметра. На рис. 2-9 приведены наиболее характерные формы колебаний этих систем.

Хотя все колебания являются взаимосвязанными, условно можно выделить 3 основных типа совместных колебаний: преимущественно изгибные, крутильные и продольные.

По формам колебаний видно, что если колебания ротора преимущественно крутильные, то они связаны с тангенциальными синфазными колебаниями лопаток. Продольные колебания ротора связаны с преимущественно зонтичными колебаниями рабочего колеса. При наличии узловой окружности, она скорее будет лежать на лопатках, чем на диске. Изгибные колебания ротора связаны с колебаниями рабочего колеса с одним узловым диаметром. Если лопатки закручены, то тангенциальные синфазные и зонтичные формы оказываются связанными.

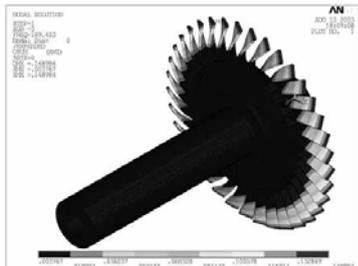


Рис. 7. Тангенциальные синфазные колебания лопаток, связанные с крутильными колебаниями вала, $f=189$ Гц.

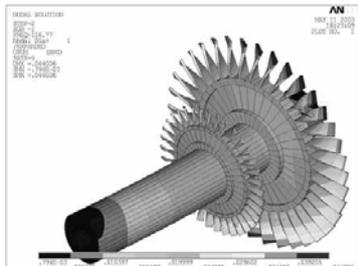


Рис. 8. Изгибные колебания вала, связанные с изгибными колебаниями диска с одним узловым диаметром, $f=117$ Гц.

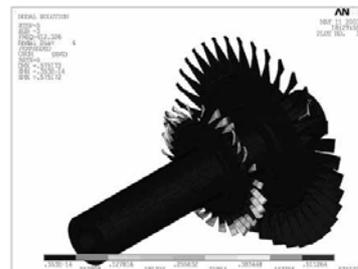


Рис. 9. Колебания ротора с нижней формой колебаний лопаток на малом колесе, $f=412$ Гц.

Наблюдается снижение частот при рассмотрении совместных колебаний системы по сравнению с колебаниями отдельных ее элементов. Это говорит о том, что резонанс может наступить при меньшей скорости вращения, чем та, которая получена для недеформируемого диска.

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод, что в ряде случаев при расчете колебаний роторов следует учитывать диск не как присоединенный момент инерции (или присоединенную массу), а как деформируемую систему. Колебания малого рабочего колеса происходят на значительно более высоких частотах чем большого. В таких случаях можно утверждать, что при расчете колебаний роторов достаточно учитывать колебания самого большого рабочего колеса, а малые колеса просто заменить соответствующими инерционными характеристиками. Полученные результаты качественно согласуются с известными [3-5].

Литература

1. Воробьев Ю.С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин. – К.: Наукова думка, 1988, - 224 с.
2. Иванов В. П. Колебания рабочих колес турбомашин. // - М. Машиностроение, 1983. – 224 с.
3. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний системы турбоагрегат – фундамент. К., 1991. – 232 с.
4. Jacek Sokolowski, Roumuald Rzdowski and Leszek Kwapisz. Frequencies and modes of rotating flexible shrouded bladed disks-shaft assemblies // TASK QUARTERLY 7 No 2 (2003), p.1001-1017
5. Roumuald Rzdowski and Jacek Sokolowski. Natural frequencies and modes shapes of two rigid bladed discs on the shaft // TASK QUARTERLY 8 No 1 (2004), p.51-69

УДК 539.3

КОМБИНИРОВАННОЕ НАГРУЖЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ. МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Симсон Э.А., докт. техн. наук, Назаренко С.А., канд. техн. наук, Анацкий Ю.П.

(г. Харьков, Украина)

Sensitivity analysis methods of high both geometric and physical informational content are suggested for complicated FEA models, especially with design variables vector of high dimension, to minimize numbers of straight calculation procedure activation. Computational stages to obtain gradients of constructional functional are investigated. Application domain for developed mathematical apparatus is discussed.

Сокращение сроков освоения и снижения себестоимости продукции достигается созданием и усовершенствованием систем автоматизированного проектирования (САПР). В условиях рыночной экономики, когда сама разработка конструкции в силу средств, затрачиваемых на НИР, ОКР, технологическую подготовку к серийному производству может оказаться нерентабельной в сравнении с достигаемым эффектом, необходимо интегрирование моделей и критериев качества рабочих характеристик и топливно-энергетической эффективности проектируемых машин - с одной стороны, показателей прочности и надежности - с другой, технологичности - с третьей, в единые критерии качества и рентабельности серийного производства в условиях конкурентного рынка. Анализ чувствительности позволяет решить целый ряд практических задач проектирования, доводки, технологической подготовки производства и контроля эффективной эксплуатации конструкций.

Этот математический аппарат начал применяться в развитых странах при проектировании некоторых аэрокосмических и машиностроительных конструкций [1,2]. Однако неразвитость теории и численных методов анализа чувствительности для реальных задач проектирования, отличающихся необходимостью использования комплексных моделей функционирования изделия, сложной пространственной геометрией конструкции сдерживает создание и применение соответствующих программных средств.

В настоящее время на рынке стран СНГ практически отсутствуют программные комплексы, имеющие блоки анализа чувствительности [3,4]. В лучшем случае при конечноразностном приближении производных математическое обеспечение трудоемкой задачи анализа используется в качестве "черного ящика" для получения значений функционалов состояния в пробных точках пространства переменных проектирования. Применение этого подхода ограничено малой размерностью вектора проектных переменных.

Целью проведенных исследований была разработка методики анализа чувствительности сложных конечно-элементных моделей при комбинированном нагружении; ориентированной на большие размерности векторов переменных состояния и проектирования и минимальное число обращений к процедуре прямого расчета.

Разработанная методика анализа чувствительности предполагает следующую последовательность вычислительных этапов: КЭ дискретизация задачи анализа; введение вектора сопряженных переменных; введение пространства проектных переменных; вычисление градиентов функционалов.

Задача анализа резонансного состояния конструкции, колеблющейся в поле статических сил (например, колесо турбокомпрессора в поле центробежных сил, панель аэрокосмического аппарата под воздействием регулируемых усилий в плоскости), представляет собой матричную проблему

$$K(\bar{u})\bar{y}_s = \bar{F}(\bar{u}), \quad (1)$$

$$[K + G(\bar{y}_s) - \lambda M]\bar{y}_d = 0, \quad (2)$$

где $\bar{y}, \bar{F}(\bar{u})$ – векторы узловых перемещений (для метода перемещений) и нагрузок; $K(\bar{u}), M(\bar{u})$ – матрица жесткости и масс системы; \bar{u} – вектор варьируемых конструктивных параметров системы, $G(\bar{y}_s, \bar{u})$ – матрица "геометрической" жесткости (приведенных начальных напряжений), формируемая на решении \bar{y}_s статической задачи.

После дифференцирования (2) получим:

$$[K + G - \lambda M] \frac{\partial \bar{y}_d}{\partial u_i} = -[K' + G' - \lambda M'] \bar{y}_d - \frac{\partial G}{\partial y_s} \frac{\partial \bar{y}_s}{\partial u_i} \bar{y}_d + \lambda' M \bar{y}_d$$

Штрихом обозначено явное дифференцирование по конструктивным параметрам u_i . В большинстве практических задач количество проектных переменных значительно превышает число исследуемых функционалов. Для таких задач метод, основанный на введении сопряженной задачи более эффективен, чем метод, построенный на прямом дифференцировании. Сопряженная задача состоит при этом из двух линейных проблем относительно $\bar{\psi}_s$, соответствующего \bar{y}_s , и $\bar{\psi}_d$ – соответствующего собственному вектору \bar{y}_d

Тогда после введения сопряженных задач вида:

$$K \bar{\psi}_s = \frac{\partial}{\partial \bar{y}_s} (\bar{\psi}_d^T G \bar{y}_d); \quad (3)$$

$$[K + G - \lambda M] \bar{\psi}_d = \frac{\partial J}{\partial \bar{y}_d} - \mu^* M \bar{y}_d. \quad (4)$$

Опуская промежуточные выкладки, соотношения для градиента резонансного функционала преобразовываем к виду:

$$\bar{\nabla}_u J = \left\{ J' - \mu^* \bar{y}_d^T M \bar{y}_d - \bar{\psi}_d^T (K' + G' - \lambda M') \bar{y}_d - \right. \\ \left. - \bar{\psi}_s^T (K \bar{y}_s - F') + \lambda' \bar{\psi}_d^T M \bar{y}_d \right\}_{i=1, n} \quad (5)$$

При этом градиент собственного значения принимает вид:

$$\bar{\nabla} \lambda = \left\{ \bar{y}_d^T (K' + G' - \lambda M') \bar{y}_d - \bar{\psi}_{s\lambda}^T (K \bar{y}_s - F') \right\}_{i=1, n}, \quad (6)$$

где $\bar{\psi}_{s\lambda}$ – обозначено решение сопряженной задачи (3), в которой $\bar{\psi}_d$ заменяется на \bar{y}_d . Множитель μ^* находится из условия ортогональности вектора неоднородности (4) собственному вектору \bar{y}_d с учетом нормировки последнего: $\mu^* = \bar{y}_d^T \frac{\partial J}{\partial \bar{y}_d}$.

Формула (5) обладает фильтрующим свойством по отношению к континууму решений динамической сопряженной задачи (4). Впрочем можно использовать условие нормировки $\bar{\psi}_d^T M \bar{y}_d = 0$ и сокращенную формулу

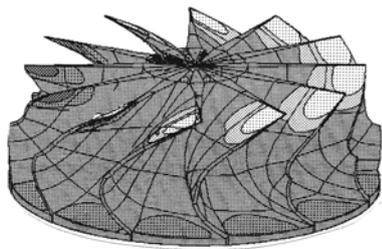


Рис. 1. Анализ чувствительности 15-ой собственной частоты к нормальным перемещениям точек поверхности рабочего колеса турбины ТКР-8.5-ТВ.

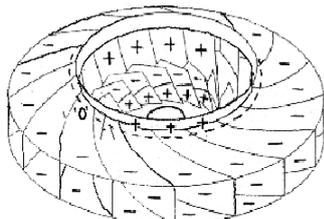


Рис. 2. Распределение зон положительных и отрицательных коэффициентов чувствительности основной собственной частоты тягодутьевой машины ДН-17 к изменению распределения толщины.

для градиента. (Для функционалов, зависящих от собственного значения, условие нормировки сопряженной задачи принимает вид $\bar{\psi}_d^T M \bar{y}_d = -\frac{\partial J}{\partial \lambda}$).

Отметим, что без учета статического нагружения, как показано в работе [5], градиент собственного значения имеет вид

$$\lambda'_{u_i} = \bar{y}^T [K' - \lambda M'] \bar{y} / \bar{y}^T M \bar{y} \quad (7)$$

На рис. 1 и 2 приведены для примера картины функциональных производных к добавлению материала на различных поверхностях лопаточных машин. При исследовании использовались трехмерные изопараметрические и тонкооболочечные КЭ. Вопросы построения математически моделей анализа рабочих колес турбокомпрессорных агрегатов рассмотрены в работе [6].

Помимо основного использования в системах оптимального автоматизированного и интерактивного проектирования коэффициенты чувствительности стохастическом анализе характеристик конструкций в поле случайных отклонений свойств материала и геометрических параметров, назначении полей допусков на изготовление, а также корректировке или идентификации математической модели конструкции. Для приближенной оценки характеристик конструкций с малыми изменениями $\Delta \bar{u}$ от базового варианта \bar{u}_0 , может использоваться быстрый пересчет $J \approx J_0 + \bar{V}_u^T J_0 \Delta \bar{u}$.

Анализ чувствительности можно использовать для защиты элементов "know-how" в новых конструкциях путем патентования (или введения в режим конфиденциальности) геометрических размеров и соотношений,

которые в наибольшей степени определяют показатели качества новой конструкции (а значит, целевой функционал имеет к ним максимальную чувствительность).

Литература

1. Хог Э., Чой К., Комков В. Анализ чувствительности при проектировании конструкций. М.: Мир, 1988. 428 с.
2. Лукьяненко В.М. Динамическая прочность, надежность и оптимизация роторных машин нефтегазохимической промышленности. Сумы: Контраст, 1999. – 232 с.
3. Жеков К.С. Современные аналитические возможности ANSYS. // САПР и графика. 1998. №9. С. 50–52.
4. <http://www.ansys.com/services/documentation/manuals70.htm> – Welcome to ANSYS 7.0 Documentation.
5. Богомолов С.И., Назаренко С.А., Симсон Э.А. Расчет и оптимизация оболочек общей формы на базе смешанного подхода МКЭ // Динамика и прочность тяжелых машин.– 1986.– С.– 91-97.
6. Лукьяненко В.М., Назаренко С.А., Симсон Э.А., Солошенко В.А. Математические модели анализа рабочих колес турбокомпрессорных агрегатов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 2000. Вып. 82. С. 54-57.

УДК 539.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ НА ОСНОВЕ R-ФУНКЦИЙ И МЕТОДА БУБНОВА-ГАЛЕРКИНА

Ромашов Ю.В., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The theory of elasticity problems solving automatic programming based on the R-functions and Galerkin method. Romashov Y.V. This paper deals with for boundary value problems of theory of elasticity solving. It is pay attention to automatic programming of the linear system of equations for the approximation coefficients computation building. The proposed algorithm bases on the R-functions theory methods and Galerkin method. The obtained results are useful for the concept formation to solving of the technical problems such as strain-stress analyses of the different technical structures, technological equipment for example.

Постановка проблемы. Решение краевой задачи теории упругости для тела сложной формы далеко не всегда удается представить через элементарные функции, поэтому решения таких задач, которые приходится решать при анализе напряженно-деформированного состояния разнообразных элементов машиностроительных конструкций, обычно получают приближенно. Наиболее эффективным для приближенного решения задач теории упругости, по-видимому, является вариационный подход [1], который состоит в определении коэффициен-

тов аппроксимации решений из системы линейных алгебраических уравнений, получаемой из условия стационарности функционала, соответствующего рассматриваемой краевой задаче. Коэффициенты указанной системы уравнений являются интегралами по исследуемой области от функций, вид которых зависит от вида аппроксимаций и функционала; определение вида этих функций в аналитической форме не представляет принципиальных трудностей, однако требует большого числа довольно громоздких выкладок. Стремление избавиться от ошибок, связанных с громоздкими выкладками приводит к необходимости автоматизации решения краевых задач, в частности автоматизации построения коэффициентов алгебраических уравнений для определения коэффициентов аппроксимации решений.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время для приближенного решения краевых задач теории упругости чаще всего используют вариационный подход. Линейные алгебраические уравнения для определения коэффициентов аппроксимаций получаются как условия равенства нулю частных производных предварительно дискретизированного функционала по соответствующим коэффициентам аппроксимации. Такой подход достаточно сложен для реализации на ЭВМ, поскольку требует аналитического дифференцирования аналитических функций и, по-видимому, мало пригоден в качестве основы для алгоритмов автоматизации решения краевых задач, хотя частичная автоматизация оказывается возможной на основе такого подхода. В методе Бубнова-Галеркина линейные алгебраические уравнения формируются, не при помощи дифференцирования, а при помощи операций перемножения матриц и векторов, что несложно реализовать на ЭВМ. Поскольку метод Бубнова-Галеркина требует удовлетворения всех граничных условий, то его лучше применять совместно с методами теории R-функций [2], которые позволяют строить аппроксимации решений, удовлетворяющие граничным условиям различного типа для тел произвольной формы. При этом каждый из известных в настоящее время приближенных методов решения краевых задач: вариационный метод Ритца, метод наименьших

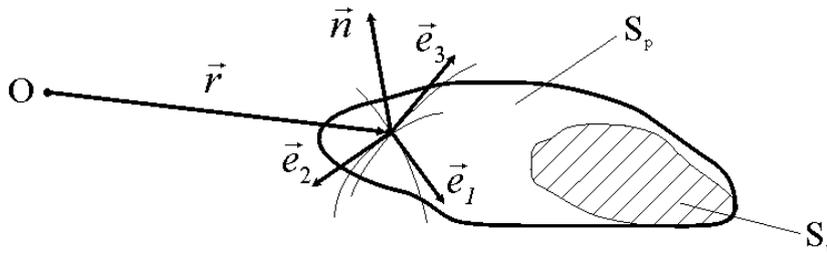


Рис. 1

квадратов и даже метод конечных элементов, могут быть получены при помощи процесса, применяемого в методе Бубнова-Галеркина при определенном выборе координатных и пробных функций [3]. Приведенные обстоятельства позволяют предположить, что именно метод Бубнова-Галеркина в сочетании с методами теории R-функций может лежать в

основе построения максимально автоматизированных алгоритмов решения краевых задач теории упругости. Цель и постановка задачи. Рассмотрим равновесие тела, занимающего объем V , ограниченный поверхностью S (рис. 1), причем перемещения точек тела на части поверхности S_u ограничены, а на части поверхности S_p тела приложены поверхностные распределенные силы. Положения точек тела будем определять при помощи криволинейных координат α_i ($i = 1, 2, 3$), так, что радиус-вектор точки тела:

$$\vec{r} = \alpha_i \vec{e}^i, \quad (1)$$

где \vec{e}_i ($i = 1, 2, 3$) - орты координатной системы (рис. 1).

Как известно краевая задача теории упругости для тела в рамках предположения о малости деформаций формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij} &= \frac{1}{2} (\nabla_i u_j + \nabla_j u_i), \quad \alpha_i \in V, \\ \nabla_j \sigma^{ij} + f^i &= 0, \quad \alpha_i \in V, \\ \varepsilon_{ij} &= c_{ijkl} \sigma^{kl}, \quad \alpha_i \in V, \\ \sigma^{ij} n_j &= p^i, \quad \alpha_i \in S_p, \\ u_i &= u_i^*, \quad \alpha_i \in S_u, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ij}, \sigma^{ij}$ - компоненты тензоров деформаций и напряжений, u_i - компоненты вектора перемещений, c_{ijkl} - компоненты тензора упругих постоянных, f^i, p^i - компоненты векторов объемной и поверхностной распределенных сил, u_i^* - заданные перемещения точек тела, n_j - компоненты вектора \vec{n} внешней единичной нормали к поверхности тела, ∇_j - оператор ковариантного дифференцирования.

Приближенное решение задачи теории упругости (2) представим в виде аналитических структур, тождественно удовлетворяющих граничным условиям рассматриваемой задачи при любых значениях входящих в эти структуры неопределенных компонент - коэффициентов аппроксимации параметров напряженно-деформированного состояния. Указанные структуры представим в виде [4]:

$$\sigma^{ij} = Q_{\sigma 1} \tau^i \tau^j + Q_{\sigma 2} b^i b^j + Q_{\sigma 3} (\tau^i b^j + b^i \tau^j) + \omega_p Q_{\sigma}^{(ij)},$$

$$u_i = u_i^* + Q_{u 1} \tau_i + Q_{u 2} b_i + \omega_u Q_u^{(i)},$$
(3)

где $Q_{\sigma 1}, Q_{\sigma 2}, Q_{\sigma 3}, Q_{\sigma}^{(ij)}, Q_{u 1}, Q_{u 2}, Q_u^{(i)}$ - неопределенные компоненты; τ_i, τ^i, b_i, b^i - ковариантные и контравариантные компоненты векторов $\vec{\tau}$ и \vec{b} , ортогональных к нормали \vec{n} (рис. 1); $\omega_p(\alpha_i) = 0 \forall \alpha_i \in S_p, \omega_u(\alpha_i) = 0 \forall \alpha_i \in S_u$ - аналитические функции, описывающие форму поверхностей S_p и S_u , которые можно построить при помощи методов теории R-функций для областей произвольной формы.

Неопределенные компоненты структур (3) представляются аппроксимациями в виде разложений по какой-либо системе координатных функций, обладающих свойством полноты. Задача состоит в построении автоматизированного алгоритма для определения коэффициентов в аппроксимациях неопределенных компонент структур (3).

Алгоритм автоматизации решения краевой задачи на основе метода Бубнова-Галеркина. Исключим в системе уравнений (2) компоненты тензора деформаций. Тогда уравнения из (2) запишутся так:

$$-c_{ijkl} \sigma^{kl} + \frac{1}{2} (\nabla_i u_j + \nabla_j u_i) = 0,$$

$$-\nabla_j \sigma^{ij} - f^i = 0.$$
(4)

Перейдем к матрично-векторной форме записи уравнений (4) и аппроксимаций (3), поскольку матричные операции легко алгоритмируются и программируются на ЭВМ. Для этого введем векторы:

$$\{\sigma\}^T = \{\sigma^{11}, \sigma^{22}, \sigma^{33}, \sigma^{12}, \sigma^{13}, \sigma^{23}\}; \{u\}^T = \{u_1, u_2, u_3\}; \{f\}^T = \{0, 0, 0, 0, 0, f^1, f^2, f^3\}.$$
(5)

Тогда матрично-векторная форма записи аппроксимаций (3) будет иметь вид:

$$\{\sigma\} = \{\sigma^*\} + B_{\sigma} \{k_{\sigma}\}; \{u\} = \{u^*\} + B_u \{k_u\},$$
(6)

где $\{\sigma^*\}, \{u^*\}$ - заданные векторы, B_{σ}, B_u - матрицы, составленные из координатных функций, $\{k_{\sigma}\}, \{k_u\}$ - векторы, составленные из коэффициентов аппроксимации неопределенных компонент.

Число строк в матрицах B_{σ}, B_u будет равно соответственно шести и трем, а число столбцов будет совпадать с суммарным числом координатных функций в аппроксимациях напряжений и перемещений соответственно.

Представим аппроксимации (6) в окончательно пригодном для численной обработки виде:

$$\{q\} = \{q^*\} + B \{k\},$$
(7)

где $\{q\} = \begin{Bmatrix} \sigma \\ u \end{Bmatrix}; \{q^*\} = \begin{Bmatrix} \sigma^* \\ u^* \end{Bmatrix}; B = \begin{bmatrix} B_{\sigma} & 0 \\ 0 & B_u \end{bmatrix}; \{k\} = \begin{Bmatrix} k_{\sigma} \\ k_u \end{Bmatrix}.$

Уравнения (4) в матрично-векторной форме запишутся так:

$$A \{q\} - \{f\} = 0,$$
(8)

где A - матричный оператор.

Вид матричного оператора A , входящего в уравнение (8) легко определяется по виду уравнений (4) и введенных в рассмотрение аппроксимаций (6). Этот оператор имеет ярко выраженную клеточную структуру:

$$A = \begin{bmatrix} A_{\sigma} & A_{\sigma u} \\ A_{u \sigma} & 0 \end{bmatrix},$$
(9)

где $A_{\sigma}, A_{\sigma u}, A_{u \sigma}$ - некоторые матричные операторы.

Матричный оператор A_{σ} соответствует первому слагаемому в первом уравнении (4), не содержит производных и является квадратной матрицей 6 порядка. Матричный оператор $A_{\sigma u}$ соответствует второму слагаемому в первом уравнении (4), содержит производные первого порядка и состоит из 6-ти строк и 3-х столбцов. Оператор $A_{u \sigma}$ соответствует первому слагаемому во втором уравнении (4), содержит производные первого порядка и состоит из 3-х строк и 6-ти столбцов.

Подставляя аппроксимации (7) в уравнение (8) определим невязку:

$$A(\{q^*\} + B \{k\}) - \{f\} = 0.$$
(10)

Раскрывая скобки в выражении (10) и используя свойство ассоциативности произведения матриц, представим невязку (10) в следующем виде:

$$(A \cdot B) \{k\} + A \{q^*\} - \{f\} = 0,$$
(11)

где $A \cdot B$ обозначено произведение соответствующих матриц.

В соответствии с методом Бубнова-Галеркина потребуем, чтобы невязка (9) была ортогональна координатным функциям, используемым при аппроксимации неопределенных компонент структур (3):

$$\iiint_V B^T ((A \cdot B)\{k\} + A\{q^*\} - \{f\}) dv = 0. \quad (12)$$

Таким образом, используя условие (12), приходим к системе линейных алгебраических уравнений, для определения коэффициентов аппроксимации следующего вида:

$$\left(\iiint_V B^T \cdot (A \cdot B) dv \right) \{k\} = \iiint_V B^T \cdot (\{f\} - A\{q^*\}) dv. \quad (12)$$

Как видно из уравнения (12), алгоритм построения алгебраических уравнений для определения коэффициентов аппроксимации сводится к перемножению матриц. Вместе с тем A представляет собой матричный оператор, содержащий дифференциальные операторы и перемножение матриц в уравнениях (12) требует применения этих операторов к соответствующим координатным функциям, содержащимся в матрице B . Для автоматизации вычислений учтем, что произведения матричного оператора A , содержащего производные первого порядка, на матрицу B и вектор $\{q^*\}$ можно представить в виде:

$$\begin{aligned} A \cdot B &= A^0 \cdot B + A'_{\alpha_1} \cdot B'_{\alpha_1} + A'_{\alpha_2} \cdot B'_{\alpha_2} + A'_{\alpha_3} \cdot B'_{\alpha_3}, \\ A\{q^*\} &= A^0 \cdot \{q^*\} + A'_{\alpha_1} \cdot \{q^*\}_{\alpha_1} + A'_{\alpha_2} \cdot \{q^*\}_{\alpha_2} + A'_{\alpha_3} \cdot \{q^*\}_{\alpha_3}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $A^0, A'_{\alpha_1}, A'_{\alpha_2}, A'_{\alpha_3}$ - матрицы, вид которых легко установить по виду оператора A ; $B'_{\alpha_1}, B'_{\alpha_2}, B'_{\alpha_3}$ - матрицы, компоненты которых совпадают с частными производными компонент матрицы B по соответствующим координатам; $\{q^*\}_{\alpha_1}, \{q^*\}_{\alpha_2}, \{q^*\}_{\alpha_3}$ - векторы, компоненты которых совпадают с частными производными компонент вектора $\{q^*\}$ по соответствующим координатам.

Поскольку вычисление производных координатных функций и параметров внешнего нагружения не связано с принципиальными трудностями, то матрицы $B'_{\alpha_1}, B'_{\alpha_2}, B'_{\alpha_3}$ и векторы $\{q^*\}_{\alpha_1}, \{q^*\}_{\alpha_2}, \{q^*\}_{\alpha_3}$ вычисляются в произвольной точке исследуемого тела без каких-либо сложностей. Таким образом, соотношения (13) позволяют свести построение системы линейных алгебраических уравнений (12) для определения коэффициентов аппроксимации к перемножению матриц и векторов, что легко реализуется на ЭВМ.

Рассмотренная частная схема метода Бубнова-Галеркина соответствует решению задачи теории упругости при помощи смешанного вариационного принципа Рейсснера. Аналогичным образом можно строить другие схемы решения задач теории упругости, например, соответствующие постановке в перемещениях. Сходимость решений обеспечивается правильным выбором оператора A на основе достаточного признака сходимости метода Бубнова-Галеркина [5]-[7].

Выводы. Построение систем линейных алгебраических уравнений для определения коэффициентов в аппроксимациях решений краевых задач теории упругости на основе метода Бубнова-Галеркина сводится к выделению определенных интегралов и к вычислению произведений матриц и векторов. Перечисленные операции легко реализуются на ЭВМ, что позволяет при использовании такого подхода достичь высокой степени автоматизации процесса решения краевых задач теории упругости.

Литература

1. Розин Л.А. Вариационные постановки задач для упругих систем. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. - 224 с.
2. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. - К.: Наук. думка, 1982. - 566 с.
3. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина: Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 352 с.
4. Ромашов Ю.В. Решение контактных задач теории упругости на основе вариационно-структурного метода для смешанного функционала Рейсснера // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - Вып. 95. - С. 65-69.
5. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. - М.: Наука, 1970. - 542 с.
6. Сало В.А. Доказательство достаточного признака сходимости метода Ритца для смешанного вариационного принципа Рейсснера // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - Вып. 95. - С. 70-75.
7. Ромашов Ю.В., Сало В.А. Достаточный признак сходимости метода Ритца для смешанного вариационного принципа Рейсснера теории упругости // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 1999. - Вып. 85. - С. 22-26.

УДК 539.3

РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ RVR-МЕТОДА

Сало В.А., канд. техн. наук, доц., Слесар Е.П.

(г. Харьков, Украина)

The approach is suggested to definition of the stress-strained state of non-uniform spherical shells with holes. The used RVR-method is based on Reissner's variational principle, I.N.Vekua's method, R-functions theory, the common equations of the three-dimensional theory of an elasticity and algorithm for two-sided estimation of exactitude of approached solutions of the mixed variational problems. Efficiency of the method is shown on examples.

Постановка проблемы. Широкое применение в различных отраслях техники неоднородных по своей структуре композиционных материалов открывает большие возможности и новые перспективы, как для совершенствования существующих, так и для разработки новых конструкций. Реализация этих возможностей, позволяющих существенно снизить массу конструкций и одновременно повысить их эксплуатационные характеристики, связана с решением имеющей важное научное и практическое значение проблемы разработки эффективных и алгоритмически простых для численной реализации методов расчета напряженно-деформированного состояния оболочечных элементов конструкций, изготовленных из материалов неоднородной структуры.

Анализ последних исследований и публикаций. Как известно, трудности математического и вычислительного характера, которые возникают в расчетной практике при исследовании конкретных задач статики неоднородных оболочек, неизмеримо сложнее проблем численной реализации аналогичных задач для однородных оболочек. Одна из перспективных возможностей предложенного в работах [1,2] численно-аналитического RVR-метода связана с его применением для расчета неоднородных оболочек в случае зависимостей упругих характеристик материала от координат точек тела в виде известных функций.

Цель и постановка задачи. Рассмотрим напряженно-деформированное состояние ортотропной неоднородной сферической оболочки толщины h . Положение произвольной точки в оболочке, нагруженной постоянным внутренним давлением q_0 , будем определять введенными в ее срединной поверхности Ω_s радиуса R криволинейными ортогональными координатами θ , φ и z .

Поверхность Γ сферической оболочки состоит из боковых поверхностей Γ_s ($\theta = \theta_s$, $s = 1, 2$) двух полюсных круговых отверстий одинакового радиуса r_0 и лицевых внутренней Γ^- ($z = -h/2$) и внешней Γ^+ ($z = h/2$) поверхностей, уравнения которых определяются функциями ω_s и ω_{\pm} , ω_{\pm} (при $\zeta = 2z/h$):

$$\omega_1 = \theta^2/\theta_1^2 - 1; \quad \omega_2 = 1 - \theta^2/\theta_2^2; \quad \omega_+ = 1 - \zeta; \quad \omega_- = 1 + \zeta; \quad \omega_{\zeta} = \omega_+ \omega_- . \quad (1)$$

Обозначим $\theta = [(\theta_2 - \theta_1) \vartheta + \theta_1 + \theta_2]/2$ при $|\vartheta| \leq 1$. С введением безразмерной координаты ϑ функции ω_1 и ω_2 можно заменить (при переносе начала координат в сечение $\theta = \pi/2$) одной функцией $\omega_{\vartheta} = 1 - \vartheta^2$.

Граничные условия на лицевых поверхностях оболочки:

$$\Gamma^+ : \sigma_{13} = 0; \quad \sigma_{33} = 0, \quad \Gamma^- : \sigma_{13} = 0; \quad \sigma_{33} = t_3^- = -q_0. \quad (2)$$

Пусть отверстия закрыты крышками такой конструкции, которая передает на оболочку только действие перерезывающей силы Q_{θ}^* . Величину этой силы определим из условия равновесия крышки: $Q_{\theta}^* = -q_0 r_0/2$.

Структуры решений для независимых в функционале Рейсснера I_R [1] искомым компонент перемещений u_i и напряжений σ_{ij} приобретают для поставленной осесимметричной ($u_2 = 0$, $\sigma_{12} = 0$ и $\sigma_{23} = 0$) задачи вид:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \sum_{k=0}^{l_1-1} (1 - b_{1k} \vartheta^2) \sum_{p=0}^{m_1} a_1^{n_1} S(\vartheta) P_k(\zeta); & u_3 &= \sum_{k=0}^{l_3-1} (1 - b_{3k} \vartheta^2) \sum_{p=0}^{m_3} a_3^{n_3} C(\vartheta) P_k(\zeta); \\ \chi \sigma_{11} &= \sum_{k=0}^{l_1-1} [1 - (1 - b_{1k}) \vartheta^2] \sum_{p=0}^{m_{11}} a_{11}^{n_{11}} C(\vartheta) P_k(\zeta); & \chi \sigma_{22} &= \sum_{k=0}^{l_{22}-1} \sum_{p=0}^{m_{22}} a_{22}^{n_{22}} C(\vartheta) P_k(\zeta); \\ \chi \sigma_{13} &= \sigma_{13}^* + \omega_{\zeta} \sum_{k=0}^{l_{13}-1} [1 - (1 - b_{3k}) \vartheta^2] \sum_{p=0}^{m_{13}} a_{13}^{n_{13}} S(\vartheta) P_k(\zeta); & \chi^2 \sigma_{33} &= \sigma_{33}^* + \omega_{\zeta} \sum_{k=0}^{l_{33}-1} \sum_{p=0}^{m_{33}} a_{33}^{n_{33}} C(\vartheta) P_k(\zeta), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $a_i^{n_i}$, $a_{ij}^{n_{ij}}$ – искомые постоянные; $n_i = k(m_i + 1) + p + 1$ ($n_i \Rightarrow n_{ij}$); $C(\vartheta)$ и $S(\vartheta)$ – четная и нечетная аппроксимирующие функции координаты ϑ ; $P_k(\zeta)$ – полиномы Лежандра; $\chi = 1 + h\zeta/2R$.

Аналитические выражения функций u_i^* , σ_{ij}^* в общем случае определяются с помощью формулы “склейки”

[3] и для сформулированной задачи имеют вид:

$$\sigma_{13}^* = -3Q_\theta^*(1-\zeta^2)g/2h; \quad \sigma_{33}^* = -0.5(1-h/2R)^2(1-\zeta)q_0. \quad (4)$$

Постоянные b_{ik} необходимы, чтобы в каждой записи граничных условий на Γ_s не встречались взаимно соответствующие величины из перемещений и напряжений. Граничные условия на поверхностях отверстий определяются следующим видом:

$$\sigma_{11} = 0; \quad \sigma_{13} = \sigma_{13}^*/\chi \Rightarrow \{b_{1k} = 0, b_{3k} = 0\}. \quad (5)$$

Нетрудно убедиться в том, что на боковых поверхностях Γ_s отверстий ($g = \pm 1$) поперечное касательное напряжение $\sigma_{13} = \sigma_{13}^*/\chi$, заданное законом (4), статически эквивалентно приложенной в срединной поверхности интегральной характеристике – перерезывающей силе Q_θ^* .

После подстановки структур решений (3) в соответствующее аналитическое выражение смешанного вариационного уравнения Рейсснера [1] получаем искомые функции, по которым определяются все параметры напряженно-деформированного состояния исследуемой оболочки.

Введем приведенные перемещения \tilde{u}_i и коэффициент концентрации меридианных k_θ напряжений:

$$\tilde{u}_i = 100 u_i/h; \quad k_\theta = 2h\sigma_{11}/q_0 R. \quad (6)$$

Рассмотрим оболочку с неоднородной по толщине структурой, считая постоянными коэффициенты Пуассона ν_{ij} , а модули упругости $E_i = E_i^0 f_i(\zeta)$ и сдвига $G_{13} = G_{13}^0 f_{13}(\zeta)$ – произвольными функциями координаты ζ (постоянные величины E_i^0 и G_{13}^0 принимают значения упругих характеристик однородной оболочки). Отметим, что рассматриваемый одномерный вариант неоднородности – один из наиболее распространенных в литературе. При этом функции $f_i(\zeta)$ и $f_{13}(\zeta)$ могут принимать для конкретного материала неоднородной оболочки разный вид. Чтобы охватить качественное многообразие возможных зависимостей от поперечной координаты упругих характеристик материала, остановимся на используемых нами в численных расчетах следующих вариантах распределения функций $f_i(\zeta) = E_i/E_i^0$ (аналогично $f_{13}(\zeta) = G_{13}/G_{13}^0$) вдоль толщины оболочки:

$$\left. \begin{aligned} (a): f_i(\zeta) &= 1 - 0.25(1 + \zeta); & (b): f_i(\zeta) &= 1 - 0.0625(1 + \zeta)^3; & (c): f_i(\zeta) &= e^{0.25(1+\zeta)^2 \ln 2}; \\ (d): f_i(\zeta) &= \frac{e^{1+\zeta}}{1 + (e^2 - 0.5)(1 + \zeta)}; & (e): f_i(\zeta) &= 1 + \ln[1 + 0.5(e - 1)(1 + \zeta)]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Здесь функция $f_i(\zeta)$ имеет линейный (7a), кубический (7b), экспоненциальный (7c), экспоненциально-степенной (7d) либо логарифмический (7e) законы изменения вдоль толщины оболочки. На рис. 1 построены в случае $f_{13}(\zeta) = f_i(\zeta)$ графики функций $f_i(\zeta)$, возле которых обозначения s_1 и s_3 , e_2 , es_1 , \ln_1 соответствуют степенному, экспоненциальному, экспоненциально-степенному, логарифмическому законам изменения соотношения $f_i(\zeta) = E_i/E_i^0$ при увеличении (или уменьшении) E_i в два раза: $E_i|_{\zeta=1} = 2E_i^0$ (или $E_i|_{\zeta=-1} = 0.5E_i^0$).

Численная реализация задачи.

Расчет выполнен для ортотропного сферического пояса при следующих данных: $R = 0.6$ м; $\theta_1 = \pi/4$; $\theta_2 = 3\pi/4$; $E_1^0 = E_3^0 = 20E_0$; $\nu_{ij} = 0.3$; $G_{13}^0 = E_0$; $E_2 = 0.5E_1$; $E_0 = 1$ ГПа; $q_0 = 1$ МПа. На рис. 2 для ортотропной толстостенной ($h/R = 0.2$) оболочки показаны вдоль безразмерной координаты $r_\theta = [r_0 + (\theta - \theta_1)R]/r_0$ графики распределения перемещений \tilde{u}_1^0 , \tilde{u}_3^0 (при $\zeta = 0$) и коэффициента k_θ^- (при $\zeta = -1$) концентрации напряжений в случае использования рассмотренных зависимостей (7) и модели $l_i = l_{ij} = 5$ теории оболочек пятого приближения. Цифры 1, 2, 3, 4 и 5 возле представленных графиков рис. 2 соответствуют построенным на рис. 1 графикам s_1 (7a), s_3 (7b), e_2 (7c), es_1 (7d) и \ln_1 (7e); штриховой линией показан график для однородной сферической оболочки.

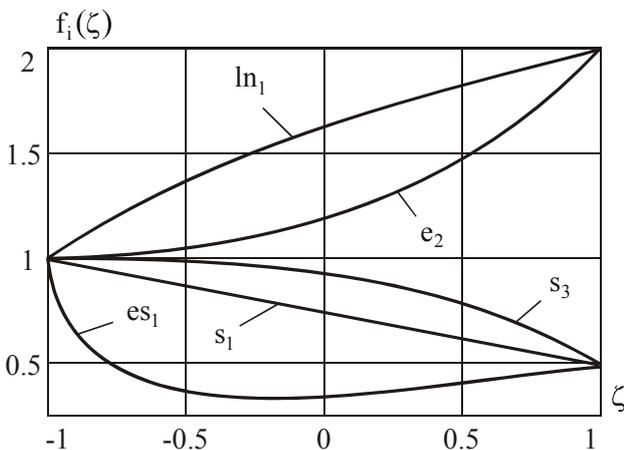


Рис. 1. Распределение $f_i(\zeta)$ по толщине оболочки.

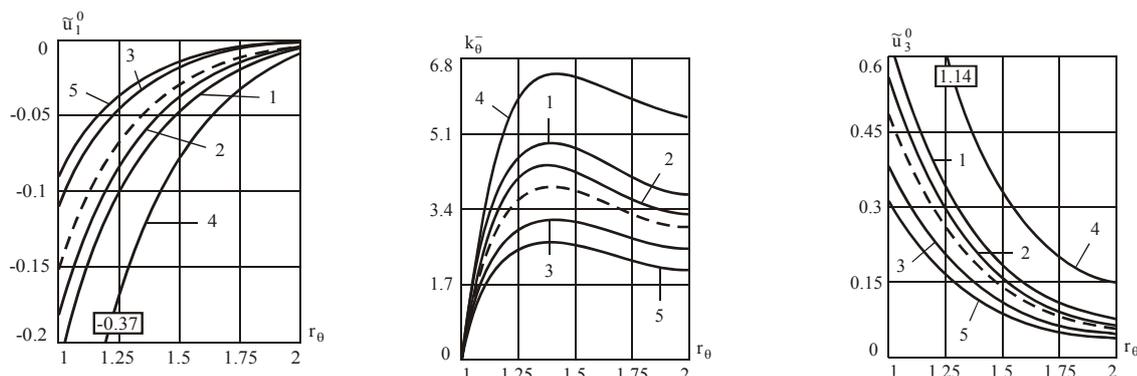


Рис. 2. Графики распределения перемещений \tilde{u}_1^0 , \tilde{u}_3^0 и коэффициента k_θ^- концентрации напряжений.

Выводы. Установлено, что для получения достоверных результатов расчета неоднородной оболочки следует использовать модели уточненных теорий более высокого порядка приближения, чем известные в литературе сдвиговые модели прикладных теорий оболочек. При этом порядок приближения к трехмерной задаче теории упругости зависит от того, насколько закон изменения упругих характеристик материала оболочки отличается от их линейного распределения по толщине оболочки. Предложенный в работе [1] RVR-метод может успешно использоваться при решении задач статики для неоднородных анизотропных оболочек с криволинейными отверстиями произвольных размеров. Эффективность и возможности предложенного RVR-метода подтверждены решением ряда сложных задач для конструктивных элементов, использующихся в различных отраслях техники.

Литература

1. Сало В.А. Краевые задачи статики оболочек с отверстиями. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 216 с.
2. Сало В.А., Слесар Е.П. Исследование напряженно-деформированного состояния упругих оболочек на основе различных прикладных теорий // Труды 7-й межд. науч-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве». – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2003. – С. 218–220.
3. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. – Київ: Наук. думка, 1982. – 552 с.

УДК 681.3

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУММИРУЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОДСТАНОВОК С МАРКОВСКИМИ СУММИРУЮЩИМИ ПРОДУКЦИЯМИ

Довгаль В.М., докт. техн. наук, проф., Малыхин В.В., канд. техн. наук, доц.,
Новиков С.Г., канд. техн. наук, Тютюнов Д.Н., Толстикова П.А.
(г. Курск, Россия)

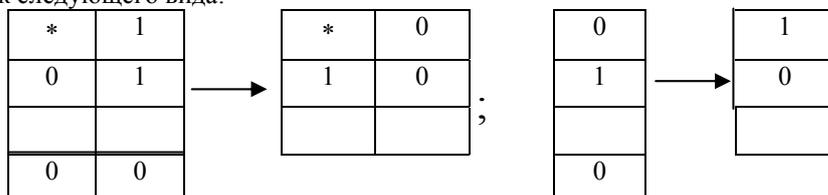
The comparative analysis of summing parallel substitutions with summing production.

За последние годы резко возросла актуальность оперативной информации при решении задач мониторинга внешней среды, прогнозирования экологических катастроф, в медико-биологических исследованиях. Ведущая роль в этом списке задач отводится высокоскоростному информационному сопровождению обрабатываемой информации.

Основным недостатком современных последовательных и параллельных сумматоров являются (в зависимости от состава операндов) появление длинных цепей переносов при сложении. Например, сложение 2-х и 32 – разрядных операндов существенно замедляется за счет учета времени переноса по всем 32-м разрядам. Для исключения подобной ситуации применяют различные приемы. К ним можно отнести нечисловые методы выполнения арифметических операций:

- метод параллельных подстановок [1];
- методы, основанные на использовании оригинальных систем счисления, например, позиционной знакоразрядной системы [2].

В [1] обосновано, что сложение в двоичном коде можно осуществить с помощью двух параллельных подстановок следующего вида:



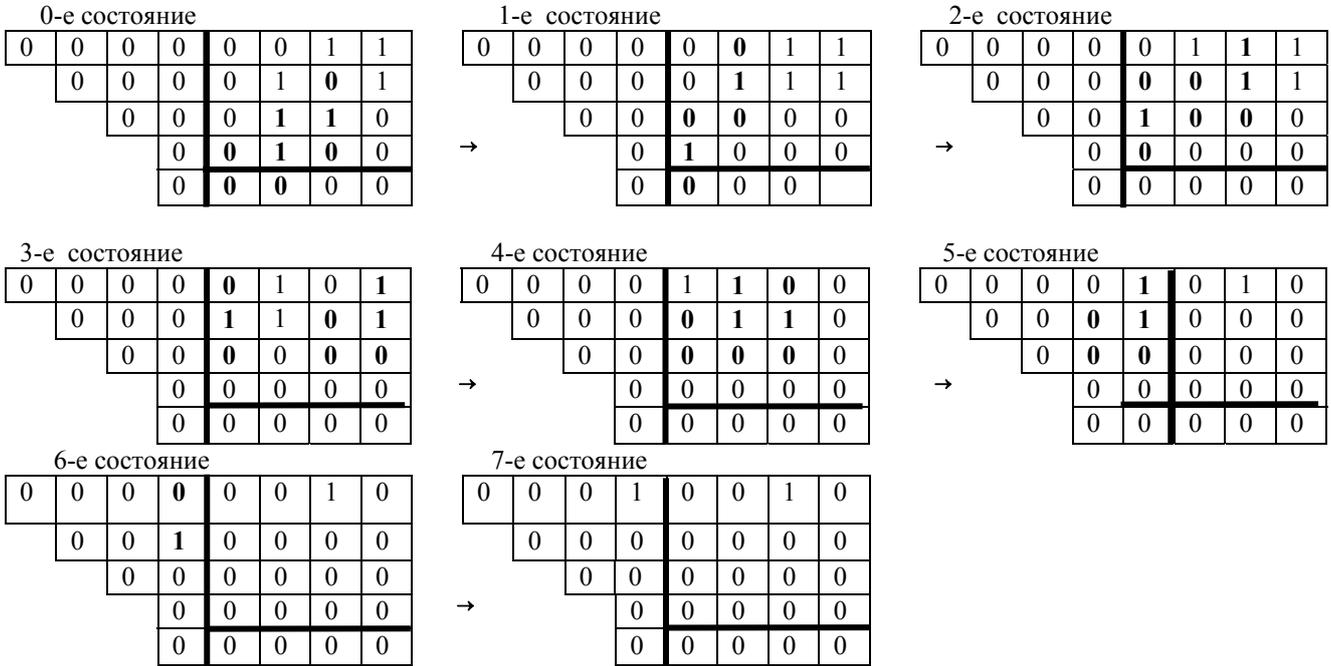
Данный метод легко распространяется на любое конечное число слагаемых. Подстановки можно производить параллельно и независимо друг от друга одновременно на нескольких участках массива операндов. Возни-

кает возможность частично устранить цепи переносов, но при вычитании необходимость применения дополнительных и обратных кодов сохраняется.

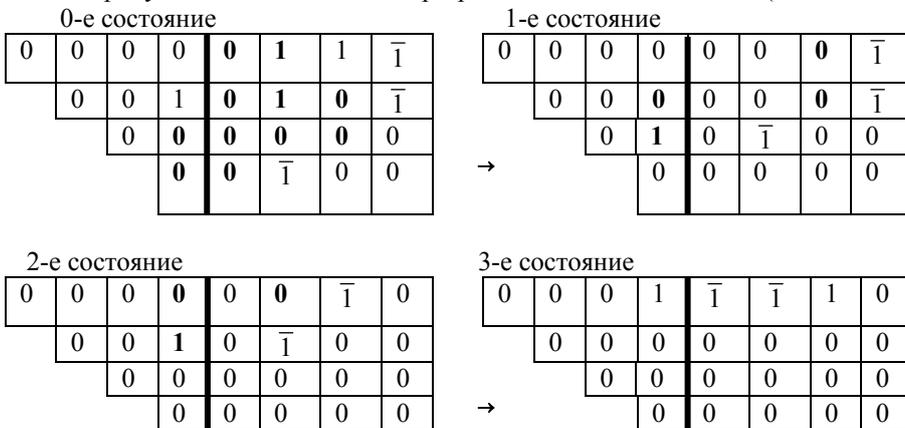
Выполним сопоставление скорости сложения при использовании параллельных подстановок и канонической двоичной системы и при использовании знакоразрядной систем счисления.

Пусть необходимо выполнить сложение четырех чисел одновременно $A = 3$; $B = 5$; $C = 6$; $D = 4$.

1. Параллельные подстановки двоичная система счисления:

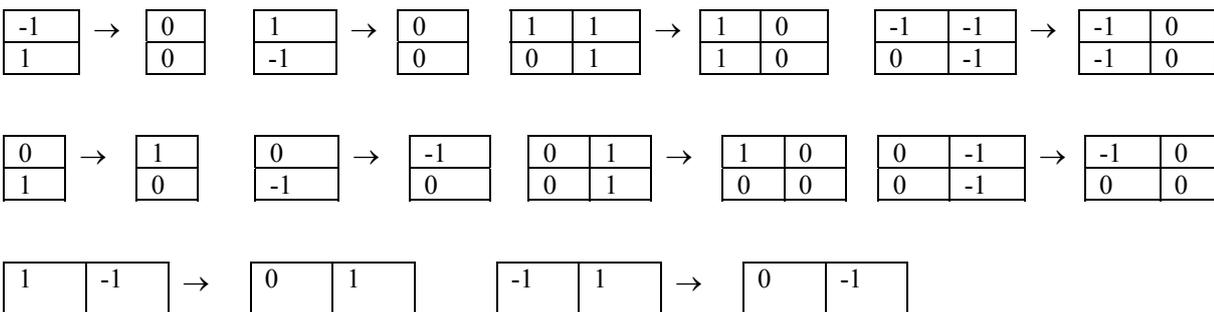


2. Продукции сложения и знакоразрядная система счисления (числа задаются в цифровом алфавите -1, 0, 1):



Для выполнения сложения массива операндов, заданных в знакоразрядной системе счисления, на кафедре программного обеспечения вычислительной техники Курского государственного технического университета впервые разработана система продукций, позволяющая использовать методы обработки символьной информации для реализации операции сложения и использованная нами в приведенном выше примере.

Продукции сложения массивов операндов имеют вид:



Процессы применения продукций сложения в знакоразрядной системе счисления широкомасштабно моделировались и показано, что данные процессы корректно завершаются за конечное число шагов. Моделирующая программа выполнена на языке C++.

Литература

1. Ачасова С.М., Бандман О.Л. Корректность параллельных процессов. Новосибирск: Наука, 1990, 252 с.
2. Марков А.А., Нагорный Р.М. Теория алгоритмов. М.: Наука, 1984., 432 с.

УДК 681.3

СИСТЕМА ПРОДУКЦИЙ ДЛЯ СУММИРОВАНИЯ МАССИВОВ В ДВОИЧНОМ ЗНАКОРАЗЯДНОМ КОДЕ

Тютюнов Д.Н.

(г.Курск, Россия)

In work the system of production for summation of files in binary is considered is familiar a digit code.

Мониторинг любой медико-биологической или экологической системы, отдельные измерения, снимаемые с датчиков (электрокардиограммы, энцефалограммы, химические анализаторы и т.п.) требуют оперативного информационного сопровождения для решения задач экспресс-анализа, диагностики и прогнозирования. Исследуемые сигналы поступают в приемный тракт вычислительных устройств (ВУ). Основным компонентом ВУ является арифметическое устройство (АУ), реализующее доминирующие операции сложения и вычитания операндов, на основе которых выполняются все другие арифметические преобразования. Каждый операнд представляется с помощью аналого-цифрового преобразования (АЦП) в сигнал, зашифрованный в двоичном коде (позиционная двоичная или двоичная знакоразрядная система счисления).

К основным преимуществам двоичного кодирования относят:

- низкий уровень сложности, надежность и технологичность элементной базы бинарных схем;
- высокое быстродействие суммирования операндов;
- возможность пошагового получения результата при сложении старшими разрядами вперед в двоичной знакоразрядной системе счисления;
- возможность применения конвейерного режима сложения.

Современные требования к скорости вычислений АУ создают необходимые предпосылки для разработок новых концепций и принципов обработки арифметической информации.

В частности, в [1] предлагаются параллельные схемы подстановок для суммирования, которые охватывают фрагменты нескольких операндов. Эти схемы реализуют подстановки (рис.1). За конечное число шагов (по конфигурациям) можно получить сумму операндов.

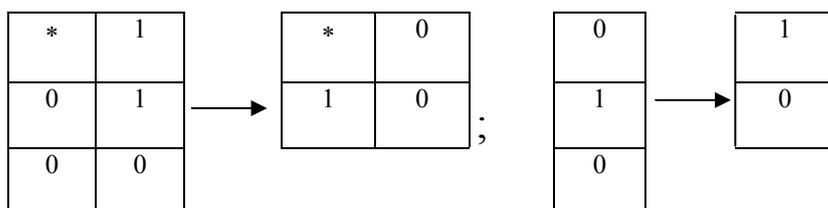


Рис.1

Такой подход резко уменьшил число переходов, позволил производить параллельные операции сложения фрагментов операндов, но при выполнении вычитания требуется предварительное преобразование отрицательных чисел в дополнительный код.

Для устранения этого недостатка предлагается применение знакоразрядных схем сложения, основанных на применении алфавитов типа $(-1; 1)$; $(-1; 0; 1)$, $(-2; -1; 0; 1)$; $(-1; 0)$ и т.п. Наибольший интерес вызывает позиционная знакоразрядная система счисления $(-1; 0; 1)$, она позволяет:

- значительно сократить интервалы переносов по сравнению с применением параллельных подстановок;
- аннулировать преобразования в дополнительный код;
- применять марковские подстановки при выполнении арифметических операций.

Новая производственная концепция сложения приводит к незначительному усложнению аппаратной сложности АУ, но дает существенное приращение скорости одновременного сложения массива чисел с использованием конвейерного режима обработки (пошаговое пополнение исходного массива).

Знакоразрядная система счисления является избыточной, что приводит к неоднозначному кодированию, при котором число с равными десятичными эквивалентами двоичного числа имеют разные коды. Например, одно из поступающих в АУ слагаемых $Q = 5_{10} = 101_2 = 11 \bar{1}_{zn} = 10 \bar{1} \bar{1}_{zn}$ представлено как минимум двумя различными способами в знакоразрядной системе счисления. Чтобы детерминировать ситуацию применяют производственные алгоритмы в универсальной алгоритмической системе, построенной на основе алгоритмической системы

А.А.Маркова [2], которые позволяют находить сумму множества операндов одновременно. Базовые продукции впервые публикуются и приведены на рисунке 2.

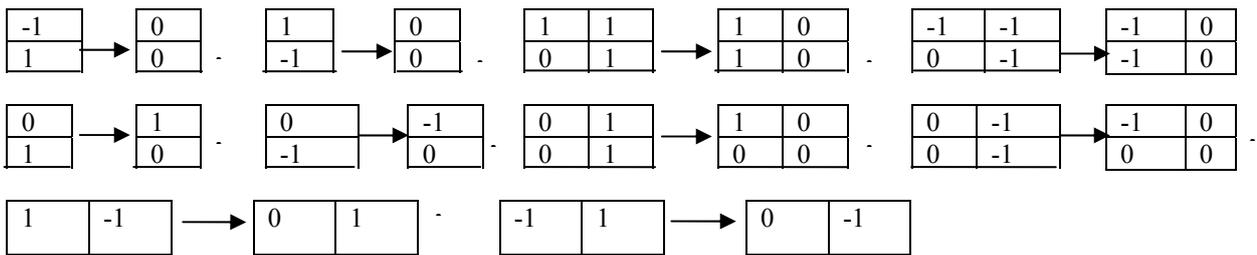


Рис.2

Следует отметить, что набор продукции для выполнения сложения массивов чисел состоит из десяти конструкторов, а набор параллельных подстановок только из двух. Между тем увеличение разнообразия продукции позволяет повысить скорость сложения до трех раз по отношению к скорости работы двух параллельных подстановок. Очевидно, что использование большего числа продукции приводит к дополнительным аппаратным затратам. Следует отметить, что совокупность логических функций переключения трехстабильных элементарных автоматов, реализующих все разнообразие продукции сложения, минимизируется. В результате минимизации создана функциональная схема, которая дополнительно (по отношению к схеме параллельных подстановок) имеет всего два трехходовых элемента ИЛИ.

Литература

1. Ачасова С.М., Бандман О.Л. Корректность параллельных процессов. Новосибирск: Наука, 1990, 252 с.
2. Марков А.А., Нагорный Р.М. Теория алгоритмов. М.: Наука, 1984., 432 с.

УДК 539.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОПРИВОДА СО СТРУЙНЫМ УСИЛИТЕЛЕМ

Тихенко В.Н., Волков А.А.

(г. Одесса, Украина)

In work the theme of increase of efficiency of a hydrodrive with the jet amplifier is considered.

В гидравлических приводах технологических машин применяются следующие гидроприводы с дросселирующими распределителями и со струйными трубками.

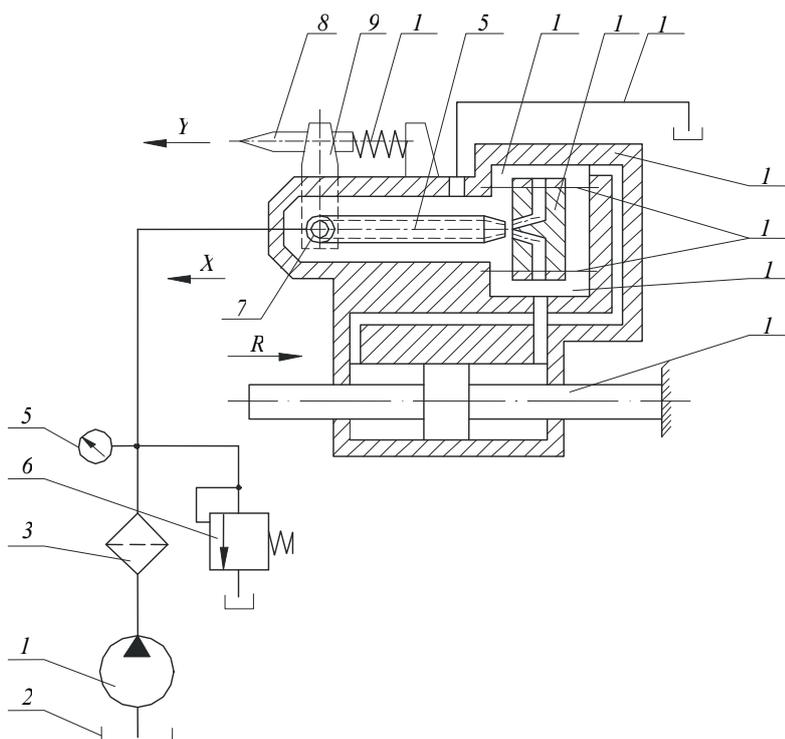


Рис.1. Конструктивная схема следящего гидропривода.

Общим недостатком всех дросселирующих распределителей является опасность засорения малых зазоров между подвижными элементами, что приводит к отказу гидропривода. Гидравлические следящие приводы со струйной трубкой нечувствительны к загрязнению рабочей жидкостью и поэтому обеспечивают высокую надежность работы. Кроме того, они отличаются малыми инерцией и трением подвижных частей, вследствие чего обладают высоким быстродействием и чувствительностью. Точность работы следящих приводов со струйными гидроусилителями несколько выше, чем у приводов с однокромочными золотниками, но ниже, чем у приводов с четырехкромочными золотниками. Максимальный КПД гидравлических следящих приводов со струйными усилителями имеет промежуточное значение между максимальными КПД следящих приводов с одно- и четырехкромочными золотниками, однако технологичность изготовле-

ния и надежность в работе позволяют в ряде случаев отдавать предпочтение струйным усилителям [1].

Недостатком гидравлических следящих систем является то, что нагрузка, например, от сил резания и трения, влияет на характеристики приводов. Снизить или полностью устранить это влияние можно путем введения дополнительной обратной связи по нагрузке. Следящие системы, в которых, кроме основного контура регулирования, есть еще дополнительная цепь воздействия возмущений, являются системами комбинированного регулирования. Конструкции гидравлических следящих приводов комбинированного регулирования уже применяются в промышленности [2].

В следящих гидроприводах со струйными усилителями возможно реализовать обратную связь по нагрузке. На рис.1 приведена принципиальная схема такого привода. Рабочая жидкость подается насосом 2 из бака 1 через фильтр 3 и под постоянным давлением нагнетается в струйную трубку 7. Величина давления измеряется по манометру 5 и определяется настройкой напорного золотника 4, а при его полном закрытии – потерями давления в магистрали от насоса до нагнетательного сопла струйной трубки. Сигнал управления Y подается на щуп 8, закрепленный на рычаге 9, который жестко связан со струйной трубкой. Ось b поворота струйной трубки шарнирно опирается на корпус 14 исполнительного органа привода, который может перемещаться по закрепленному штоку 17. Струйная трубка имеет возможность поворачиваться на небольшой угол в обе стороны вокруг оси, перпендикулярной к плоскости чертежа. Приемные сопла 12 установлены в корпусе на упругих мембранах 15, которые образуют вместе с корпусом управляющие камеры 11 и 16. Пружина 9 постоянно прижимает щуп к какому-то управляющему устройству, например, копиру.

Работает гидравлический следящий привод следующим образом. Струя рабочей жидкости, вытекающая из нагнетательного сопла струйной трубки, имеет определенный запас кинетической энергии. При торможении жидкости в приемных окнах кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию давления. Если струйная трубка занимает среднее положение относительно приемных окон, то энергия струи равномерно распределяется между окнами. При этом давления в управляющих камерах и в полостях гидроцилиндра оказываются одинаковыми по величине. Поворот струйной трубки происходит при неравенстве величины управляющего сигнала Y и координаты X исполнительного органа.

Приемные окна связаны с полостями гидроцилиндра таким образом, что перепад давлений, возникающий при повороте струйной трубки, всегда стремится сдвинуть исполнительный орган в направлении управляющего сигнала. При таком перемещении ось поворота струйной трубки, двигаясь вместе с исполнительным органом, стремится вернуть трубку в среднее положение относительно приемных окон. Благодаря этому в приводе осуществляется жесткая обратная связь, при которой выходная координата X исполнительного органа сравнивается с величиной управляющего сигнала Y .

Если к исполнительному органу прикладывается нагрузка R (силы резания, трения, инерции движущихся частей), то для компенсации влияния нагрузки приемные окна будут смещаться относительно корпуса. Величина этого смещения прямо пропорциональна перепаду давлений в полостях гидроцилиндра (т.е. величине нагрузки) и обратно пропорциональна жесткости мембран. Поэтому в приводе осуществляется дополнительная обратная связь, функционирующая от сигнала, вырабатываемого системой при ее нагружении. Обратная связь по нагрузке перераспределяет энергию струи, вытекающей из струйной трубки, между приемными окнами. Чем больше величина нагрузки, тем больше смещение приемных окон и соответственно больше дополнительный перепад давлений, компенсирующий влияние нагрузки. При правильном выборе жесткости мембран привод будет скомпенсирован по нагрузке.

В технической литературе описаны различные подходы к математическому описанию процессов взаимодействия струи и потоков в приемных окнах. Для рассмотренного гидравлического следящего привода удобно использовать методику, которая учитывает

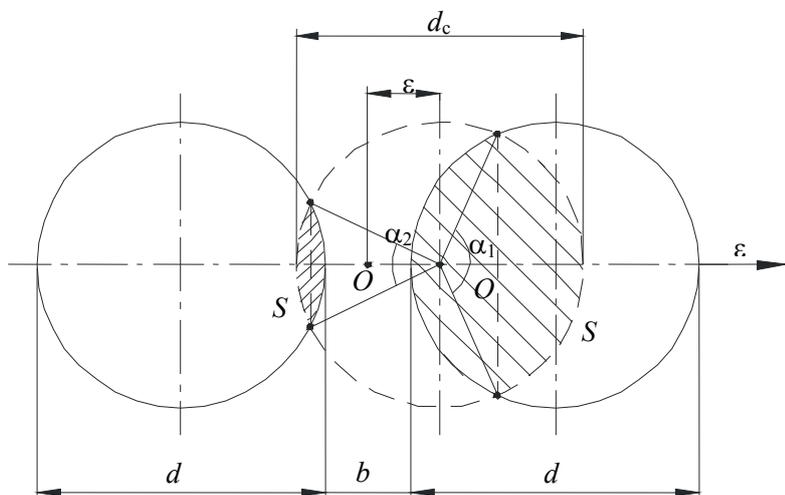


Рис.2. Схема зоны взаимодействия струи с потоками жидкости в каналах струйного гидроусилителя (поперечное сечение).

использовать методику, которая учитывает посредством уравнения Бернулли взаимосвязь скоростей вторичных потоков в окнах с давлением жидкости внутри каналов приемных окон [3]. Целью настоящей статьи является нахождение аналитических зависимостей для получения нагрузочных характеристик привода.

На первом этапе определяются геометрическим путем площади и перекрытия окон приемных каналов струей (рис.2). Диаметры каналов приемных окон и диаметр сопла струйной трубки равны. Между приемными окнами оставлена перемычка, величина которой обычно не превышает 0,5 мм.

Можно рассматривать диаметр сопла, совпадающий с осью, как сумму входящих в него отрезков (ширина перемычки, высоты сегментов и заштри-

хованных площадей и смещения из нейтрального положения).

Каждая заштрихованная на рис.2 площадь состоит из двух одинаковых сегментов, высота которых определяется выражением

$$h_1 = \frac{d_c}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \right], \quad (1)$$

$$h_2 = \frac{d_c}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) \right], \quad (2)$$

где d_c – диаметр сопла, α_1 и α_2 – соответствующие центральные углы.

Из выражения (1) можно найти

$$\alpha_1 = 2 \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right). \quad (3)$$

Тогда

$$S_1 = \frac{d_c^2}{4} \left[\frac{\pi}{90^\circ} \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right) - 2 \sin \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right) * \cos \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right) \right] / 2. \quad (4)$$

Принимая за базовую величину полную площадь круга с диаметром d_c ($S_{\max} = \pi d_c^2 / 4$), получаем относительное значение \bar{S}_1 .

$$\bar{S}_1 = \frac{S_1}{S_{\max}} = \frac{1}{180^\circ} \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right) - \frac{1}{\pi} \sin \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right) \cos \arccos\left(1 - \frac{2h_1}{d_c}\right) \quad (5)$$

Аналогичное значение может быть записано для площади \bar{S}_2 .

Диаметр сопла d_c , совпадающий с осью ε , можно рассматривать как сумму, входящих в него отрезков: ширина перемычки b , высота сегментов h_1 и h_2 заштрихованных площадей S_1 и S_2 , а также смещение струйной трубки из нейтрального положения ε .

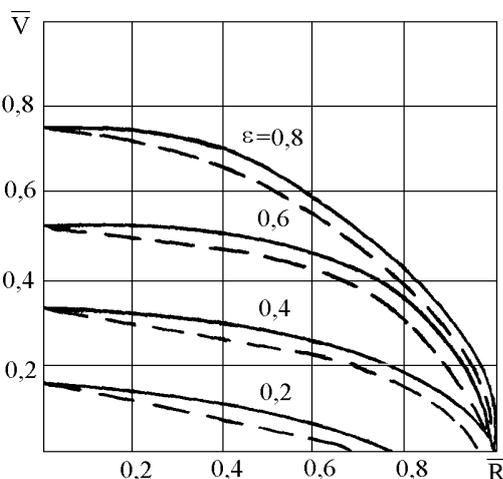


Рис.3. Нагрузочные характеристики следящего гидропривода.

где c – жесткость упругих мембран, S_m – площадь мембран.

Если величину $\bar{e} = e/e_{\max}$ подставить в уравнение (5), то можно определить изменение площади \bar{S}_1 под действием перепада давлений (аналогично определяется новое значение \bar{S}_2). Затем находят новые значения, \bar{p}_1 и \bar{p}_2 . Тяговое усилие гидроцилиндра определяется из выражения

$$\bar{R} = \bar{p}_1 - \bar{p}_2 - 2\zeta\bar{V}^2, \quad (9)$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления гидролинии, которая соединяет приемные окна и полость гидроцилиндра.

С использованием выражения (9) были построены нагрузочные характеристики рассматриваемого гидропривода (рис.3). Здесь же приведены (пунктирными линиями) аналогичные зависимости для традиционной

Для последующих расчетов необходимо ввести относительные величины скорости гидроцилиндра $\bar{V} = V/V_{\max}$, давлений в приемных каналах окон $\bar{p}_1 = p_1/p_{1\max}$, $\bar{p}_2 = p_2/p_{2\max}$ и тягового усилия $\bar{R} = R/R_{\max}$.

На следующем этапе определяются коэффициенты восстановления давления в каналах [3]

$$\bar{p}_1 = \left(\frac{\bar{S}_1 - \bar{V}}{1 - \bar{S}_1} \right)^2 \leq 1, \quad (6)$$

$$\bar{p}_2 = \left(\frac{\bar{S}_2 - \bar{V}}{1 - \bar{S}_2} \right) \leq 1. \quad (7)$$

Находится смещение e корпуса приемных окон под действием перепада давлений

$$e = \bar{n} S_m (\bar{p}_1 - \bar{p}_2), \quad (8)$$

схемы. Сравнение характеристик показывает увеличение гидравлической жесткости привода при введении обратной связи по нагрузке. Дополнительно при анализе динамики необходимо проверить сохранение устойчивости следящего гидропривода.

Введение обратной связи по нагрузке в струйный следящий гидропривод позволило повысить гидравлическую жесткость, снизить зону нечувствительности, увеличить КПД привода. Такие гидроприводы могут применяться в металлорежущих станках, промышленных роботах и других машинах.

Литература

1. Нагорный В.С., Денисов А.А. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем. М.: Высш. шк., 1991. – 367 с.
2. Тихенко В.Н. Улучшение эксплуатационных характеристик следящего привода с четырехкромочным золотником. //Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса, 2001. Вып.2. С. 11 – 14.
3. Навроцкий К.Л. Струйное регулирование объемного гидропривода. //Сб. науч.тр. МАДИ «Методы расчета и проектирования гидропневмоприводов». М., 1988. С. 14 – 21.

УДК 539.4

НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Милешкин М.Б., канд. техн. наук, Библик И.В.

(г. Харьков, Украина)

The new approach to strength reliability estimation of materials and elements of constructions, based on the use of non destructive testing methods, including method of acoustic emission, and the developed special design - experimental method is offered.

Одним из важнейших свойств технических объектов является долговечность, определяемая сроком службы и ресурсом. Технический ресурс характеризует запас возможной наработки объекта до перехода в предельное состояние. Мероприятия по обеспечению ресурса проводятся на этапах проектирования, производства (изготовления) и эксплуатации.

Проблемам надежности и ресурса всегда уделялось большое внимание. Достигнуты значительные успехи, прежде всего в методах расчета деталей машин и конструкций на прочность и долговечность.

В то же время несомненно, что для решения проблемы оценки ресурса следует привлекать и новые подходы и методы. Отчасти это связано с тем, что традиционные методы оценки прочности и ресурса базируются и на традиционных моделях, которые не всегда достаточно адекватно отражают сущность происходящих в материале процессов при нагружении элементов конструкций.

Настоящая работа посвящена оценке возможности повышения надежности эксплуатации элементов конструкций за счет реализации нового подхода к оценке прочностной надежности, основанного на использовании различных методов неразрушающего контроля, включая акустико-эмиссионный метод, и специального расчетно-экспериментального метода (РЭМ) [1-4]. РЭМ, основанный на использовании представлений структурно-имитационного моделирования, уже позволил решить целый ряд задач – от определения характеристик прочности и пластичности при компьютерном конструировании материалов до исследования влияния различных видов повреждений на прочностную надежность материалов и элементов конструкций.

Кратко рассмотрим основные направления применения РЭМ для оценки прочностной надежности и остаточного ресурса элементов конструкций.

Традиционные методики оценки остаточного ресурса основываются на различных подходах расчетного характера к определению статической и усталостной прочности. При наличии различных видов повреждения материала обычно оценивается возможное влияние каждого из них по отдельности, и поэтому возникает определенная трудность в выборе модели прогноза. Подходы механики разрушения основаны только на учете изменения коэффициента интенсивности напряжений и скорости одной трещины, хотя на докритической стадии разрушения в материале может возникать большое количество микротрещин, которые взаимодействуют друг с другом и развиваются.

Предлагаемый подход основан на четких физических представлениях о процессе разрушения (даже если в материале еще нет трещин, но изменяются его деформационные свойства, то это уже можно считать инкубационным периодом процесса разрушения) в рамках единой методологии и позволяет учесть влияние всех стадий разрушения и всех возможных видов повреждений (эрозии, коррозии и т.п.).

Одним из возможных преимуществ применения нового подхода может быть оценка технического состояния и остаточного ресурса различных элементов конструкций при ремонте оборудования.

Определение фактического состояния материала элементов изделия стандартными методами (металлографическим, методами неразрушающего контроля) и применение разработанного специального РЭМ может позволить определить остаточный ресурс этих элементов даже без строгого учета всей предыстории нагружения материала.

В этом случае появляется возможность принимать модель предполагаемых эксплуатационных нагрузок в течение продлеваемого срока службы (например, 10 лет) как аналогичную за предыдущий срок эксплуатации.

То есть, в рамках расчетно-экспериментального метода модель нагружения для цикла «исходное состояние – эксплуатация – определение нового состояния материала – оценка остаточного ресурса» в течение продлеваемого периода будет соответствовать режимам нагружения за истекший период эксплуатации.

Известно, что к отказам элементов конструкций могут приводить различные физико-механические процессы, протекающие на разных масштабных уровнях, с различной скоростью и механизмом воздействия. При этом одновременно могут развиваться несколько типов повреждений материала (радиационное, механическое, тепловое и др.).

Из этого следует, что при определении остаточного ресурса необходим учет всего многообразия факторов, приводящих к снижению эксплуатационных свойств элементов конструкции. Предлагаемый подход позволяет учесть все возможные процессы и факторы, приводящие к деградации материала.

В качестве примера приведены кривые усталости и изменение максимальной на данный период нагружения длины трещины при циклическом нагружении для образцов низколегированной стали (рис. 1, а, б) и однонаправленного стеклопластика (рис. 2, а, б).

На рис. 1 приведены результаты для трех нормальных распределений предельных деформаций структурных элементов [1], отличающихся значением среднего a (кривая 1 – $a = 0,12$, кривая 2 – $a = 0,16$ и кривая 3 – $a = 0,20$). Видно, что практически одновременно происходит развитие нескольких трещин, чем и вызван скачкообразный характер кривых. Затем происходит локализация разрушения и распространение одной магистральной трещины.

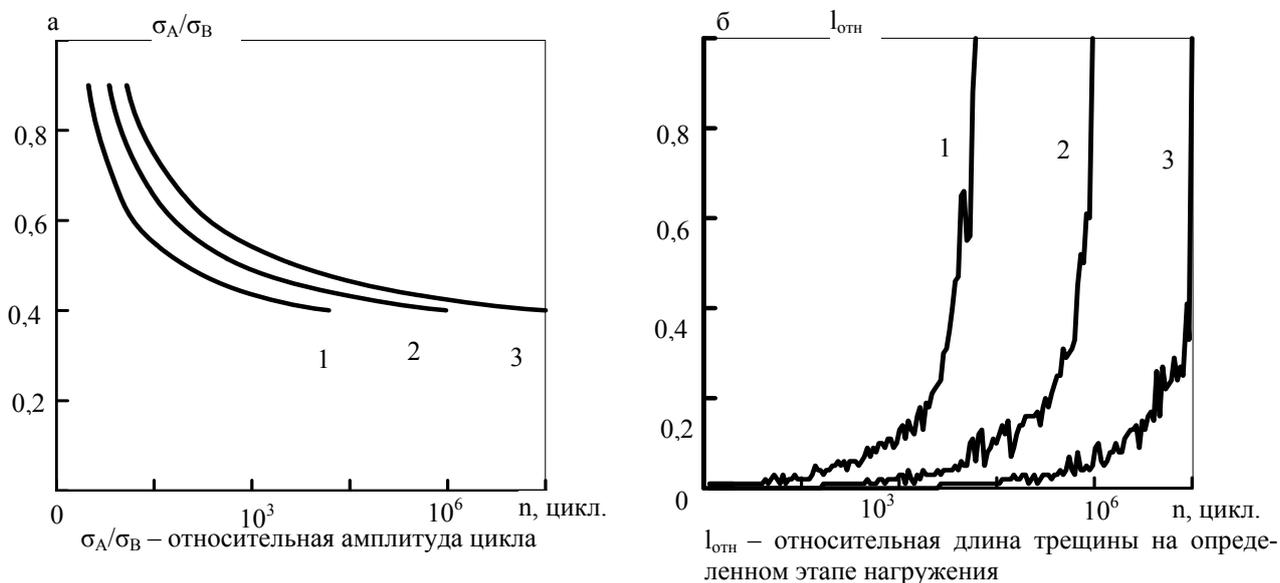


Рис. 1

На рис. 2 рассмотрены три случая: кривая 1 – образец, имеющий 20 % разрушенных волокон, кривая 2 – образец, имеющий 20 % разрушенных поверхностей раздела волокно – матрица, кривая 3 – бездефектный образец. Видно, что для всех случаев характер кривых усталости совпадает, но предел выносливости уменьшается с увеличением исходной поврежденности, причем для полимерных композитов большее влияние на предел выносливости оказывают разрушенные волокна.

Компьютерное моделирование процесса усталостного разрушения позволяет легко оценить как все стадии процесса разрушения, так и моделировать влияние "промежуточной поврежденности". Это осуществляется следующим образом.

При компьютерном моделировании в определенный момент запоминается структура модели материала, которая является исходной для нагружения ее с любой другой амплитудой цикла. Таким образом можно воспроизводить поврежденность при любом исследуемом законе нагружения.

Очевидно, что РЭМ дает возможность получить на каждое изделие (элемент конструкции) картину повреждения (по состоянию разрушения) на весь срок службы. Поэтому можно более обоснованно подходить как к регламентной дефектоскопии, так и к выбору средств и методов неразрушающего контроля.

В качестве примера на рис. 3 приведено распределение длин трещин по размерам на определенном этапе циклического нагружения (0,7-0,8 от долговечности) для образцов низколегированной стали (рис. 3,а) и стеклопластика (рис. 3,б). Номера кривых на рис. 3 соответствуют номерам кривых на рис. 1, 2. Видно, что, начиная с длин трещин, составляющих 0,05 от толщины образца, для каждого из рассматриваемых материалов распределения идентичны и практически не зависят от исходного состояния материала.

Поскольку эти распределения получены для образцов с различной долговечностью, то можно считать, что такие распределения будут полезны для определения остаточного ресурса элементов конструкций при исследовании их поврежденности на любом этапе эксплуатации.

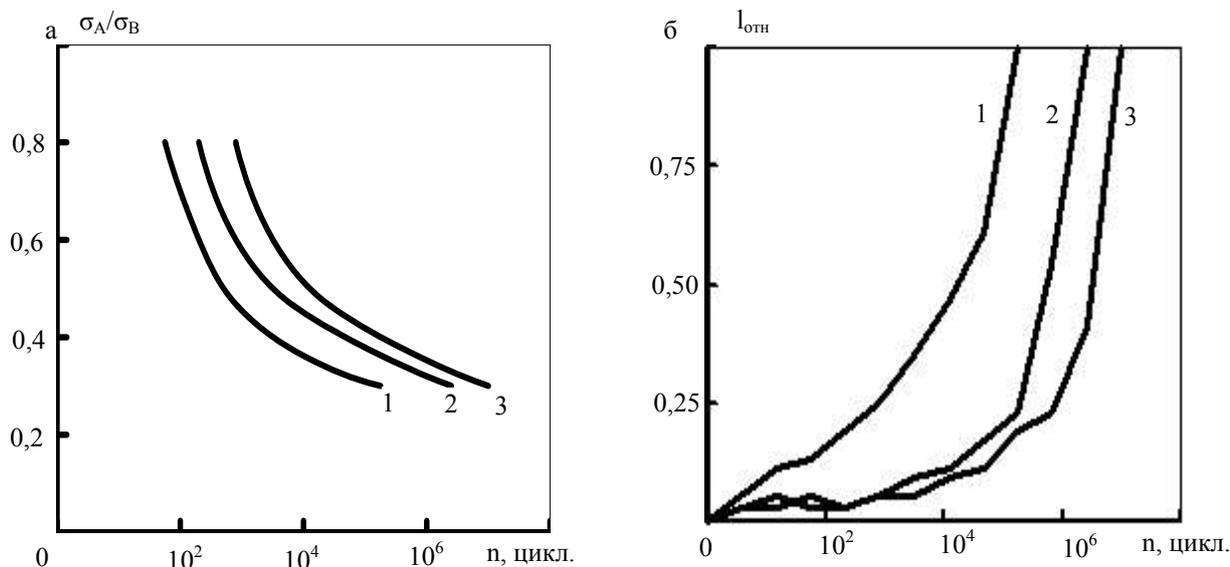


Рис. 2.

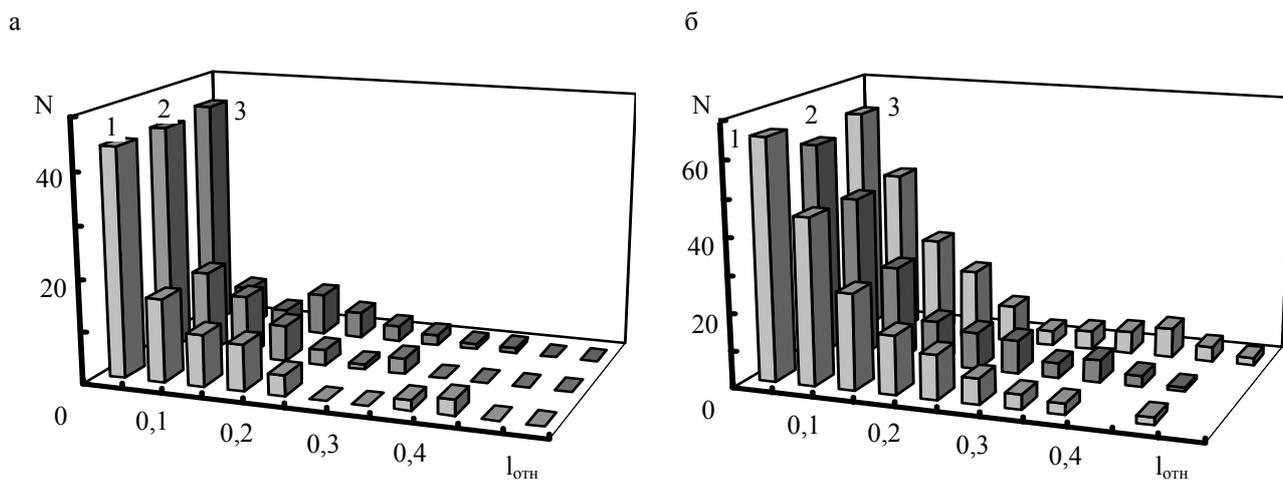


Рис. 3.

Литература

1. Библик И.В. Применение специального расчетно-экспериментального метода для оценки механического поведения и прочности материалов с различными свойствами структурных компонентов / Библик И.В., Милешкин М.Б., Стоев П.И. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Радіофізика та іоносфера.- Харків, 2002.- №9.- Т.5.- С. 15-20.
2. Милешкин М.Б. Расчетно-экспериментальная оценка прочностной надежности конструкционных материалов различных классов / Милешкин М.Б., Библик И.В. // Труды 6-й МНТК "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". - Харьков, 2002. - С. 282-284.
3. Милешкин М.Б. Исследование кинетики многоциклового усталости методом компьютерного моделирования / Милешкин М.Б., Библик И.В. // Труды 7-й МНТК "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". - Харьков, 2003.- С. 210-212.
4. Милешкин М.Б. Основные проблемы оценки остаточного ресурса элементов конструкций по состоянию разрушения материала / Милешкин М.Б., Библик И.В.// Удосконалення турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання: Зб.наук.праць.- Харків: ПІМаш НАНУ, 2003.-Т.2.-С. 388-393.

УДК 687.027:66.084

ИМИТАТОР ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Федоров А. И., канд. техн. наук, ст. научн. сотр., Пермяков В. И., канд. техн. наук, доц.,
Рябушко А. В.

(г. Харьков, Украина)

The variant of construction of the simulator vibration and acoustics of signals of a utilities equipment in tasks of projection of control systems is considered. As the simulator the acoustic and vibrational agents of an electrodynamic type constructed by a principle of servo-mechanisms with the observer and feed-backs on all variables of a condition

are used. As a driver unit and device of common control of the simulator the personal digital computer and package LabVIEW is used.

Вибрация и шум элементов и частей энергетического оборудования являются носителями информативных параметров, позволяющих организовать процесс управления этим оборудованием, либо процесс контроля его эксплуатационных характеристик. Сложность отладки и настройки современных систем контроля и управления, с одной стороны, и ограниченные возможности проведения экспериментальных исследований на дорогостоящем энергетическом оборудовании, с другой, вызывают необходимость создания имитатора виброакустических сигналов энергетического оборудования. Такой имитатор может быть построен на базе вибратора электродинамического типа.

Система уравнений, которыми описывается движение подвижной части электродинамического вибратора, работающего в низкочастотной области, имеет вид [1]

$$m \frac{d^2 y_l}{dt^2} + h \frac{dy_l}{dt} + ky_l = B_\delta I_{\text{п.к}} \tag{1}$$

$$L_{\text{п.к}} \frac{dI_{\text{п.к}}}{dt} + R_{\text{п.к}} I_{\text{п.к}} = U + E_{\text{инд}} = U - B_\delta l \frac{dy_l}{dt}$$

На основании системы уравнений (1) построим структурную модель динамики вибратора, изображенную на рис. 1.

Передаточная функция в соответствии со схемой, изображенной на рис. 1, имеет вид

$$W_i(p) = \frac{y_l(p)}{u(p)} = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}, \tag{2}$$

где

$$W_1(p) = \frac{1}{L_{\text{п.к}}p + R_{\text{п.к}}}; W_2(p) = B_\delta l p; W_3(p) = \frac{1}{mp^2 + hp + k}; W_4(p) = B_\delta l p.$$

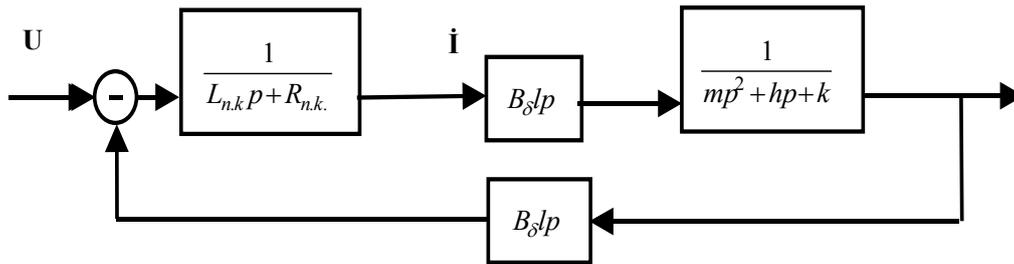


Рис. 1. Структурная модель вибратора.

Подстановка значений передаточных функций $W_i(p), i=1, 2, 3, 4$ в выражение (2) дает

$$W_H(p) = \frac{b_{0H}}{a_{3H}p^3 + a_{2H}p^2 + a_{1H}p + a_{0H}}, \tag{3}$$

где $b_{0H} = B_\delta l$; $a_{0H} = kR_{\text{п.к}}$; $a_{1H} = B_\delta^2 l^2 + L_{\text{п.к}}k + hR_{\text{п.к}}$; $a_{2H} = mR_{\text{п.к}} + L_{\text{п.к}}h$; $a_{3H} = mL_{\text{п.к}}$.

В пространстве состояний система будет иметь вид

$$\begin{aligned} \dot{\vec{x}}(t) &= A\vec{x}(t) + Bu(t) \\ y(t) &= C\vec{x}(t) \end{aligned}, \tag{4}$$

где A - матрица состояния; B - матрица управления; C - матрица наблюдения.

При реализации системы управления поместим наблюдателя в замкнутый контур (рис. 2).

В соответствии с процедурой синтеза путём размещения полюсов необходимо найти такую матрицу K , чтобы выполнялось равенство

$$|pE - A + BK| = \alpha c(p) = p^4 + \alpha_3 p^3 + \alpha_1 p^1 + \alpha_0. \tag{5}$$

Следовательно, для искоемых коэффициентов обратных связей можем получить следующие соотношения

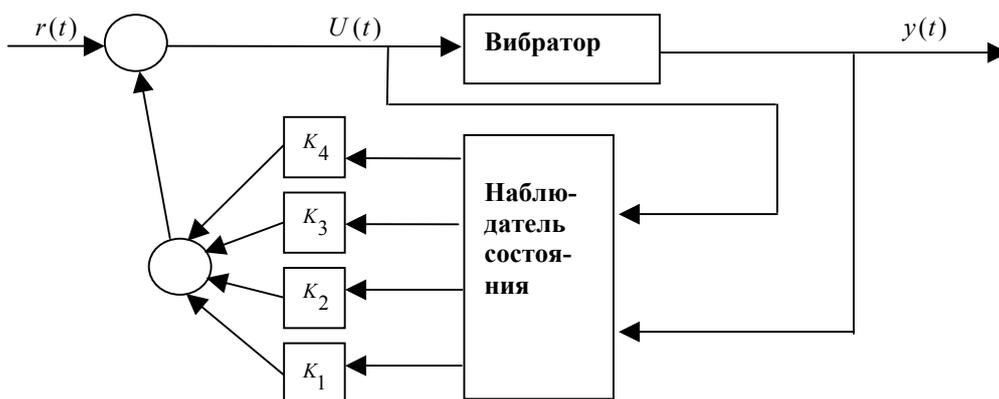


Рис. 2. Система управления с наблюдателем.

$$\begin{aligned}
 K_1 &= a_0; & a_0 &= \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4; \\
 K_2 &= a_1 - a_1; & a_1 &= \lambda_1 \cdot \lambda_2 (\lambda_3 \cdot \lambda_4) + \lambda_3 \cdot \lambda_4 (\lambda_1 \cdot \lambda_2); \\
 K_3 &= a_2 - a_2; & a_2 &= \lambda_1 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3) + \lambda_2 \cdot (\lambda_3 + \lambda_4) + \lambda_4 \cdot (\lambda_3 + \lambda_1); \\
 K_4 &= a_3 - a_3; & a_3 &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Уравнение наблюдателя

$$\dot{\hat{x}}(t) = F \cdot \hat{x}(t) + H \cdot U(t) + G \cdot y(t). \tag{7}$$

Матрицы F , H , G должны быть выбраны таким образом, чтобы $\hat{x}(t)$ довел точную оценку $\bar{x}(t)$. Тогда в системе управления вектор $\hat{x}(t)$ можно использовать для формирования сигнала обратной связи

$$U(t) = -K \cdot \hat{x}(t). \tag{8}$$

Известно [2], что

$$\begin{aligned}
 F &= A - GC \\
 H &= B
 \end{aligned} \tag{9}$$

Характеристическое уравнение системы с полной обратной связью по состоянию будет иметь вид

$$|pE - A + BK| = \alpha_c(p) = 0. \tag{10}$$

Уравнения состояния регулятора – наблюдателя имеют вид

$$\begin{aligned}
 \dot{\hat{x}} &= (A - GB - BK) \hat{x}(t) + Gy(t) \\
 U(t) &= -K \hat{x}(t)
 \end{aligned} \tag{11}$$

где $y(t)$ – вход наблюдателя; $u(t)$ – выход наблюдателя.

Поскольку уравнение записаны в стандартной форме, можно определить передаточную функцию регулятора наблюдателя

$$G_{pez}(p) = K(pE - A + GC + BK)^{-1}. \tag{12}$$

После необходимых преобразований, получим выражение для передаточной функции в стандартной форме

$$G_{pez}(p) = \frac{b_3 p^3 + b_2 p^2 + b_1 p + b_0}{p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}. \tag{13}$$

В системе управления с наблюдателем в качестве задающего устройства и устройства общего управления имитатором используется персональный компьютер и пакет LabVIEW.

В целом комплекс созданного аппаратного и программного обеспечения позволяет в лабораторных условиях имитировать виброакустические процессы в энергетическом оборудовании, используя различные принципы эквивалентирования (подобие спектров, плотностей распределения и т.д.), что даст возможность снизить сроки опытно-конструкторских разработок систем управления и контроля.

Литература

1. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. – К.: Наук. думка, 1989. – 208 с.
2. Филлипс И., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.

УДК 534.232.001. 11:62.50

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ДВИЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ ДВУХКООРДИНАТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОСТЕНДА

Мягкохлеб К.Б.

(г. Харьков, Украина)

In the report the simple method of definition of coordinates of motion of a platform of a xy electromagnetic vibration table is offered. This method grounded on equating of entering and output potencies of electromagnetic vibrators installed on different coordinates.

В двухкоординатных электромагнитных вибростендах усилия передаются платформе одновременно от двух вибровозбудителей, расположенных по разным координатам непосредственно через якоря, жестко связанные с платформой.

Под действием электромагнитных сил платформа (подвижная часть) электромагнитного вибрационного стенда (ЭМВС) совершает колебания [1]. Обычно величины координат записываются, исходя из представления якоря в виде колебательной системы (КС) с двумя степенями свободы и в результате решения дифференциальных уравнений движения КС [2]. Однако возможен другой путь определения этих координат. Представим его в данной статье.

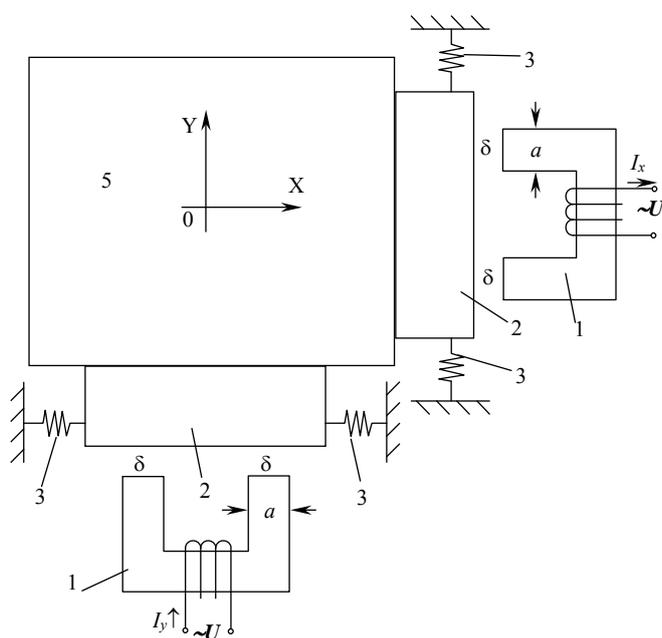


Рис. 1

Для этого приравняем мощность P_F , создающую тяговое усилие F в ЭМВС и мощность движения P платформы, пренебрегая при этом потерями в магнитных системах ЭМВС [3].

Для наглядности приведем на рис. 1 схему ЭМВС, где 1 - магнитопроводы; 2 - якоря; 3 - пружины; 4 - обмотки с электрическими токами i_x , i_y и числами витков w ; 5 - платформа ЭМВС; δ - воздушные зазоры, U_x , U_y - задающие электрические напряжения по каждой координате.

Энергия, формирующая тяговое усилие F будет равна сумме энергий, создаваемых каждым вибровозбудителем

$$W_F = W_X + W_Y, \quad (1)$$

$$W_X = \frac{1}{2} Li_X^2 = \frac{1}{2} w^2 Gi_X^2, \quad (2)$$

$$W_Y = \frac{1}{2} Li_Y^2 = \frac{1}{2} w^2 Gi_Y^2, \quad (3)$$

где L - индуктивности ($L = w^2 G$); G - магнит-

ные проводимости ($G = \frac{\mu_0 S}{2\delta}$); μ_0 - магнитная проницаемость воздушного зазора; S - площади поперечного

сечения полюсов магнитопроводов 1 у зазоров δ (считаем, что параметры вибровозбудителей одинаковы).

Тяговое усилие F платформы 5 будет равно векторной сумме тяговых усилий, создаваемых каждым вибровозбудителем [4]

$$\vec{F} = \vec{F}_X + \vec{F}_Y, \quad (4)$$

$$F_X = \frac{dW_X}{d\delta} = \frac{i_X^2 L}{2\delta}, \quad (5)$$

$$F_Y = \frac{dW_Y}{d\delta} = \frac{i_Y^2 L}{2\delta}. \quad (6)$$

Мощность, создающая F , определяется соотношением

$$P_F = \frac{d}{dt} W_F = \frac{d}{dt} (W_X + W_Y) = \frac{1}{2} L \left(\frac{di_X^2}{dt} + \frac{di_Y^2}{dt} \right). \quad (7)$$

Мощность движения платформы 5

$$P = P_X + P_Y, \quad (8)$$

$$P_X = \dot{x} F_X = \dot{x} \frac{i_X^2 L}{2\delta}, \quad (9)$$

$$P_Y = \dot{y}F_Y = \dot{y} \frac{i_Y^2 L}{2\delta} \quad (10)$$

где \dot{x} , \dot{y} - скорости движения платформы 5 в направлении X и Y.

$$i_X = I_m \sin \omega t, \quad (11)$$

$$i_Y = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (12)$$

где I_m - амплитуда; ω - круговая частота, φ - фаза колебаний.

В результате равенства выражений (7) и (8) при учете (11),(12) имеем

$$\frac{1}{2\delta} \dot{x} \sin \omega t = \omega \cos \omega t,$$

$$\frac{1}{2\delta} \dot{y} \sin(\omega t + \varphi) = \omega \cos(\omega t + \varphi)$$

откуда величина скорости x определяется выражением

$$\dot{x} = 2\delta\omega \operatorname{ctg} \omega t. \quad (13)$$

$$\dot{y} = 2\delta\omega \operatorname{ctg}(\omega t + \varphi) \quad (14)$$

Из выражений (13), (14) получаем перемещения X , Y и ускорения \ddot{x} , \ddot{y} платформы 5 путем интегрирования \dot{x} , \dot{y} по времени и дифференцирования \dot{x} , \dot{y} также по времени, то есть

$$x = \int \dot{x} dt = 2\delta \ln |\sin \omega t|, \quad (15)$$

$$y = \int \dot{y} dt = 2\delta \ln |\sin(\omega t + \varphi)|,$$

$$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} = -2\omega^2 \delta \frac{1}{\sin^2 \omega t}, \quad (16)$$

$$\ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt} = -2\omega^2 \delta \frac{1}{\sin^2(\omega t + \varphi)}.$$

Таким образом, в результате сравнения указанных мощностей получены координаты движения подвижной части ЭМВС. Следует заметить, что в данном решении было принято допущение о малости колебаний якоря ЭМВС по сравнению с воздушными зазорами δ .

Данное решение дает возможность на основе знания только величины воздушного зазора и частоты входного воздействия предварительно определить координаты движения подвижной системы ЭМВС, а затем их величины сопоставить с возможностями механической системы (КС).

Литература

1. Вибрация в технике. Т.2 /Под ред. Блехмана И.И. М.: Машиностроение, 1979.- 352 с.
2. Божко А.Е., Голуб Н.М. Динамико-энергетические связи колебательных систем. К.: Наук. думка, 1980. - 188 с.
3. Божко А.Е. Об одном способе определения координат движения якоря электромагнитного вибростенда. К.: Доклады НАН Украины. 2003.
4. Божко А.Е., Гноевой А.В., Шпачук В.П. Пространственное вибровозбуждение. К.: Наук. думка, 1987. - 190 с.

УДК 620.178.5

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИВНЫХ ЧАСТОТ ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОПОР ТУРБОМАШИН

Белых В.И., канд. техн. наук, Пипин А. А., Зализняк О.А.

(г. Харьков, Украина)

In the report the features of selection of area of informative frequencies are rotined at vibrational diagnostic of bearings of rotodynamic machines with inserts from a babbitt. The process of interplay of surfaces of a rotor and bearing is reviewed and the relations of limiting values of frequency area to diameter of a bearing and value of concentration of firm impurity(additives) in a babbitt are obtained.

Для оценки технического состояния подшипников скольжения турбомашин предпочтение отдается разделению вибрационного сигнала в частотной области. Эффективность использования вибросигнала для идентификации различных динамических процессов в роторных машинах связано с возможностью выбора в спектре частот полосы, в которой проявляется высокая вибросочувствительность системы к анализируемому процессу при малом уровне шумов [1, 2].

Возможны четыре основных источника вибрации опор скольжения:

- неуравновешенность ротора;
- нарушение геометрии сопрягающихся узлов;
- отклонение от соосности, перекося и другие технологические ошибки;
- работа опоры в режиме сухого трения.

Увеличение неуравновешенности ротора за счет разрушения или деформации лопаток, износа подшипников скольжения, ослабления посадки деталей на роторе, а также уменьшение жесткости опор приводит к увеличению вибрации в плоскости вращения машины с частотой, равной частоте вращения ротора. Наличие колебательного движения цапфы вала приводит к появлению на корпусе опоры пространственно выраженной зоны вибраций повышенного уровня, определение протяженности которой позволяет установить величину зазора в подшипнике [3].

Отклонение от соосности валов и опор, а также нарушение геометрии сопрягающихся узлов приводит к увеличению вибрации с частотой, равной удвоенной частоте вращения ротора [1, 4].

Рассмотрим подробнее частотные составляющие, связанные с режимом смазки. В зависимости от толщины пленки смазки h_0 , распределения высот неровностей и степени прилегания можно выделить три основных режима работы опоры [5]:

- упруго- гидродинамическая смазка;
- частичная (скудная) смазка;
- граничная смазка (сухое трение).

В режиме 1 твердые поверхности разделены непрерывной пленкой смазки, толщина которой намного превышает величину R_a шероховатости поверхности ($h_0 \gg R_a$).

В режиме 2 ($h_0 \sim R_a$) нагрузка воспринимается как масляной пленкой, так и контактирующими неровностями поверхностей.

В режиме 3 ($h_0 \sim 0$) нагрузка практически полностью воспринимается деформируемыми поверхностями. Процесс механического взаимодействия поверхностей трения характеризуется деформацией поверхностного слоя пары трения, причем имеет место как упругая, так и пластическая деформация микровыступов. Наличие существенного тепловыделения при скольжении приводит к уменьшению толщины смазочного слоя и увеличению доли металлического контакта.

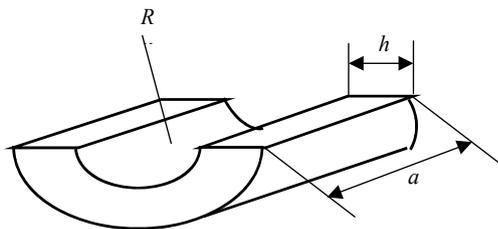


Рис. 1 – Размеры баббитовой наплавки

Пусть баббитовая наплавка содержит A % твердых включений, которые равномерно распределены по всему объему V .

Примем размеры баббитовой наплавки (рис. 1). a – ширина, b – длина.

$$b = \frac{2\pi R_H}{k_1},$$

где R_H – начальный радиус соприкосновения ротора и опоры; $k_1 = \frac{l}{b}$ – коэффициент, определяемый размером вкладыша, где l – длина окружности через точку соприкосновения.

Из работы [7] для баббита Б83 размеры твердых включений в виде кристаллов $S_n S_b$ квадратной формы составляют 0,09-0,12 мм.

Примем средний размер $S=d_2$. Суммарная площадь включений в поверхностном слое вкладыша

$$S_{\Sigma} = S_{\text{вклад.}} \cdot \frac{A}{100\%} = \frac{2\pi R_H \cdot A \cdot a}{k_1 \cdot 100\%}.$$

Тогда число включений в поверхностном слое равно

$$N_S = \frac{S_{\Sigma}}{d^2} = \frac{S_{\text{вклад.}}}{d^2} \cdot \frac{A}{100\%}.$$

Суммарная длина включений по длине вкладыша

$$l_{\Sigma} = b \cdot \frac{A}{100\%} = \frac{2\pi R_H \cdot A}{k_1 \cdot 100\%}.$$

Число включений в линейном размере

$$N_l = \frac{l_{\Sigma}}{d} .$$

Максимальный интервал повторения твердых включений составит

$$\Delta_{max} = \frac{b \cdot d}{l_{\Sigma}} = \frac{d \cdot 100\%}{A} .$$

Период T_c повторений соударений ротора о твердые включения (максимальный) составит

$$T_{c\ max} = \frac{T \cdot \Delta_{max}}{l} = \frac{d \cdot 100\%}{\omega \cdot R_H \cdot A\%} ,$$

где ω - частота вращения ротора.

Отсюда, максимальная частота повторения ударных импульсов при контакте

$$f_{min} = \frac{1}{T_c} = \frac{\omega R_H \cdot A}{d \cdot 100\%} .$$

Число твердых включений на интервале Δ_{max} по поверхности составит

$$N_{\Delta_{max}} = \frac{N_S \cdot \Delta_{max} \cdot a}{S_{вклад.}} = \frac{a}{d} .$$

Минимальный интервал повторения твердых включений примем

$$\Delta_{min} = \frac{d}{2} .$$

Отсюда, максимальная частота повторения ударных импульсов при контакте

$$f_{max} = \frac{1}{T_{c\ min}} = \frac{2\pi R_H}{T \cdot \Delta_{min}} = \frac{2\omega R_H}{d} = f_{min} \cdot \frac{200}{A} .$$

В процессе работы подшипника происходит износ баббитовой наплавки, в результате чего изменяется значение R_H и, следовательно, значение f_{min} увеличивается. Кроме этого, ввиду разных температур плавления твердые включения будут нагреваться в процессе соударений с ротором и оплавливать слой баббита. В результате этого значение A с течением времени начинает увеличиваться для поверхностного слоя. Тем самым f_{min} и f_{max} тоже начинают увеличиваться.

Амплитуда вибрации опоры скольжения также зависит от величины A и, с течением времени, будут увеличиваться. Однако, при незначительных площадях выкрошивания, что не влияет на режим работы смазочного слоя, значение A для поверхностного слоя уменьшается и, соответственно, уменьшается значение f_{min} и амплитуда вибрации, что может быть использовано как критерий оценки начальной стадии разрушения баббитового слоя вкладыша.

Хотя частотный диапазон $\Delta f = f_{max} - f_{min} = f_{min} \left(\frac{a}{d} - 1 \right)$ достаточно большой (для примера, для $a=140$ мм и $d=0,1$ мм, $R_H=120$ мм, $\omega=5$ Гц, $A=15\%$, $k_f=2$, $f_{min}=0,9$ кГц, $f_{max}=12$ кГц, $\Delta f=11,1$ кГц), однако на основе эксплуатационных данных выбирается узкий частотный диапазон, который соответствует реальному распределению по поверхности твердых включений.

Таким образом, выбрав узкий частотный диапазон, в котором наблюдается информативность о процессах, протекающих в поверхностном слое баббитовой наплавки и, учитывая рассмотренные выше тенденции изменения амплитуды и частоты вибрации, можно создать систему контроля вибрации, обеспечивающую надежную работу турбомашин.

Литература

1. Вибрационная диагностика зарождающихся дефектов /Ф.Я.Балицкий, М.А.Иванова, А.Г.Соколова, Е.И.Хомяков. Под ред. М.Д.Генкина. – М.: Наука, 1984. –420 с.
2. Сидоренко М.К. Виброметрия газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с
3. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования. Перевод с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 296 с.
4. Божко А.Е., Белых В.И., Полищук О.Ф. Использование фазовых сдвигов колебаний для диагностирования перекосов вала в подшипниках. Проблемы машиностроения – Киев: Наук. думка, 1992.-Вып. 37.-с.18 – 21
5. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968. – 480 с
6. Власов В.М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. М.: Машиностроение, 1987. – 304 с
7. Веслопалов Ю.И. Микроструктура баббита Б83 и зоны оплавления его со стальным основанием подшипника / Ю.И. Веслопалов, И.Ю. Веслопалов.- Металловедение и термическая обработка металлов, № 11, 1992.-С.33-34.

УДК 621.004.5

КОНСТРУКЦИЯ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ ДАВЛЕНИЙ И СКОРОСТЕЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ

Новиков С.Г., канд. техн. наук, Малыхин В.В., канд. техн. наук,

Соколов В.С., канд. физ.-мат. наук

(г. Курск, Россия)

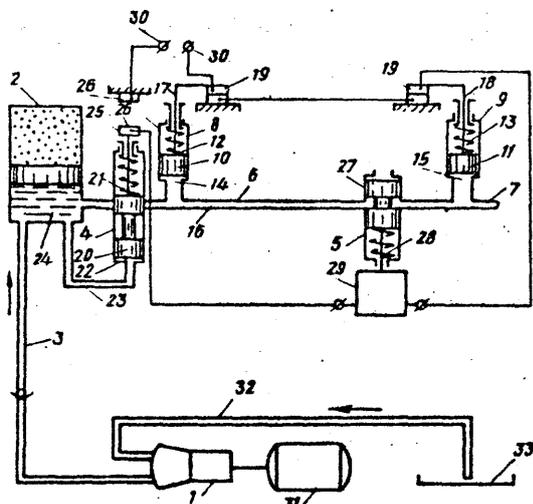
In work the design of the hydropulse device for reception of the big pressure and speeds of a jet of a liquid is considered.

Гидроимпульсная техника создает новые, в том числе и неизвестные пока, возможности для совершенствования различных машин и технологических процессов во многих отраслях промышленности, строительстве, на транспорте, в сельском хозяйстве. Для получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи жидкости часто используется гидравлический удар, который до недавнего времени воспринимался как отрицательное явление, для предотвращения его разрабатывались специальные различные устройства – гасители, но теперь этому явлению находят применение.

Нами разработано несколько устройств, которые путем создания гидравлического эффекта (гидравлических ударов) позволяют повысить давление перед соплом и увеличить скорость струи.

Одна из конструкций и теоретический анализ ее работы приведены в [1 – 3]. На рисунке представлена схема нового гидроимпульсного устройства – мультипликатора сверхвысоких давлений, имеющего более простую конструкцию [4, 5].

Гидроимпульсное устройство содержит насос 1, аккумулятор 2, установленный в напорной магистрали 3 насоса 1, управляемый пусковой клапан 4 и импульсный клапан 5, установленные в стволе 6 с соплом 7. В стволе 6 установлено электрогидравлическое реле контроля импульсов, выполненное в виде двух гидроцилиндров 8 и 9 с поршнем 10 и 11, подпружиненными пружинами 12 и 13. Поршневые полости 14 и 15 гидроцилиндров 8 и 9 сообщены с полостью 16 ствола 6, а штоки 17 и 18 поршней 10 и 11 механически связаны с подвижными электроконтактами 19. Управляемый пусковой клапан 4 выполнен в виде золотника 20 с пружиной 21, управляющая полость 22 которого сообщена каналом 23 с гидравлической полостью 24 аккумулятора 2. Золотник 20 механически связан с подвижным электроконтактом 25 пускового электровыключателя 26. Импульсный клапан 5 выполнен в виде золотника 27 с пружиной 28, связанного с электромагнитом 29. Источник электроэнергии (не показан) подключен к клеммам 30. Пусковой клапан 4, импульсный клапан 5 и электрогидравлическое реле контроля электрически связаны между собой.



Гидроимпульсное устройство.

Насос 1 соединен с электродвигателем 31 и связан трубопроводом 32 с гидробаком 33.

Гидроимпульсное устройство работает следующим образом.

В первоначальный момент времени электровыключатель 26 выключен, электроконтакты 19 включены в сеть. Пусковой клапан 4 перекрывает, а импульсный клапан 5 открывает полость 16 ствола 6. От насоса 1 жидкость по напорной магистрали 3 подается в гидравлическую полость 24 аккумулятора 2, повышение давления в котором приводит к увеличению давления в управляющей полости 22 клапана 4. Золотник 20 клапана 4 под действием давления в полости 22 перемещается вверх, открывая вход в ствол 6. Рабочая жидкость по стволу 6 поступает к соплу 7 и в период времени до замыкания электроконтакта 25 разгоняется до некоторой установившейся скорости. При замыкании электроконтакта 25 срабатывает электромагнит 29, и золотник 27 клапана 5 перемещается

вниз, перекрывая полость 16 ствола 6. Возникает гидравлический удар в рабочей жидкости, волна повышенного давления которого перемещается по стволу 6 в направлении гидроцилиндра 8 и аккумулятора 2. В полости 14 гидроцилиндра давление увеличивается, и поршень 10 со штоком 17 перемещается вверх, размыкая электроконтакт 19 и тем самым отключая электромагнит 29. Под действием пружины 28 золотник 27 импульсного клапана 5 перемещается вверх, соединяя полость 16 ствола с соплом 7, обеспечивая свободное поступление рабочей жидкости повышенного давления в сопло 7.

Под действием давления в полости 15 поршень 11 со штоком 18 гидроцилиндра 9 перемещается вверх, отключая правый электроконтакт 19. Таким образом, до тех пор, пока сохраняется высокое давление рабочей жидкости в сопле 7, ток не подается к электромагниту и золотник 27 открыт.

Когда эффект гидроудара и повышения давления жидкости в стволе 6 исчезнет и рабочая жидкость вновь будет поступать к соплу 7 с некоторой установившейся скоростью, пружины 12 и 13 переместят поршни 10 и 11 соответственно вниз, замыкая электроконтакт 19 и подавая ток к электромагниту 29. Процесс создания и

контроля гидроударного импульса рабочей жидкости повторится. Устройство будет работать в автоматическом режиме.

Для прекращения работы устройства необходимо отключить насос 1.

Давление в аккумуляторе 2 упадет и под действием пружины 21 золотник 20 пускового клапана 4 сместится вниз и перекроет вход в полость 16 ствола 6.

Технический эффект от использования предложенного изобретения можно оценить следующим образом.

Среднее давление струи на вертикальную плоскую преграду, находящуюся вблизи от насадки

$$P = 2 \cdot \rho \cdot g \cdot A \cdot H^2, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение силы тяжести; A – площадь выходного сечения насадка; H – напор перед насадкой; 2 – эмпирический коэффициент.

Формула (1) получена на основании экспериментов для непрерывной установившейся струи, действующей на вертикальную плоскую стенку в непосредственной близости от насадка. В первый момент соударения этой струи с преградой давление составляет $2P$, т.е. в 2 раза выше давления установившейся струи [6].

За счет гидроудара [7], при высоком энергетическом КПД, равным или выше 0,9, напор

$$H_y \approx 3H. \quad (2)$$

С учетом зависимостей (1) и (2), а также учитывая повышение давления пульсирующей струи на преграду в 2 раза, для давления пульсирующей гидроударной струи, получим:

$$P = 2 \cdot \rho \cdot g \cdot A \cdot (3 \cdot H)^2 = 18 \cdot P, \quad (3)$$

т.е. давление на вертикальную преграду увеличивается в 18 раз по сравнению со случаем (1).

Применение насосов с давлением 200 – 300 а (например, аксиально поршневых) и предложенного устройства обеспечивает получение сверхвысоких давлений порядка 4000 а и высокого энергетического КПД. Однако, применение сравнительно дешевых, например, шестеренных насосов низкого и среднего давления также приводит к получению весьма высоких давлений. Так, шестеренный насос 50 а и соответствующий ему пневмогидравлический аккумулятор согласно (3) обеспечивает давление 900 а. Таким образом устройство обеспечивает получение сверхвысоких давлений и возможность применения насосов непрерывного действия невысокой стоимости.

Литература

1. Черный А.Г., Новиков С.Г., Матвенко В.В. (СССР). А.с. 11141228, МКИ F15B21/12; B05B12/06. Гидроимпульсное устройство. – 36 06 332 / 24 – 24; заяв; 20.06.83; опубл. 23.02.85. Бюл. № 7.
2. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С., Соколова О.В., Павлов Е.В. Использование гидродинамического эффекта для получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи жидкости // Тр. 7-й Международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» ... 27 – 28 мая 2003 г. - Харьков, 2003, - С. 220 – 222.
3. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С. Теоретический анализ работы гидроимпульсного устройства // Тр. 7-й Международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» ... 27 – 28 мая 2003 г. - Харьков, 2003, - С. 222 – 226.
4. Черный А.Г., Новиков С.Г., Матвенко В.В., Козлов В.А. (СССР). А.с. 1211488, МКИ F15B21/12. Гидроимпульсное устройство. – 36 83 624 / 25 – 06; заяв. 02.01.84; опубл. 15.02.86. Бюл. № 6.
5. Новиков С.Г., Малыхин В.В. Устройство для создания высокоскоростной импульсной струи жидкости // Материалы 1 Международной научно-технической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» ... 17 – 19 сентября 2003 г. – Курск, 2003. – С. 109 – 110.
6. Юфин А.Г. Гидромеханизация. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 26.
7. Овсеня В.М. Гидравлический таран и таранные устройства. – М.: Машиностроение, 1968. – 173 с.

УДК 621.382

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Гайдамака А.В., канд. техн. наук, Хаустов Я. Е.

(г. Харьков, Украина)

Procedure of design of choice of structural elements and parameters of modifying additions elements of technological environment at making and exploitation of bearings rocking is offered in the article.

Эксплуатационные характеристики подшипников качения — грузоподъемность, быстроходность, момент трения, точность вращения, жёсткость, виброактивность, теплостойкость, коррозионная стойкость [1], в значительной мере зависят от состояния поверхностных слоев их деталей, определяемых микрогеометрическими (волнистость, шероховатость) и физико-механическими (структура, микро твердость, остаточные напряжения)

параметрами. Известные работы по конструкторско-технологическому обеспечению эксплуатационных характеристик деталей машин [2,3,4], когда конструктор назначает параметры качества рабочих поверхностей деталей, исходя из требуемых критериев работоспособности, а технолог предлагает методы и режимы обработки деталей, обеспечивающие наиболее экономичное достижение поставленной цели, не отвечают современным требованиям надежности машин. Так, для повышения износостойкости трущихся деталей путем уменьшения первичного износа целесообразно создавать поверхности скольжения, шероховатость которых соответствует шероховатости поверхностей приработанных деталей, т.е. создавать “оптимальную” или “равновесную” шероховатость [3]. Последнее реализовать на практике не удастся по многим причинам, связанными с трудностями обеспечения технологическим процессом необходимой обработки деталей, искажениями формы деталей в процессе сборки машины и тепловыми деформациями, влиянием факторов окружающей среды. В этих условиях образование равновесного состояния поверхностного слоя возможно только по завершению процесса приработки, а это нередко наступает тогда, когда износ детали превысит допустимые нормы. В итоге повышается виброактивность опор качения, снижается быстроходность и точность вращения. Указанные эксплуатационные характеристики лимитируют работоспособность, например, шпиндельных и приборных подшипников качения. Следовательно, известные конструкторско-технологические мероприятия обеспечения эксплуатационных характеристик деталей машин не в состоянии обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики подшипников качения высших классов точности.

Подшипники качения, применяемые для объектов общего машиностроения, допускают возможность существования при эксплуатации на рабочих поверхностях (беговые дорожки колец и тел качения, торцы роликов и соответствующие поверхности бортов колец) деталей ограниченных локальных повреждений (вмятины, риски, коррозионные раковины, торцевые надирь), а так же увеличение радиального зазора в пределах установленных норм вследствие износа [5,6]. Восстановление работоспособности деталей наиболее дорогих подшипников осуществляется после выполнения демонтажных операций на ремонтных предприятиях с применением специальных технологий и оборудования. Для подшипников качения, прошедших ремонт, регламентированы повышенные нормы зазоров. Последнее, безусловно, меняет динамику подшипника и не способствует улучшению условий работы его деталей. Следовательно, существующая ремонтная практика повышения ресурса подшипников, требуя прекращения эксплуатации машины на время восстановительных работ, не обеспечивает сохранения эксплуатационных характеристик подшипников, что снижает технические параметры машины.

На основании вышесказанного, ясно, что назрела необходимость поиска новых путей обеспечения и сохранения эксплуатационных характеристик подшипников качения любых классов точности. В этой связи первая попытка с обнадеживающими результатами по улучшению эксплуатационных характеристик подшипников в процессе их производства принята на ОАО “ХАРП” с применением новой технологии адресного модифицирования поверхности трения (АМТ - технология) [7]. Известны публикации по восстановлению работоспособности подшипников качения без демонтажных работ с привлечением АМТ- технологии [8].

Новый подход в обеспечении эксплуатационных характеристик подшипников качения основан на использовании в технологической среде (в изготовлении – охлаждающие жидкости, эмульсии и др.; в эксплуатации – смазочные материалы) специальных экологически чистых добавок, способных компенсировать износ деталей и образовывать в локальных местах трения слои нового износостойкого материала – металлокерамику. Изменяя структуру и параметры вводимых добавок можно управлять эксплуатационными характеристиками подшипников качения без каких –либо демонтажных работ, в режиме штатной эксплуатации за счет формирования наиболее приемлемых параметров микро геометрии и физико- механических свойств поверхностных слоев трущихся деталей. Новый подход в создании, обслуживании и восстановлении подшипников качения вносит незначительные дополнения в типовые технологии их изготовления и эксплуатации, и принципиально изменяет систему планово -предупредительного ремонта [9].

Выбор структурных элементов и параметров элементов модифицирующих добавок (МД), а также последовательности и продолжительности операций технологической обработки поверхностей трения деталей осуществляется с учетом условий эксплуатации подшипников по предлагаемой логической организации моделирования.

Процесс моделирования представляется цепочкой логических действий:

$$M = M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_4 \rightarrow M_5 \quad (1)$$

где M_i – модели этапов модифицирования.

M_1 – целевая модель, дающая представление о достигаемых целях:

$$M_1 = \{C_1, \dots, C_{ij}\} \quad (2)$$

Целевая модель служит для систематизации и ранжирования множества возможных целей $\{C_i\}$: государственных, отраслевых, производственных, исполнительских и др.

M_2 – концептуальная модель, дающая представление об идее технического решения:

$$M_2 = \{C_i, P_i\} \quad (3)$$

Концептуальная модель, учитывая множество признаков $\{P_i\}$, характеризующих модифицированный поверхностный слой детали, позволяет выявить направление поиска структуры (состава) МД.

M_3 –функциональная модель, дающая представление о функционировании трибосопряжений деталей подшипника, и позволяющая выбрать структуру (состав) МД:

$$M_3 = \{ C_i, P_j, C_n, P_k, Z \}, \quad (4)$$

где $C_n \{ c_n \}$ – множество видов сопряжений поверхностей деталей [10]; $P_k \{ n_k \}$ – множество признаков связи модифицированного поверхностного слоя с окружающей средой; Z – закономерность изменения состояния модифицированного поверхностного слоя детали.

M_4 – структурная модель, дающая представление о наименовании структурных элементов, образующих МД:

$$M_4 = \{ C_i, P_j, C_n, P_k, Z, \mathcal{E}_m, P_e, C_L \}, \quad (5)$$

где $\mathcal{E}_m \{ \mathcal{e}_m \}$ – множество элементов, составляющих структуру МД; $P_e \{ n_e \}$ – множество признаков, характеризующих элементы МД; $C_L \{ c_L \}$ – множество связей между элементами МД.

Выбор структурных элементов МД производится по условию достижения наименьшего трения между деталями с ограничением по стоимости МД:

$$\text{opt } S \rightarrow \min F, \quad (6)$$

где S – структура (набор элементов) Д; F – сила или момент трения.

M_5 – параметрическая модель, позволяющая выбрать параметры структурных элементов МД:

$$M_5 = \{ C_i, P_j, C_n, P_k, Z, \mathcal{E}_m, P_e, C_L, P_p, \mathcal{E}_q, O_i \}, \quad (7)$$

где $P_p \{ n_p \}$ – множество параметров элементов МД; $\mathcal{E}_q \{ \mathcal{e}_q \}$ – множество параметров условий эксплуатации; $O_i \{ o_i \}$ – множество параметров условий обслуживания.

Выбор параметров элементов МД производится по условию обеспечения необходимых эксплуатационных характеристик (X) подшипников качения с ограничениями по условиям дозировки, длительности и частоты технологической обработки:

$$\text{Opt } P_p \rightarrow \max, \min X. \quad (8)$$

Реализация изложенной процедуры моделирования позволит с наибольшей эффективностью: в процессе производства выпускать подшипники с улучшенными микро геометрией и физико-механическими параметрами поверхностных слоев деталей, а в эксплуатации сохранять требуемые эксплуатационные характеристики новых и осуществлять безразборное восстановление работоспособности изношенных подшипников качения.

Литература

1. Комиссар А.Г. Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации: Справочник. -М.: Машиностроение, -1987.-384с.
2. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. –М.: Машиностроение, 1979. -176с.
3. Рыжов Э.В., Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наукова думка, 1984. – 272с.
4. Суслов А.Г., Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. –208с.
5. Зайцев А.М., Эксплуатация авиационных подшипников качения. – М.: Транспорт, 1968. –224с.
6. Амелина А.А., Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками. – М.: Транспорт, 1975.- 288с.
7. Гайдамака А.В., Агафонов А.К. Новый способ повышения и восстановления основных технических характеристик подшипников качения /Труды 4 межд. науч. – техн. конф. “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве”. – Харьков, 2001.-с.393-394.
8. Рекламный каталог корпорации ХАДО.- Харьков, 2002. –72с.
9. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. – М.: Машиностроение, 1967.-591с.
10. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978.-592с.

УДК 62.762

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ В КОЛЕСНЫХ РЕДУКТОРАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Музыкин Ю.Д., канд. техн. наук, Зубарь А.А.

(г. Харьков, Украина)

Possibility of the use face compactions is shown in wheel reduction unit of the mobile machines. They are determined linear and angular deformation rolling in axial direction ring pairs friction. Organized comparison of the value to deformation with size of the abrasive particles.

Надёжная работа колёсных редукторов мобильных машин в значительной степени зависит от эффективности герметизации их внутренних полостей, которая в настоящее время обеспечивается тандемом резиновых манжет для вращающихся валов по ГОСТ 8752 – 79, установленных на выходных валах шестерни и зубчатого колеса. Как следует из конструкции колёсных редукторов, в наиболее тяжелых условиях работают уплотнения

шестерни, так как они не только предотвращают вытекание масла из подшипникового узла, но и защищают подшипник от попадания в него пыли, грязи, воды и других абразивосодержащих сред. При этом наибольшую опасность представляют твердые частицы диаметром 1...5 мкм перекиси железа Fe_3O_4 и песка SiO_2 , которые приводят к износу рабочих кромок уплотнений. Применение в этих условиях резиновых манжет не обеспечивает их надёжную и долговечную работу. Поэтому возникает необходимость в использовании более эффективных типов уплотнений, в качестве которых могут быть применены торцовые уплотнения, обеспечивающие как более высокую степень герметичности, так и существенно повышающие срок службы уплотнительного узла.

Сдерживающим фактором на пути широкого применения торцовых уплотнений в мобильных машинах, является определённое несоответствие уровня технических требований, предъявляемых к колёсным редукторам и торцевым уплотнениям. Однако, разработка в последнее время новых конструкций торцовых уплотнений, учитывающих специфику работы в условиях непосредственного контакта с абразивными гидросмесями, существенно расширяет область их использования. При этом узел уплотнения должен состоять из одного блока, собираемого самостоятельно и устанавливаемого в колёсный редуктор как единое целое. Это позволяет не только сохранить высокие требования к качеству изготовления торцового уплотнения на заводе изготовителе, но и обеспечить быстрый монтаж и демонтаж уплотнительного узла.

В качестве примера реализации такого торцового уплотнения может быть использована конструкция, в которой в качестве вращающегося кольца применена торцовая поверхность внутреннего кольца подшипника [1,2]. Это способствует не только минимизации размеров уплотнительного узла, но и существенно уменьшает его линейные и угловые деформации. В этом случае раскрытие стыка пары трения под действием силового воздействия связано только с деформацией подвижного в осевом направлении кольца, которое изготавливается из бронзы Бр.ОСН 10-2-3. В случае, если отклонение плоскостности уплотнительного пояса не превысит оптимальной величины абразивных частиц, использование данного торцового уплотнения будет эффективным при установке в колёсные редуктора.

Проверим данное условие для рассмотренной конструкции торцового уплотнения [1]. На рис.1 представлено подвижное в осевом направлении кольцо с фактическими размерами отдельных элементов.

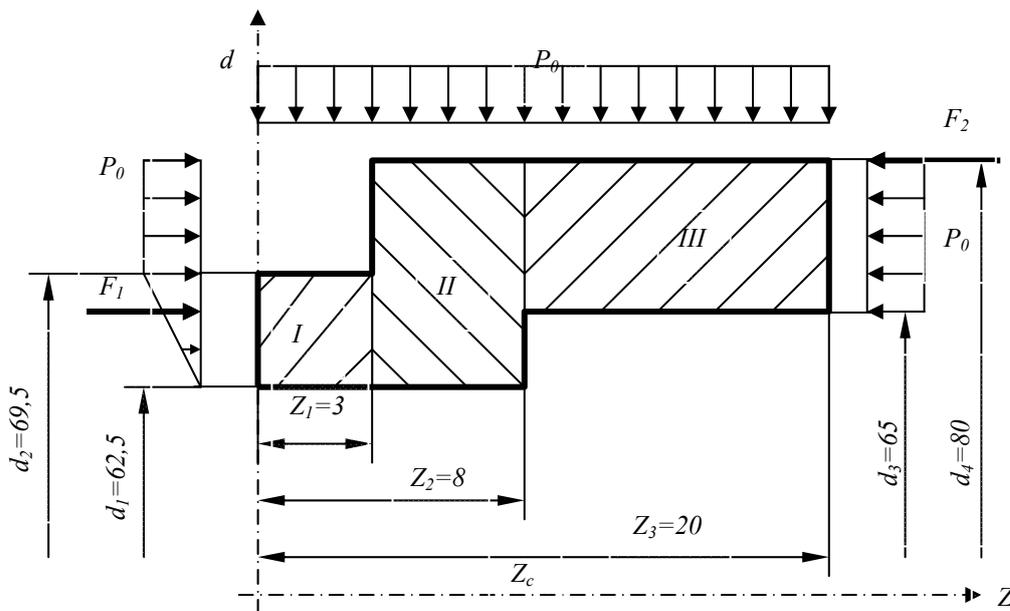


Рис. 1. Расчетная схема подвижного, в осевом направлении, кольца торцового уплотнения.

Представим форму кольца как сумму трёх прямоугольников и определим для кольца геометрические характеристики, необходимые для нахождения как центра тяжести, относительно которого происходит поворот сечения, так и угла поворота [3]

$$I_1 = \sum (Z_{2,i} - Z_{1,i}) \ln \frac{d_{2,i}}{d_{1,i}}; \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \sum (Z_{2,i}^2 - Z_{1,i}^2) \ln \frac{d_{2,i}}{d_{1,i}}; \quad (2)$$

$$I_3 = \frac{1}{3} \sum (Z_{2,i}^3 - Z_{1,i}^3) \ln \frac{d_{2,i}}{d_{1,i}} - I_1 z_c^2, \quad (3)$$

где $Z_{1,i}$ и $Z_{2,i}$ - начальное и конечное положение рассматриваемого прямоугольного элемента; $d_{1,i}$ и $d_{2,i}$ - внутренний и наружный диаметр рассматриваемого элемента; $z_c = I_2/I_1$ - координата нейтральной точки.

Используя геометрические характеристики поперечного сечения кольца, определяем угол поворота сечения при условии его малости

$$\varphi = \frac{M}{EI_3}, \quad (4)$$

где M - изгибающий момент относительно оси проходящей через точку Z_c ; E -модуль продольной упругости материала кольца.

Суммарный изгибающий момент действующий на кольцо может быть определен как равнодействующий момент от отдельных видов нагрузок приложенных к соответствующим элементам сечения.

Момент от осевой нагрузки, распределенной по треугольнику

$$M = \frac{P_0}{24} \left[d_2^3 - \frac{d_2^4 - d_1^4}{4(d_2 - d_1)} \right]. \quad (5)$$

Момент от осевой, равномерно распределенной, нагрузки

$$M = \frac{P_0}{24} (d_3^3 - d_2^3). \quad (6)$$

Момент от осевой сосредоточенной силы

$$M = \frac{1}{4\pi} [F_1(d_1 + d_2) - F_2 d_4]. \quad (7)$$

Момент от радиальной, равномерно распределенной, нагрузки

$$M = \frac{P_0}{4} [d_2(z_2 - z_1)(z_1 - 2z_c) - d_4(z_3 - z_1)(z_3 + z_1) - 2z_c]. \quad (8)$$

В этих выражениях принято : поворот по часовой стрелке – положителен ; против - отрицателен.

Для определения величины щели , в которую возможно проникновение абразивных частиц , вычисляем отклонение от плоскостности уплотнительного пояса , которое равно перемещению наружной кромки пояса относительно внутренней.

$$\Delta = 0,5\varphi (d_2 - d_1) \quad (9)$$

Для представленного на рис.1 кольца , которое является элементом торцового уплотнения [1] , значение геометрических характеристик согласно уравнений (1),(2),(3) составит : $I_1=4,04\text{мм}^2$; $I_2=42,15\text{мм}^2$; $I_3=120\text{мм}^2$; $Z_c=10,42\text{мм}$.

Изгибающий момент , вызывающий поворот сечения относительно оси проходящей через точку Z_c , определяется как равнодействующая моментов вычисленных согласно уравнений (5),(6),(7),(8).

Если принять , что герметизируемое давление равно $P_0=0,5\text{МПа}$, осевое усилие от пружин составит $F_2=176\text{Н}$, а осевое усилие от контактного давления в паре трения составит $F_1=200\text{Н}$,то суммарный изгибающий момент будет равен $M=-3,99\text{нм}$.

Согласно уравнения (4) определяем угол поворота сечения кольца , принимая для бронзы модуль упругости $E=10^5\text{МПа}$.Тогда получим $\varphi=-3,32 \times 10^{-4}\text{рад}$., а знак минус показывает что поворот сечения происходит против часовой стрелки . Для заданного угла поворота, согласно уравнения (9) максимальная величина щели составит $\Delta=1,2\text{мкм}$.

Таким образом , для абразивных частиц размера более 1мкм , которые составляют основную фракцию твердой фазы в загрязнении попадающем в уплотнительный узел , полученное значение раскрытия стыка пары трения не будет оказывать существенного влияния на износ трущихся поверхностей .

Поэтому деформационные характеристики пары трения , а следовательно и связанная с ними износная стойкость , при условии , что торцовое уплотнение выполнено в виде одного блока , показывает перспективность установки торцовых уплотнений в подшипниковых узлах колесных редукторов мобильных машин . Учитывая более высокие износные показатели материала пары трения торцового уплотнения по сравнению с аналогичными характеристиками резин , можно утверждать , что надежность и долговечность предлагаемого конструктивного решения уплотнительного узла будет существенно выше , чем у используемых в настоящее время резиновых манжет .

Литература

1. Музыкин Ю. Д., Залевский Р. А. «Применение торцовых уплотнений для герметизации подшипниковых узлов червячных редукторов» Труды 5 международной Н/Т конференции « Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве», Харьков, 2002, стр.614 – 618.
2. Музыкин Ю. Д., Ващук Р. В., Щокин В. М. «Исследование возможности использования торцовой поверхности подшипника в паре трения торцового уплотнения» Труды 7 международной Н/Т конференции « Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве,» Харьков, 2003, стр.240 – 242.
3. Голубев А. И., Кондаков Л. А. и др. «Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник» , М. Машиностроение 1986, 463 с.

УДК 631.362

СТІЙКІСТЬ НЕЛІНІЙНИХ КОЛИВАНЬ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВІБРОСЕПАРАТОРА В РЕЗОНАНСНОМУ ВИПАДКУ

Сметанкін В.О., канд. техн. наук, доц., Ільїн В.Я., Ільїн І.В.

(м. Харків, Україна)

The research of stability of nonlinear vibration of an end-effector of vibration separator under resonance condition is carried out. Except for forced vibrations in a direction of one of axes which defines a gravity position of vibrating part and angular coordinate of vibrations of an end-effector of vibration separator, vibrations in a direction of four coordinates not excited by external forces are considered. The basic resonance relationships at which the operating mode of vibration separator will be resistant are received.

При проектуванні вібророздільників досліджується стійкість нелінійних коливань робочого органу як в нерезонансному так і в резонансному випадках. Відомо, що в коливних системах можливий перерозподіл енергії в напрямку, як збурених так незбурених координат. Можливість такого перерозподілу енергії виникає за рахунок того, що точні рівняння руху робочого органу вібророздільника мають нелінійні зв'язки між збуреними координатами і координатами, вільними від зовнішніх сил. Очевидно, що такі непрямо збурені коливання можуть бути малими. Але при певних умовах такі коливання можуть стати інтенсивними і стати причиною зміни запланованого технологічного процесу. Тому потрібно знати сукупність параметрів коливної системи, при якій виникають несприятливі умови розподілу зовнішньої енергії по координатам.

Непрямо збурені нелінійні коливання вивчалися в роботах [1-3]. В роботі [4] було досліджено нелінійні коливання вібраційної зерноочишувальної машини з гвинтовими коливаннями робочого органу в нерезонансному випадку. Розрахункова схема такої машини та виведення диференціальних рівнянь руху з точністю до величини першого порядку наведені в роботах [5], [6].

Дослідимо просторову стійкість нелінійних коливань робочого органу вібророздільника в резонансному випадку. Положення віброуючої (коливної) частини сепаратора визначаються трьома лінійними координатами ξ, η, ζ , що визначають положення центра ваги віброуючої частини, і трьома кутівими координатами θ, ψ, φ , які визначають кути повороту коливної системи навколо осей x, y, z зв'язаних непорушно з коливною системою. В стані статичної рівноваги системи координат $0xuz$ і $0\xi\eta\zeta$ співпадають.

Дослідження просторової стійкості коливань робочого органу вібророздільника базується на наближених розв'язках системи диференціальних рівнянь руху коливної частини. З цією метою вводиться малий параметр, який характеризує малість членів другого порядку, що містять коефіцієнти $M_1, I_{x_1}, I_{y_1}, I_{z_1}$, в порівнянні з членами першого порядку. Тепер систем диференціальних рівнянь може бути записана в такому вигляді [4]

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} + P_\xi^2 \xi &= \mu \Phi_\xi(\xi, \phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}, t); \quad \ddot{\eta} + P_\eta^2 \eta = \mu \Phi_\eta(\eta, \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}, t); \\ \ddot{\zeta} + P_\zeta^2 \zeta &= \mu \Phi_\zeta(\zeta, \theta, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi}, t) + F_\zeta \cos \omega t; \\ \ddot{\theta} + P_\theta^2 \theta &= \mu \Phi_\theta(\eta, \zeta, \theta, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\eta}, \ddot{\zeta}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi}, t); \\ \ddot{\phi} + P_\phi^2 \phi &= \mu \Phi_\phi(\xi, \zeta, \theta, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\xi}, \ddot{\zeta}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi}, t); \\ \ddot{\psi} + P_\psi^2 \psi &= \mu \Phi_\psi(\theta, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi}, t) + F_\psi \cos(\omega t + \pi). \end{aligned} \quad (1)$$

Зміст всіх позначень і вирази для $M_1, I_{x_1}, I_{y_1}, I_{z_1}$ та функції $\Phi_j, (j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \psi)$ наведені у роботі [4].

Проаналізуємо випадки комбінаційних резонансів, коли в резонансні співвідношення входять дві незбурені лінійні координати. З цією метою для системи (1) знаходяться асимптотичні розв'язки по методу усереднення [7]. Коли $\mu = 0$, розв'язки системи (1) приведені у роботі [4].

Приймаючи довільні сталі $C_k = 0, D_k = 0$ ($k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi$), тоді початкова система (1) матиме наступний розв'язок:

$$\begin{aligned} \xi = \eta = \theta = \psi = 0, & \quad \dot{\xi} = \dot{\eta} = \dot{\theta} = \dot{\psi} = 0, \\ \zeta = F_\zeta (P_\zeta^2 - \omega^2)^{-1} \cos \omega t, & \quad \varphi = F_\varphi (P_\varphi^2 - \omega^2)^{-1} \cos(\omega t + \pi). \end{aligned} \quad (2)$$

Коливання (2) передбачаються конструкцією вібророздільників та технологічним процесом. Далі ми будемо проводити досліджувати просторову стійкість саме таких коливань.

Приймаємо довільні сталі $C_j, D_j, (j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi)$ в якості нових невідомих замість $\xi, \dot{\xi}, \eta, \dot{\eta}, \zeta, \dot{\zeta}, \theta, \dot{\theta}, \psi, \dot{\psi}, \phi, \dot{\phi}$. Вважаючи C_k, D_k функціями часу одержимо вирази для других похідних:

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} &= -P_\xi^2 (C_\xi e^{iP_\xi t} + D_\xi e^{-iP_\xi t}) + iP_\xi (\dot{C}_\xi e^{iP_\xi t} - \dot{D}_\xi e^{-iP_\xi t}); \\ \ddot{\eta} &= -P_\eta^2 (C_\eta e^{iP_\eta t} + D_\eta e^{-iP_\eta t}) + iP_\eta (\dot{C}_\eta e^{iP_\eta t} - \dot{D}_\eta e^{-iP_\eta t}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ddot{\zeta} &= -P_{\zeta}^2 \left(C_{\zeta} e^{iP_{\zeta}t} + D_{\zeta} e^{-iP_{\zeta}t} \right) + iP_{\zeta} \left(\dot{C}_{\zeta} e^{iP_{\zeta}t} - \dot{D}_{\zeta} e^{-iP_{\zeta}t} \right) - \omega^2 \left(A_{\zeta} e^{i\omega t} + B_{\zeta} e^{-i\omega t} \right); \\
\ddot{\theta} &= -P_{\theta}^2 \left(C_{\theta} e^{iP_{\theta}t} + D_{\theta} e^{-iP_{\theta}t} \right) + iP_{\theta} \left(\dot{C}_{\theta} e^{iP_{\theta}t} - \dot{D}_{\theta} e^{-iP_{\theta}t} \right); \\
\ddot{\psi} &= -P_{\psi}^2 \left(C_{\psi} e^{iP_{\psi}t} + D_{\psi} e^{-iP_{\psi}t} \right) + iP_{\psi} \left(\dot{C}_{\psi} e^{iP_{\psi}t} - \dot{D}_{\psi} e^{-iP_{\psi}t} \right); \\
\ddot{\phi} &= -P_{\phi}^2 \left(C_{\phi} e^{iP_{\phi}t} + D_{\phi} e^{-iP_{\phi}t} \right) + iP_{\phi} \left(\dot{C}_{\phi} e^{iP_{\phi}t} - \dot{D}_{\phi} e^{-iP_{\phi}t} \right) + \omega^2 \left(A_{\phi} e^{i\omega t} + B_{\phi} e^{-i\omega t} \right).
\end{aligned} \tag{3}$$

Підставляючи (2) і (3) в систему (1), одержимо шість рівнянь відносно похідних \dot{C}_k, \dot{D}_k :

$$iP_k \left(\dot{C}_k e^{iP_k t} - \dot{D}_k e^{-iP_k t} \right) = \mu \Phi_k^*; \quad k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi. \tag{4}$$

Функції $\Phi_k^* (k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi)$ в (4) одержимо із Φ_k згідно з заміною змінних (2), (3). Далі в (2) вирази для $\xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi$ диференціюємо, вважаючи C_k, D_k функціями часу t . Порівнюючи знайдені похідні $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}, \dot{\theta}, \dot{\psi}, \dot{\phi}$ з відповідними похідними в (2), одержимо ще шість рівнянь відносно нових змінних \dot{C}_k, \dot{D}_k :

$$\dot{C}_k e^{iP_k t} + \dot{D}_k e^{-iP_k t} = 0; \quad k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi. \tag{5}$$

Розв'язавши (2) і (3) відносно \dot{C}_k, \dot{D}_k , одержимо систему диференціальних рівнянь в стандартній формі відносно обвідних C_k, D_k :

$$\begin{aligned}
\dot{C}_k &= \frac{1}{2iP_k} e^{-iP_k t} [\mu \Phi_k^*]; \\
\dot{D}_k &= \frac{1}{2iP_k} e^{-iP_k t} [\mu \Phi_k^*]; \quad k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi.
\end{aligned} \tag{6}$$

Праві частини рівнянь (6) є функції порядку мализни μ , а тому функції C_k, D_k , $k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \phi$ будуть функціями, які повільно змінюються. Наближені значення величин C_k, D_k , як функцій часу визначаються із допоміжних рівнянь, які одержимо шляхом усереднення рівнянь (6) по часу t , що явно входить в ці рівняння. Ці допоміжні рівняння в першому наближенні мають вигляд:

$$\begin{aligned}
\dot{C}_k &= \frac{\mu}{2iP_k} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_k^* (C_{\xi}, \dots, C_{\phi}, D_{\xi}, \dots, D_{\phi}) e^{-iP_k t} dt; \\
\dot{D}_k &= \frac{\mu}{2iP_k} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_k^* (C_{\xi}, \dots, C_{\phi}, D_{\xi}, \dots, D_{\phi}) e^{iP_k t} dt.
\end{aligned} \tag{7}$$

Рівняння (7) використовуються для дослідження просторової стійкості коливань робочого органу вібросепаратора при наявності резонансних співвідношень між власними частотами P_k ($k = \xi, \eta, \theta, \psi$) коливної системи і частотами ω зовнішньої сили.

Розглядаючи комбінаційні резонанси, тобто такі резонансні співвідношення, які містять суму чи різницю двох власних частот коливної системи і частоту зовнішньої сили і встановимо, якщо розв'язки системи (7) будуть стійкими, то розв'язки системи (1) будуть також стійкими, тобто заплановані технологічним процесом колювання робочого органу вібросепаратора не будуть порушуватися.

Розглянемо наступне резонансне співвідношення: $P_{\xi} - p_{\psi} = \omega$. Звідси маємо $P_{\xi} = \omega + P_{\psi}$. Виконуючи при цій умові операцію усереднення в системі (7), для нерезонуючих координат отримаємо рівняння

$$\dot{C}_s = -\frac{\mu}{2} h_s C_s; \quad \dot{D}_s = -\frac{\mu}{2} h_s D_s; \quad (s = \eta, \zeta, \theta, \phi), \tag{8}$$

а для резонуючих координат такі рівняння:

$$\begin{aligned}
\dot{C}_{\xi} &= \mu [-0,5 h_{\xi} C_{\xi} - 0,25 i P_{\xi} M_1 \sin \alpha C_{\psi}], \\
\dot{D}_{\xi} &= \mu [-0,5 h_{\xi} D_{\xi} - 0,25 i P_{\xi} M_1 \sin \alpha D_{\psi}],
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\dot{C}_{\psi} = \mu \left[(-0,5 h_{\psi} + i I_{y_1} r (P_{\psi} A_{\phi} a \cos \alpha + 0,5 A_{\zeta} P_{\psi}^{-1} \omega^2 \sin \alpha) \right) C_{\psi} - i 0,25 I_{y_1} r P_{\xi}^2 P_{\psi}^{-1} \sin \alpha C_{\xi} \right],$$

$$\dot{D}_{\psi} = \mu \left[(-0,5 h_{\psi} - i I_{y_1} r (P_{\psi} A_{\phi} a \cos \alpha + 0,5 A_{\zeta} P_{\psi}^{-1} \omega^2 \sin \alpha) \right) D_{\psi} + i 0,25 I_{y_1} r P_{\xi}^2 P_{\psi}^{-1} \sin \alpha D_{\xi} \right].$$

Безпосередньо із системи (8) випливає, що розв'язки $C_s = D_s = 0$, ($s = \eta, \zeta, \theta, \phi$) будуть асимптотично стійкими, оскільки $h_s > 0$.

Система рівнянь (9) для обвідних $C_\xi, D_\xi, C_\psi, D_\psi$ попарно розпадається на дві системи: відносно C_ξ, C_ψ і відносно D_ξ, D_ψ . Дослідимо ці системи. Для скорочення запису позначимо:

$$a_1 = -0,5 h_s; b_2 = 0,25 P_\xi M_1 r \sin \alpha; a_3 = -0,5 h_\psi;$$

$$b_3 = I_{y_1} r P_\psi (A_\varphi a \cos \alpha + 0,5 P_\psi^{-1} A_\zeta \omega^2 \sin \alpha); b_4 = 0,25 I_{y_1} r P_\xi^2 P_\psi^{-1} \sin \alpha. \quad (10)$$

Враховуючи позначення (10) із (9), отримаємо дві системи, про які вище йшла мова:

$$\begin{cases} \dot{C}_\xi = \mu [a_1 C_\xi - i b_2 C_\psi], \\ \dot{C}_\psi = \mu [(a_3 + i b_3) C_\psi - i b_4 C_\xi]; \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{D}_\xi = \mu [a_1 D_\xi - i b_2 D_\psi] \\ D_\psi = \mu [(a_3 - i b_3) D_\psi + i b_4 C_\xi]. \end{cases} \quad (11)$$

Для дослідження стійкості стану $C_\xi = C_\psi = D_\xi = D_\psi = 0$ складаємо характеристичне рівняння для обох систем (11):

$$\begin{vmatrix} a_1 - \lambda & -i b_2 \\ -i b_4 & a_3 + i b_3 - \lambda \end{vmatrix} = 0; \quad \begin{vmatrix} a_1 - \lambda & i b_2 \\ i b_4 & a_3 - i b_3 - \lambda \end{vmatrix} = 0. \quad (12)$$

Стан $C_\xi = C_\psi = D_\xi = D_\psi = 0$ буде стійким, якщо дійсні частини коренів рівнянь (12) будуть від'ємними. Розкривши визначники (12), характеристичні рівняння для першої і другої систем (11) запишемо у вигляді многочленів з комплексними координатами:

$$\lambda^2 + [-(a_1 + a_3) + i b_3] \lambda + (a_1 a_3 + b_2 b_4) - i a_1 b_3 = 0, \quad (13)$$

$$\lambda^2 + [-(a_1 + a_3) - i b_3] \lambda + (a_1 a_3 + b_2 b_4) + i a_1 b_3 = 0. \quad (14)$$

Стійкість розв'язків $C_\xi = C_\psi = D_\xi = D_\psi = 0$ зручно визначити за допомогою критерію Ерміта-Гурвиця, який застосовуються до алгебраїчних рівнянь з комплексними коефіцієнтами. Для обох рівнянь (13) і (14) цей критерій зводиться до виконання двох нерівностей:

$$-(a_1 + a_2) > 0, \quad (a_1 + a_3)^2 (a_1 a_3 + b_2 b_4) + a_1 a_2 b_3^2 > 0. \quad (15)$$

Виразимо нерівність (15) через параметри вібросепаратора, одержимо нерівності, при виконанні яких нульові розв'язки системи (9) будуть стійкими:

$$0,5(h_\xi + h_\psi) > 0, \quad 0,25[(h_\xi + h_\psi)^2 (0,25 h_\xi h_\psi + 0,125 I_{y_1} P_\xi^3 P_\psi^{-1} M_1 r^2 \sin^2 \alpha) + I_{y_1}^2 P_\psi^2 r^2 h_\xi h_\psi (A_\varphi a \cos \alpha + 0,5 A_\zeta P_\psi^{-2} \omega^2 \sin \alpha)^2] > 0. \quad (16)$$

В нерівностях (16) параметри $h_\xi > 0$ і $h_\psi > 0$ характеризують опір рухові робочого органу в напрямку відповідних координат. Решта параметрів в (16) додатні за своїм фізичним змістом. Тому нерівності (16) справедливі при будь яких допустимих комбінаціях параметрів вібросепаратора. Отже, розв'язки $C_k = D_k = 0$ ($k = \xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \varphi$) будуть стійкими при будь якому наборі вібросепаратора, а тому режим коливань (2) також буде стійким.

Література

1. Кононенко В.О. Пространственные нелинейные колебания твёрдых тел // Прикл. механика.– 1969.– Т. 5.– Вып. 2.
2. Ганиев Р.Ф. Некоторые задачи устойчивости при нелинейных колебаниях твёрдого тела. Колебания и устойчивость приборов, машин и элементов систем управления.– М.: Наука, 1968.– 300 с.
3. Ганиев Р.Ф., Кононенко В.О. Колебания твёрдых тел. – М.: Наука, 1976.– 432 с.
4. Сметанкін В.О., Ільїн В.Я., Ільїн І.В. Стійкість нелінійних коливань робочого органу вібросепаратора в нерезонансному випадку // Тр. 7-й междунар. науч.-техн. конф. «Фізическіе і комп'ютерніе технології в народном хозяйстве».– Харьков: ХНПК, 2003.– С. 263-265.
5. Заика П.М. Динамика вибрационной зерноочистительной машины с винтовыми колебаниями рабочего органа // Математические методы решения инженерных и экономических задач. Сб. науч. тр. ХИМЭСХ.– 1971.– Вып.20.– С. 31-35.
6. Заика П.М., Ільїн В.Я. Устойчивость колебаний в направлении линейных координат вибрационной зерноочистительной машины с винтовыми колебаниями рабочего органа // Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач. Сб. науч. тр. МИИСП.– М., 1973.– Т.8.– Вып. 6, Ч. 2.– С. 28-31.
7. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний.– М.: Наука, 1974.– 504 с.

УДК 539.3:534.1

КОЛЕБАНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

**Сметанкина Н.В., канд. техн. наук, Шупиков А.Н., докт. техн. наук,
Сотрихин С.Ю., канд. техн. наук, Ярещенко В.Г., канд. техн. наук**
(г. Харьков, Украина)

The strain-stressed state of an elliptic plate at an impact loading is investigated. The dynamic behaviour of a plate is described within the framework of a Timoshenko type theory taking into account strains of transverse shear and rotary inertia of a normal. Theoretical results are compared to the experimental data obtained by the dynamic wide-range strain measurement technique.

При проектировании и эксплуатации современной техники одной из актуальных проблем является обеспечение динамической прочности конструкций [1, 2]. Высокие требования, предъявляемые к характеристикам конструкций в условиях кратковременных интенсивных воздействий, приводят к необходимости создания и совершенствования методов их расчета, в частности, определения напряженно-деформированного состояния (НДС). Исследованию НДС пластин прямоугольной формы в плане при ударном нагружении посвящено большое количество публикаций [2-5]. Пластины иной формы в плане рассматриваются значительно реже. В настоящей работе предложена методика теоретического и экспериментального исследования нестационарных колебаний эллиптической пластины при ударе шаровым индентором.

Рассматривается однородная пластина постоянной толщины h . Пластина отнесена к декартовой системе координат, связанной с наружной поверхностью пластины слоя, и занимает на координатной плоскости xOy односвязную область Ω , ограниченную криволинейным контуром Γ

$$\Gamma: x_{\Gamma}(\varphi) = \alpha \cos \varphi, \quad y_{\Gamma}(\varphi) = \beta \sin \varphi, \quad \varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_1.$$

Поведение пластины описывается в рамках уточненной теории первого порядка, учитывающей деформации поперечного сдвига и инерцию вращения нормали. При этом перемещения точек пластины определяются выражениями

$$u_x = u + z\psi_x, \quad u_y = u + z\psi_y, \quad u_z = w, \quad (1)$$

где $u = u(x, y, t)$, $v = v(x, y, t)$, $w = w(x, y, t)$ – перемещения точки координатной плоскости в направлении координатных осей; $\psi_x = \psi_x(x, y, t)$, $\psi_y = \psi_y(x, y, t)$ – углы поворота нормального элемента вокруг координатных осей; t – время. Положительное направление оси Oz совпадает с направлением внешней нормали к координатной плоскости.

Деформации слоев определяются согласно формулам Коши. Напряжения и деформации связаны законом Гука [5]. Уравнения движения пластины под действием ударной нагрузки P^d

$$\left[\Omega^{\rho} \right] U_{,tt} + [A]U = P^d, \quad x, y \in \Omega, \quad U = U_{,t} = 0, \quad t = 0, \quad (2)$$

а также соответствующие граничные условия на контуре Γ

$$\left[B^{\Gamma} \right] U = 0, \quad x, y \in \Gamma \quad (3)$$

получаются на основе вариационного принципа Остроградского-Гамильтона [6]. Здесь $U = \{u, v, w, \psi_x, \psi_y\}$, $P^d = \{0, 0, p_d(x, y, t), 0, 0\}$.

Ударное нагружение пластины осуществляется путем сброса с высоты H индентора массой M со сферической головной частью радиуса R . Предполагается, что область взаимодействия индентора и пластины является кругом радиуса r_d с центром в точке с координатами x_0, y_0, z_0 , а контактное давление груза на пластину распределено по площадке нагружения в соответствии с законом [5]

$$q_z = P_0(t) \left\{ 1 - \left[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right] / r_d^2(t) \right\}^{1/2}. \quad (4)$$

Равнодействующая нагрузки (4) равна контактной силе воздействия индентора на пластину и составляет $p_d(t) = \frac{2}{3} \pi r_d^2(t) P_0(t)$. Уравнение движения индентора и начальные условия записываются как

$$M\ddot{Z} = Mg - p_d(t), \quad Z(0) = 0, \quad \dot{Z}(0) = V, \quad (5)$$

где Z – перемещение груза, g – ускорение свободного падения, V – скорость соударения, $V = \sqrt{2gH}$.

Условие совместности перемещений индентора Z и пластины w с учетом контактного сближения α имеет вид

$$w(x_0, y_0, t) + \alpha(t) - Z(t) \geq 0, \quad \alpha(t) = kP_d^{2/3}(t). \quad (6)$$

Система уравнений движения пластины (2) решается совместно с уравнением движения ударяющего тела (5) и уравнением совместности перемещений соударяющихся тел (6).

В соответствии с ранее разработанным подходом (метод упругого погружения [6]) вместо заданной пластины рассматривается пластина, включающая заданную область и в пределах последней нагруженная так же, как

и область Ω . В качестве расширенной выбирается область, для которой достаточно просто получить решение. Расширенная шарнирно опертая прямоугольная пластина дает возможность представить решение задачи в виде тригонометрических рядов. Чтобы НДС в области Ω расширенной пластины было тождественно НДС исходной пластины, по контуру Γ к расширенной пластине прикладываются распределенные компенсирующие нагрузки $Q^{comp} = \{q_j^{comp}(x, y, t)\} (j = \overline{1,5})$, интенсивность которых требуется определить. В уравнения движения (2) компенсирующие нагрузки входят в виде криволинейных распределений $P^{comp} = \{p_j^{comp}(x, y, t)\}$,

$$p_j^{comp}(x, y, t) = \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} q_k^{comp}(\varphi, t) \delta(x - x_\Gamma, y - y_\Gamma) L(\varphi) d\varphi, \quad j, k = \overline{1,5}, \quad (7)$$

где $\delta(x - x_\Gamma, y - y_\Gamma)$ – двумерная δ -функция Дирака; $L(\varphi) = [(x'_\Gamma)^2 + (y'_\Gamma)^2]^{1/2}$, $x'_\Gamma = dx_\Gamma/d\varphi$, $y'_\Gamma = dy_\Gamma/d\varphi$.

Граничные условия (3) на следе контура Γ преобразуются в систему интегральных уравнений для определения интенсивностей компенсирующих нагрузок. Система решается путем разложения искомых функций компенсирующих нагрузок (7) и функций перемещений (1) в тригонометрические ряды в области Ω и в ряд вдоль контура Γ . После определения компенсирующих нагрузок на каждом шаге по времени определяются все компоненты НДС заданной оболочки.

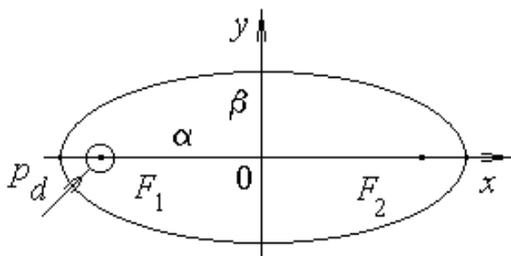


Рис.1. Эллиптическая пластина

Экспериментальное исследование проводилось с использованием измерительного комплекса, разработанного в Институте проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины [5]. Методика эксперимента и аппаратура позволяют с необходимой точностью регистрировать текущие значения деформаций во времени.

Для измерения деформаций при ударном нагружении наиболее удобен подход, в основе которого лежит метод динамической широкополосной тензометрии.

Крепление пластины по контуру моделирует необходимый тип граничных условий. Нагружение производится путем сбрасывания индентора на наружную поверхность пластины.

На тыльной стороне пластины по длинной оси эллипса наклеиваются семь пар тензодатчиков, ориентированных вдоль координатных осей. Используются фольговые тензодатчики с базой измерения 1 мм. При динамическом нагружении пластины сигналы с тензодатчиков, наклеенных на пластину, по измерительным линиям поступают на тензометрический усилитель, а затем на многоканальный измерительно-вычислительный комплекс. Подробное описание измерительного комплекса приведено в работах [5, 7].

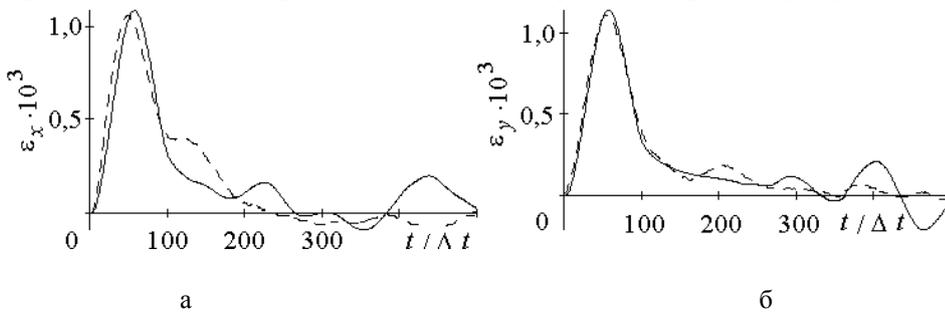


Рис. 2. Изменение деформаций во времени, $\Delta t = 3,2 \cdot 10^{-6}$ с.

$E = 5,7 \cdot 10^3$ МПа, $\nu = 0,38$, $\rho = 1,2 \cdot 10^3$ кг/м³. Здесь E , ν , ρ – модуль упругости, коэффициент Пуассона и плотность материала пластины.

Нагружение осуществлялось сбросом индентора в фокус пластины $F_1 (x_0 = -F_1, y_0 = 0, z_0 = 0)$. Индентор также выполнен из органического стекла. Масса индентора составляет 0,125 кг, радиус головной части – 0,03 м, высота сброса – 0,53 м. На рис. 2 приведено изменение деформаций ϵ_x (а) и ϵ_y (б) в зависимости от времени в точке с координатами $x_1 = -F_1, y_1 = 0, z_1 = h$. Сплошными линиями показаны расчетные зависимости, штриховыми – экспериментальные. Расхождение между максимальными расчетными и экспериментальными значениями деформаций не превышает 5 %, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Таким образом, разработана методика теоретического и экспериментального исследования нестационарных колебаний пластин, которая может быть использована при проектировании ударопрочных элементов конструкций.

В качестве примера рассматриваются колебания шарнирно опертой эллиптической пластины, выполненной из органического стекла со следующими геометрическими и механическими параметрами: $\alpha = 0,31$ м, $\beta = 0,22$ м, (см. рис. 1); $h = 0,025$ м,

Литература

1. Динамика удара / Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.В., Грещук Л.Б., Курран Д.Р.– М.: Мир, 1985.– 296 с.
2. Луговой П.З. Динамика оболочечных конструкций при импульсных нагрузках (обзор)// Прикл. механика.– 1990.– Т.28, № 8.– С. 3-20.
3. Shupikov A.N., Ugrimov S.V., Kolodiazny A.V., Yareschenko V.G. High-order theory of multilayer plates. The impact problem//Int. J. Solids Structures.– 1998.– V.35, № 25.– P.3391-3404.
4. Nosier A., Kapania R.K., Reddy J.N. Low-velocity impact of laminated composites using a layerwise theory // Comput. Mechanics.– 1994.– N 13.– P. 360-379.
5. Smetankina N.V., Sotrikhin S.Yu., Shupikov A.N. Theoretical and experimental investigation of vibration of multilayer plates under the action of impulse and impact loads // Int. J. Solids and Structures. – 1995. – V. 32, N 8/9. – P. 1247-1258.
6. 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.
7. Колодяжный А.В., Сметанкина Н.В., Сотрихин С.Ю., Шупиков А.Н. Ударное нагружение многослойных пластин. Теория и эксперимент // Вестник ХГПУ.– Технологии в машиностроении.– 2000.– Вып. 89.– С. 174-179.

УДК 621.923

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (РАБОТАЮЩИЙ НА ГАЗООБРАЗНОМ, ЖИДКОМ И ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ)**Дудин А.Т.***(г. Евпатория, Украина)*

The new design is offered and the description of engine run of internal combustion working on gaseous, fluid and firm combustibles is given

Двигатели внутреннего сгорания делятся на карбюраторные и дизельные. Карбюраторный и дизельный двигатели состоят из кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, системы питания, смазки и охлаждения. Карбюраторный двигатель имеет систему зажигания. В карбюраторных двигателях рабочая смесь из паров бензина и воздуха готовится в карбюраторе и засасывается в цилиндры двигателя, где воспламеняется электрической искрой. В двигателях, работающих на газе, рабочая смесь готовится также вне цилиндра, в смесителях. В дизелях рабочая смесь готовится внутри цилиндров, путем впрыска в них дизельного топлива, самовоспламеняющегося благодаря высокой температуре сжатого в цилиндре воздуха.

Наибольшее распространение получили четырехтактные двигатели. Рабочий цикл такого двигателя состоит из следующих тактов: впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск.

Кривошипно-шатунный механизм преобразует поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала.

Газораспределительный механизм своевременно открывает и закрывает клапана.

Система питания обеспечивает подачу топлива и воздуха, приготовление рабочей смеси и отвод газов.

Система смазки обеспечивает смазку трущихся частей, охлаждение деталей двигателя: поршней, кривошипно-шатунного механизма, подшипников, удаляет продукты износа.

Система охлаждения водяная или воздушная отводит теплоту от деталей двигателя и обеспечивает наилучший тепловой режим его работы.

Система зажигания в карбюраторных двигателях обеспечивает своевременное воспламенение рабочей смеси электрической искрой.

Современные двигатели многоцилиндровые. Цилиндры располагаются в один ряд или под углом V-образно.

Рядные двигатели при большом числе цилиндров становятся громоздкими. V-образные двигатели занимают меньший объем. Это позволяет увеличить их литраж, а следовательно и мощность. В последнее время появились W-образные двигатели. Для увеличения мощности используют систему турбонаддува.

Если проследить историю развития двигателя от патента французского инженера Лебона, то и этот двигатель продолжает восхищать и будоражить умы изобретателей. Лебон в 1801 году на светильном газе, полученном от сухой перегонки древесины, предложил двигатель.

Бельгийский инженер Лемуан в 1860 году построил двигатель, где газовая смесь зажигалась электрической искрой. У Лебона и у Лемуана двигатели были двойного действия, т.е. камеры находились по обе стороны поршня и попеременно работали. КПД двигателя Лемуана достигал всего 4%, но тем не менее уже в 1864 году было выпущено 300 таких двигателей. Немецкий изобретатель Отто получил патент в 1864 году на газовый двигатель, КПД которого был 15%.

В 1870-х годах французский инженер Бо де Рош описал принцип работы четырехтактного двигателя. В 1877 году Отто взял патент на двигатель с четырехтактным циклом и наладил их выпуск. Этот цикл остается до настоящего времени основным в работе большинства современных двигателей. В 1872 году американец Брайтон придумал карбюратор и предложил использовать в двигателе бензин. В 1892 году немецкий инженер Рудольф Дизель получил патент на двигатель, работающий по циклу Карно, КПД которого ожидалось 73%. В

1893 году был изготовлен одноцилиндровый двигатель, работа которого первоначально планировалась на угольной пыли, но при испытании решили применить бензин, что привело к взрыву. В 1894 году для 2-го двигателя Дизель изобрел форсунку для впрыска керосина.

Не будем дальше перечислять все изобретения по двигателям внутреннего сгорания, но если взять изобретения за последние 100 лет, то мы не так далеко ушли от идей столетней давности. Конструкция двигателя внутреннего сгорания, разработанная Рудольфом Дизелем, остается лучшей на сегодняшний день.

Проанализировав двигатели внутреннего сгорания производства СССР: Д-37М; Д-37В; Д-30; Д-21; Д-16; Д-20; Д-50; Д-40; Д-48; Д-54А; Д-75; СМД-14 и его модификации: СМД-14А, СМД-14Б, АСМД-7В; АМ-01 и его модификации: КДМ-100, Д-108, Д-130, 6КДМ-50, Д-180; Д-200; ЯМЗ-238НБ; В-30, и рассмотрев следующие устройства патент Великобритании № 556297, кл. F02 В 75/18, опубл. 1943 г., патент Франции № 801965, кл. F02 В 75/18, опубл. 1936 г., патент Франции № 508340, кл. F 02 В 75/18, опубл. 1920 г., заявка ФРГ № 3240130, кл. F 02 В 71/00, 1982 г., А.С. СССР № 84292, кл. F 02 В 75/28, 1959 г., патент России № 2123124, кл. 6F 02 В 75/18, 75/28 опубл. 10.12.98 г., Бюл. № 34, а так же двигатели, установленные на автомобилях «Нисан-Микра» и «Опель-Корса», и приняв их за прототипы, предлагаем Вашему вниманию следующую разработку.

Современные двигатели внутреннего сгорания обладают следующими недостатками: работают по четырехтактному циклу; имеют клапаны; работают на жидком или газообразном топливе.

Для расширения функциональных возможностей двигателя внутреннего сгорания, наряду с жидким и газообразным топливом, эффективно использовать твердое топливо. С этой целью необходимо отказаться от традиционных клапанов, для разгрузки цилиндры выполнить открывающимися, а для лучшего удаления продуктов сгорания в цилиндр ввести пружину.

Описание работы двигателя.

Известные двигатели внутреннего сгорания работают на жидком и газообразном топливе, но как показало время, запасы этого топлива ограничены, поэтому необходимо двигатели внутреннего сгорания переводить на твердое топливо.

Предлагаемый двигатель универсален, он может работать как на газообразном, жидком, так и на твердом топливе. Для этого необходимо обеспечить выгрузку продуктов сгорания из цилиндра. Это обеспечивается открытием цилиндров через специальные вырезы, введением в цилиндр пружин и подвижностью самих цилиндров, где открытие и закрытие цилиндра осуществляет поршень. Отпадает необходимость в клапанной системе.

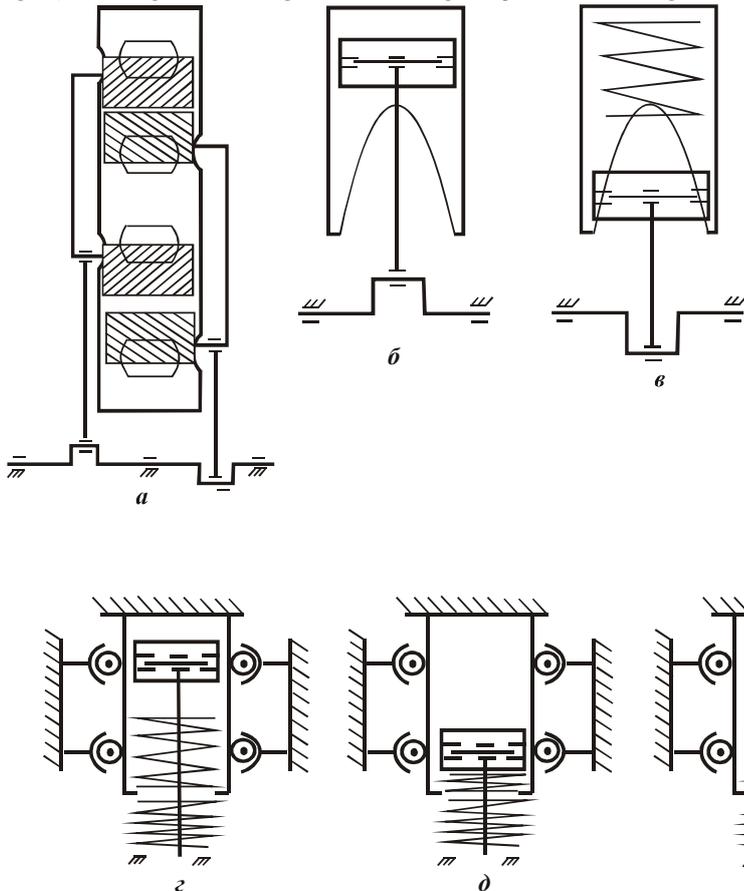


Рис.1. Двигатель внутреннего сгорания.

поршнями имеет специальные вырезы, рис. 1, а. Опозиционные поршни удаляются друг от друга и в крайнем положении открывают цилиндр. Через эти вырезы цилиндр продувается, из него удаляются продукты сгорания (зола и отработанный газ), которые направляются на циклон для сбора золы и на фильтр – очиститель для газа. После этого газ выводится в атмосферу, а зола собирается в специальном контейнере. Для лучшего удаления

Твердым топливом может служить древесная мука, древесный порошок, уголь, антрацитовый порошок, сухой порошок, спирт, пробковая мука, ацетат целлюлозы и многие другие продукты, которые в виде суспензии с потоком воздуха или кислорода, или другого газа вдуваются в цилиндр через форсунку. Температура самовоспламенения этих смесей около 500°C.

Применяя традиционные системы зажигания, нетрудно получить взрывчатые смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. В качестве системы зажигания можно использовать впрыск масла и кислорода. Твердое топливо можно использовать и как дополнительное рабочее тело при впрыске во время сгорания жидкого или газообразного рабочего тела.

Двигатель внутреннего сгорания с опозиционными

зола на одном из поршней в цилиндре устанавливается пружина. Одна пружина может крепиться посередине цилиндра средним витком к цилиндру так, чтобы оба поршня во время сжатия равномерно её сжимали.

Цикл работы двигателя.

Рабочее тело твердое, жидкое или газообразное.

1-й такт. Рабочий ход – очистка цилиндра.

2-й такт. Продув цилиндра – сжатие – подача топлива.

Цикл повторяется.

На рис. 1,б показан однопоршневый цилиндр со специальным вырезом.

На рис. 1,в показан однопоршневый цилиндр с пружиной, закрепленной на торце цилиндра для удаления зола. Пружина может быть закреплена на поршне или одновременно на цилиндре и поршне.

На рис. 1,г показан подвижный открывающийся цилиндр. В цилиндре за поршнем установлена одна пружина. Цилиндр опирается на пружину и свободно передвигается по шаровым опорам. Шаровые опоры могут быть подпружинными. При движении поршня в верхнее положение, цилиндр нижней пружиной прижимается к основанию (крышке) и закрывается.

На рис. 1,д показано перемещение поршня в крайнее нижнее положение. В начале он “мягко” прижимается к пружине внутри цилиндра, а затем сжимает нижнюю пружину и открывает цилиндр. Эти две пружины обеспечивают мягкую посадку цилиндра на основание (крышку) и так же мягко его открывает поршень. Внутри цилиндра так же может устанавливаться пружина на поршень и основание или основание, или поршень. Двигатель работает по той же схеме.

Подвижный цилиндр имеет специальную прорезь (рис. 1,е), которую поршень открывает при подходе к нижней мертвой точке. Это облегчает выгрузку – очищение цилиндра. Цилиндр так же может иметь очистительную пружину.

В заключение следует отметить, что в предлагаемом двигателе наряду с жидким и газообразным топливом может использоваться твердое порошкообразное топливо, которое вводится в цилиндр с воздухом или кислородом через форсунку.

Применение порошкообразного твердого и комбинированного топлива важно в условиях экономических кризисов, связанных с сырьевыми ресурсами, позволяет использовать отходы производства, делает работу двигателя более экономически выгодной.

УДК 621.833

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГИБКОГО КОЛЕСА ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОД НАГРУЗКОЙ

Ткаченко В. Н., канд. техн. наук.

(г. Харьков, Украина)

The article presents the results experiment investigation Supple wheels Harmonic drive.

С приложением крутящего момента картина напряженного состояния гибкого колеса, деформированного дисковым генератором, существенно изменяться [1]. Расчет на прочность затруднен, если неизвестна зависимость между величинами напряжений изгиба в венце и величиной передаваемого крутящего момента. Можно решать поставленную задачу, задаваясь в качестве исходных данных величинам и законом распределения сил зацепления, однако, закон, по которому силы зацепления распределены по угловой координате, зависит от величины передаваемого крутящего момента и при аналитическом определении этой зависимости возникает ряд препятствий, например, может оказаться, что в пределах допуска на изготовление колеса, указанные законы будут существенно отличаться. Ответить на вопрос, каким же этот закон будет в действительности в передаче с приработанными зубьями, т. е. с геометрией зуба, несколько отличной от исходной, вообще проблематично. Известен и другой подход [2], когда в качестве исходных данных выбирают закон распределения радиальных перемещений по угловой координате.

Если при деформировании колеса генератором без приложения крутящего момента радиальные перемещения и напряжения можно определить аналитически, то под нагрузкой действие сил зацепления приводит к потере симметрии перемещений, в зацепление входит дополнительное количество зубьев, возникает относительный перенос зубьев гибкого и жесткого колес. Податливость генератора приводит к уменьшению радиальных перемещений под нагрузкой, вследствие действия радиальной составляющей сил зацепления.

Неучет вышперечисленных факторов при аналитическом расчете приводит к существенным погрешностям, поэтому с достаточной для расчетов точностью, закон распределения радиальных перемещений при произвольном значении крутящего момента можно определить экспериментально.

Экспериментальное определение радиальных перемещений проводилось на специально изготовленной установке позволяющей исследовать передачи с гибким колесом диаметром до 200 мм и длиной до 210мм.

Испытания проводились следующим образом: гибкое колесо в редукторе нагружалось крутящим моментом, после чего производился трехкратный замер радиальных перемещений при одном нагружении в 48 точках деформированного края гибкого колеса с шагом 7,5°. Затем редуктор разгружался, нагружался вновь и замеры повторялись. Для каждой из пар испытываемых колес замеры проводились при различных значениях крутяще-

го момента. Крутящий момент изменялся от 0 до 1000 нм с шагом 250 нм. Каждый из редукторов испытывался при четырех перегрузках. На рис.1 приведены экспериментально полученные зависимости радиальных перемещений для различных значений крутящего момента от 0 до 1000 нм с шагом 250 нм.

Радиальные перемещения в вершине волны ненагруженной передачи составляли $(1.1 \div 1.2)$ м. По мере увеличения нагрузки перемещения уменьшилось до 0,9м за счет осадки генератора под действием радиальных сил. Перемещения во впадине волны увеличивались, угол охвата уменьшался и одновременно смещался в направлении вращения генератора. При этом по части периметра гибкое колесо как бы поджималось к жесткому, что обеспечивало увеличение количества сопряженных зубьев с ростом передаваемой нагрузки. В месте перехода гибкого колеса от зоны дополнительного зацепления к свободной наблюдалось значительное искривление контура и рост напряжений изгиба.

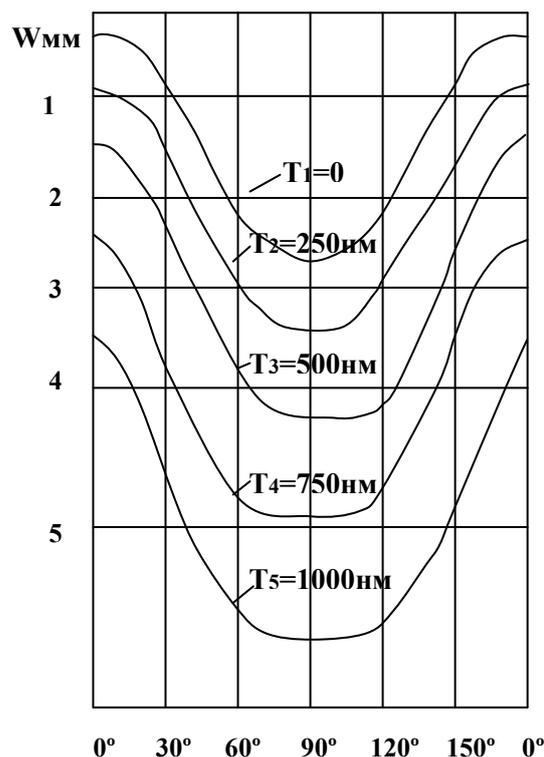


Рис. 1

Так как площадь, ограниченная контуром деформированного торца, при рассматриваемых величинах перемещений отличается от πR^2 внутр. Не более чем на $3 \div 5$ %, то за начало отчета удобно принять точку, максимально удаленную от оси генератора, а расстояние от этой точки до исходной окружности недеформированного колеса определять из вышеуказанного условия.

Гибкие колеса изготавливались из улучшенной до $HRC 30 \div 32$ стали 40ХН и стали ШХ-15. Каждое из колес испытывалось при четырех углах охвата: 75° , 60° , 50° и 40° . Угол охвата генератора гибким колесом при неизменном радиальном перемещении в вершине волны изменялся за счет уменьшения радиусов дисков генератора и увеличения эксцентриситета с помощью шлифованных регулировочных прокладок различной толщины и стальной ленты толщиной 0,05 мм.

Одновременно с определением радиальных перемещений проводилось тензометрирование напряжений в области зубчатого венца гибких колес. В окружном направлении датчики располагались так, чтобы геометрические центры их чувствительных элементов отстояли друг от друга на расстояниях, соответствующих углу $7,5^\circ$.

Напряжения также вычислялись теоретические, по методике [2], используют в качестве исходных данных радиальные перемещения.

Удовлетворительное совпадение результатов эксперимента и расчетов, при радиальных перемещениях измеримых с толщиной гибкого колеса, свидетельствуют о возможности решения задачи в линейной постановке.

Литература

1. Гинзбург Е. Г. Волновые зубчатые передачи. «Машиностроение», 1996 г.
2. Ткаченко В. Н. Исследование напряженного состояния оболочки волновой зубчатой передачи Научно-технический сборник «Динамика и прочность машин», вып.22., «Вища школа», Харьков, 1985 г.

РЕЛАКСАЦІЯ КОУЛ - ДЕВІДСОНА

Комкова О.А.,

(м. Одеса, Україна)

The fractal differential operator with which help there was a received dependence of a complex susceptibility Cole-Devidson is used/ The analysis of physical sense of a derivative is lead.

У даній роботі була почата спроба описати ряд фізичних систем, зокрема процес релаксації Коул – Девідсона, за допомогою рівняння із дробовими операторами.

Кількісної мікроскопічної теорії, що могла б пояснити залежності релаксації, що спостерігаються, Коул-Девідсона в даний час не запропоноване [1], і все частіше стверджують, що такої теорії не може бути створено [2]. У ряді робіт для опису релаксації Коул-Девідсона були запропоновані різні моделі, в основі яких лежать фрактальні представлення про природу процесів, що породжують релаксацію Коул-Девідсона [3].

Для опису і вивчення релаксаційних процесів, що породжуються фрактальною структурою, використовувалася математична мова дробової похідної, що базується на представленні оператора дробового диференціювання Римана – Лиувіля [4]

$$D^\alpha [f(t)] = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \int_c^t (t-\tau)^{-\alpha} \cdot f(\tau) d\tau, \quad (1.1)$$

який має більш ніж, двохсотлітню історію.

Обґрунтування зв'язку дробової похідної з фрактальною множиною, що породжує аномальну поведінку діелектричної релаксації Коул-Девідсона було проведено [5], де було запропоновано використовувати дробовий оператор локального диференціювання D^α у вигляді:

$$D^\alpha f(x) = \frac{d^\alpha f(x)}{[d(x-a)]^\alpha} = \lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x) - f(a)}{[x-a]^\alpha}, \quad 0 < \alpha \leq 1. \quad (1.2)$$

Перетворення Лапласа функції $D_{x-a}^\alpha f(x)$ дорівнює

$$L[D_{x-a}^\alpha f(x)] = \Gamma(2-\alpha) p^\alpha L[f(x)] - \Gamma(2-\alpha) p^{\alpha-1} f(a).$$

Для опису аномальної релаксації Коул - Девідсона розглянемо оператор дробового диференціювання [6]:

$$(\tau^{-1} + D^1)^\nu = \sum_{n=0}^{\infty} (\tau^{-1})^n \binom{\nu}{n} D^{(\nu-n)} \quad (1.3)$$

де $\binom{\nu}{n} = \frac{\nu!}{n!(\nu-n)!}$ - біноміальний коефіцієнт.

Тоді

$$(\tau^{-1} + D^1)^\nu [P(t)] = \frac{\chi_0 E_0}{\tau^\nu}. \quad (1.4)$$

Згідно з (1.4) Лаплас - образ функції P(t) можна визначити у вигляді:

$$\bar{P}(p) = \frac{\chi_0 E}{p} \frac{1}{(1+p\tau)^\nu}. \quad (1.5)$$

Рівняння, що описує релаксацію Коул - Девідсона з (1.5) можна одержати шляхом заміни $p \rightarrow i\omega$ і тоді

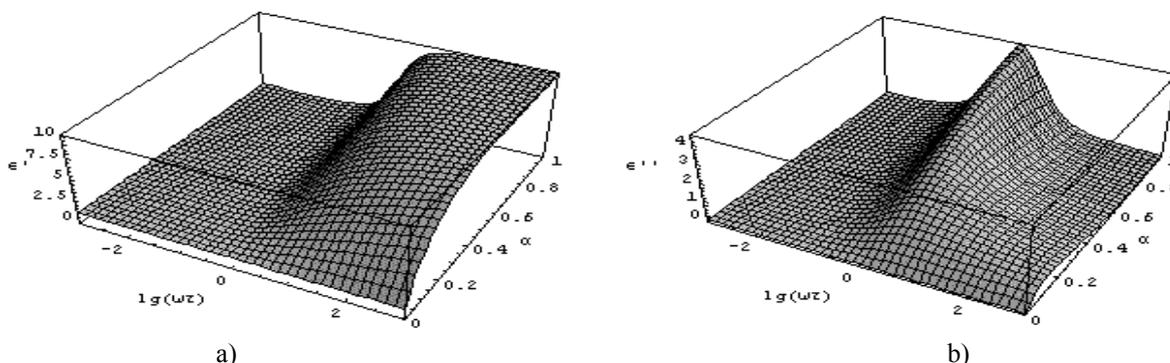


Рис.1. Комплексна діелектрична проникність закону Коул – Девідсона: а) дійсна частина комплексної діелектричної проникності закону Коул – Девідсона; б) уявна частина комплексної діелектричної проникності закону Коул – Девідсона.

комплексну сприйнятливості (Коул-Девідсона) можна визначити у вигляді

$$\chi(i\omega) = \frac{\chi_0}{(1+i\omega\tau)^\nu}. \quad (1.6)$$

Звідси випливає, що комплексна діелектрична проникність (Коула-Девідсона)

$$\varepsilon^*(i\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{1 + i\omega\tau}^\beta, \quad 0 < \beta \leq 1$$

де $\varepsilon'(\omega) = \text{Re}[\varepsilon^*(i\omega)] = \varepsilon_\infty + (\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty) \frac{\cos[\beta \text{arctg}(-\omega\tau)]}{(1 + (\omega\tau)^2)^{\frac{\beta}{2}}}$, $\varepsilon''(\omega) = \text{Im}[\varepsilon^*(i\omega)] = (\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty) \frac{\sin[\beta \text{arctg}(-\omega\tau)]}{(1 + (\omega\tau)^2)^{\frac{\beta}{2}}}$

Розрахунки (рис.1) здійснювалися при $\eta = \frac{\varepsilon_\infty}{\varepsilon_0} = 10$.

Рішення (1.4) можна записати у вигляді:

$$P(t) = -\frac{1}{\Gamma(\gamma)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \Gamma(k+\gamma)}{\Gamma(k+\gamma)\Gamma(k+1)} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{(k+\gamma)} = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} H_{12}^{\parallel} \left[\left[\frac{t}{\tau} \right]^\alpha \middle| \begin{matrix} (0,1) \\ (\gamma,1), (0,1) \end{matrix} \right]. \quad (1.7)$$

Для закону Коула –Девідсона $0 < \gamma < 1$

$$f(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(k+\gamma)\Gamma(k+1)} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{k+\gamma}.$$

У рішенні рівнянь із дробовими похідними зручно використовувати функції Фокса (узагальнений інтеграл Міллін – Барнеса), тому що перетворення Лапласа і Фур'є для функцій Фокса виражається через функції Фокса з іншими параметрами . Зв'язок функцій Мітгаг – Лефера з функціями Фокса має вигляд:

$$E_{\alpha,\gamma}(-z) = H_{1,2}^{1,1} \left[z \middle| \begin{matrix} (0,1) \\ (0,1), (1-\gamma, \alpha) \end{matrix} \right]. \quad (1.8)$$

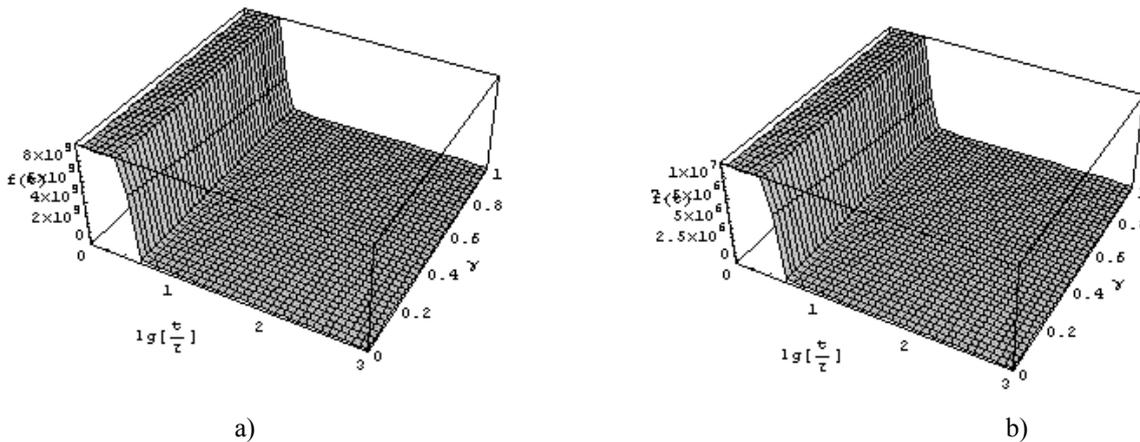


Рис.2. Графік закону Коул – Девідсона, якщо $\frac{t}{\tau} \rightarrow \infty$ і γ близько до 1 (а); графік закону Коул – Девідсона, якщо $\frac{t}{\tau} \rightarrow \infty$ і γ близько до 0 (б).

Функція Фокса для закону Коула –Девідсона $0 < \gamma < 1$ має вигляд $1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} H_{12}^{\parallel} \left[\left[\frac{t}{\tau} \right]^\alpha \middle| \begin{matrix} (0,1) \\ (\gamma,1), (0,1) \end{matrix} \right]$ якщо $\frac{t}{\tau} \rightarrow \infty$

$$f(t) \approx \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{\Gamma(\gamma)} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{\gamma-1} * \left[1 + \sum_{k=0}^{\infty} \prod_{j=1}^k (\gamma - j) \left[\frac{t}{\tau}\right]^{-k} \right] \text{ див.рис.2.}$$

У літературі залежність (1.6) має назва сприйнятливості Коула-Девідсона.

Література

1. Jonsher A.K. Dielectric Relaxation in Solids. Chelsea Dielectric Press. - London.: 1983.
2. Nigmatullin R.R., Phys. Status Solidi B, 124, 389, (1984).
3. Нигматулин Р.Р., Рябов Я.Р. // Физика твердого тела,- 1997.- 39, №1. -С. 101 - 105.
4. Самко С.Г.,Килбас А.А.,Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые приложения.Минск,1987,688с.
5. Комкова О.А., Новіков В.В. До визначення дробової похідної фрактальних функцій.// Вісник Одеськ. держ. ун-ту.- 2003. – т.8, вип.2. Фіз.-мат. науки. – С 129-133.
6. Потапов А.А. Фракталы в радиопрофизике и радиолокации.- М.: Логос, 2002.-664с.(с.91)

УДК 620.9; 621.165; 539.3:534.1

ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ЗАДЕЛКИ ЛОПАТКИ В ДИСК НА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**Воробьев Ю.С., докт.техн.наук, проф., Гошкодеря В.П., канд.техн.наук, Цыба А.Н.**
(г. Харьков, Украина)

The approach to an estimation of influence of a blade support flexibility in a disk on frequencies of natural vibration modes is offered. The rod model of blade is used. The problem about frequencies of natural vibration modes is solved by a variational method.

Прогнозирование поведения рабочей лопатки во время ее эксплуатации является важным, трудоемким и дорогостоящим этапом создания современной турбомашины. Однако, чем качественней результаты такого прогнозирования, тем выше надежность и экономическая эффективность разрабатываемой конструкции. Важную роль в этом процессе играет вибрационная отстройка рабочих лопаток. Снижение уровня динамических напряжений в рабочих лопатках, как известно, достигается путем тщательных и настойчивых усилий конструкторов, расчетчиков и экспериментаторов. Имеется множество факторов, которые необходимо учесть для полного соответствия расчетных и экспериментальных исследований. Одним из них является необходимость правильного учета податливости заделки лопатки в диск. Эта проблема разрабатывалась многими авторами. В работах [1, 2] приведен подробный обзор состояния проблемы. Большинство исследователей рассматривают влияние податливости заделки на изгибные колебания лопатки в направлениях главных осей инерции. При этом в работах [3, 4, 5] податливость учитывается при помощи коэффициента, на который умножается частота лопатки с абсолютно жесткой заделкой. Целесообразно использовать такие коэффициенты податливости, которые зависят от способа заделки и оказывают влияние на группу частот определенного типа. В работе [6] рассматривается стержень, заделанный в упругое полупространство. Определяются зависимости между силами, моментами и перемещениями в месте заделки. Перемещения при изгибе распространяются в глубь на величину Δl , а моменты изменяются на этой длине по линейному закону. В работе [7] используется решение задачи о вдавливании в упругое полупространство штампа с перекосом, которое получено Н. И. Мухелишвили [7].

В данной работе используется подход для учета податливости заделки, подробно изложенный в работе [2]. В качестве модели лопатки выбран естественно закрученный стержень переменного поперечного сечения. Лопатка рассматривается в правой прямоугольной системе координат $хуz$ с началом в центре тяжести корневого сечения o . Ось oz направлена вдоль лопатки, ось ox – параллельна оси ротора, ось ou расположена в плоскости диска. Главные центральные оси $o\xi$ и $o\eta$ расположены под углом α соответственно к осям ox и ou . Задача о колебаниях рабочих лопаток паровых турбин решается при помощи вариационного энергетического метода на основании обобщенного принципа Остроградского-Гамильтона. Вариационное уравнение колебаний упруго заземленной лопатки записывается в виде

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} [\Pi(f_k, f_j) + A_0(f_k, f_j) - T(\dot{f}_k, \dot{f}_j) - A_\Omega(f_k, f_j)] dt = 0, \quad (1)$$

где $\Pi(f_k, f_j)$ – потенциальная энергия, $T(\dot{f}_k, \dot{f}_j)$ – кинетическая энергия колебательной системы, $A_\Omega(f_k, f_j)$ – работа центробежных сил, $A_0(f_k, f_j)$ – работа сил и моментов на перемещениях, допускаемых податливостью заделки, f_k – варьируемые функции, зависящие только от времени, t – время.

Для учета податливости заделки лопатки необходимо, чтобы углы поворота в корневом сечении были пропорциональны моментам, а перемещения – соответствующим усилиям. Линейные и угловые перемещения лопатки состоят из перемещений, которые соответствуют обобщенным усилиям.

$$\begin{aligned} u'_1 &= u'_1(z, t) + \varphi_{u1}(0, t); \quad v'_1 = v'_1(z, t) + \varphi_{v1}(0, t); \\ u_2 &= u_2(z, t) + \varphi_{u2}(0, t); \quad v_2 = v_2(z, t) + \varphi_{v2}(0, t); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\theta = \theta(z, t) + \varphi_\theta(0, t); \quad w = w(z, t) + \varphi_w(0, t); \quad u_1 = \int_0^z u'_1 dz; \quad v_1 = \int_0^z v'_1 dz;$$

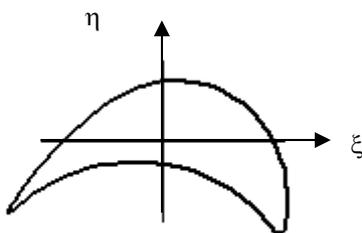


Рис. 1 – Профиль поперечного сечения лопатки

где u, v, w – соответственно перемещения вдоль осей ox, ou и oz ; θ – угол поворота стержня вокруг центра изгиба; φ – перемещения, вызванные наличием податливой заделки, причем, $\varphi_{u1}, \varphi_{v1}$ – перемещения соответственно вдоль осей ox, ou при изгибе, а $\varphi_{u2}, \varphi_{v2}$ – при сдвиге, $\varphi_\theta, \varphi_w$ – перемещения при кручении и растяжении.

$$\begin{aligned} \varphi_{u1} &= e_\eta M_\eta(0, t) \cos \alpha_0 - e_\xi M_\xi(0, t) \sin \alpha_0; \\ \varphi_{v1} &= e_\xi M_\xi(0, t) \cos \alpha_0 + e_\eta M_\eta(0, t) \sin \alpha_0; \\ \varphi_{u2} &= e_{p\xi} P_\xi(0, t) \cos \alpha_0 - e_{p\eta} P_\eta(0, t) \sin \alpha_0; \\ \varphi_{v2} &= e_{p\eta} P_\eta(0, t) \cos \alpha_0 + e_{p\xi} P_\xi(0, t) \sin \alpha_0; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\varphi_\theta = e_\theta M_\theta(0,t); \quad \varphi_w = e_z N(0,t);$$

где $e_\xi, e_\eta, e_\theta, e_{p\xi}, e_{p\eta}, e_z$ – коэффициенты, выражающие податливость упругой заделки; $\alpha_0 = \alpha(0)$; $M_\xi(0,t), M_\eta(0,t), M_\theta(0,t), P_\eta(0,t), P_\xi(0,t), N(0,t)$ – обобщенные силы, действующие в направлениях главных центральных осей инерции. Для случая жесткой заделки $e_\xi = e_\eta = e_\theta = e_{p\xi} = e_{p\eta} = e_z = 0$.

Работа сил и моментов на перемещениях, допускаемых податливостью заделки, записывается в следующем виде

$$A_0 = \frac{1}{2} [M_\xi^2(0,t)e_\xi + M_\eta^2(0,t)e_\eta + M_\theta^2(0,t)e_\theta + P_\xi^2(0,t)e_{p\xi} + P_\eta^2(0,t)e_{p\eta} + N^2(0,t)e_z] \quad (4)$$

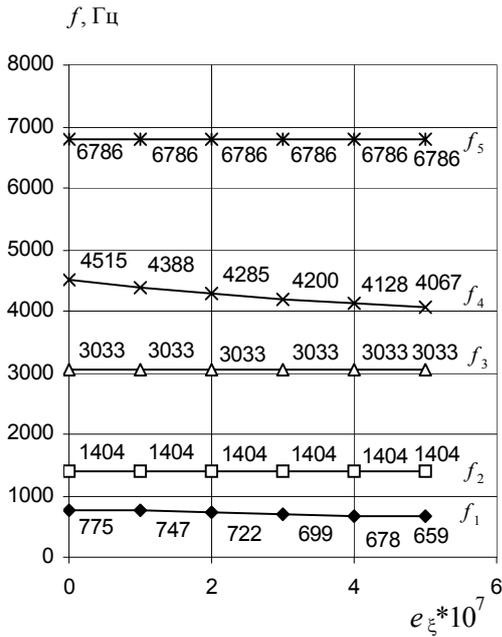


Рис. 2 – Диаграмма частот, $f=F(e_\xi)$.

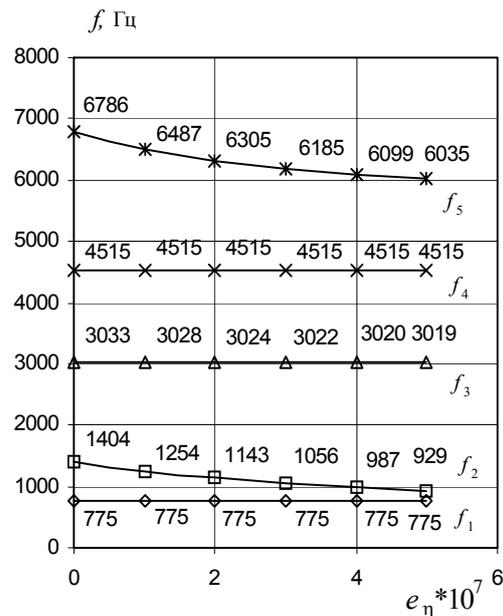


Рис. 3 – Диаграмма частот, $f=F(e_\eta)$.

Коэффициенты податливости упругой заделки могут быть рассчитаны по любой из выше указанных методик. Однако необходимо дополнительно вводить поправочные коэффициенты, которые позволяют учитывать конструктивные особенности хвостовика, условий сборки, времени наработки. Таким образом, задача вновь сводится к тестированию по результатам экспериментов.

В данной работе использовался комплекс программ, который позволяет с высокой скоростью и оперативно осуществлять решение данной задачи. Осуществлен ряд расчетов, в которых варьировались коэффициенты податливости упругой заделки. Сравнение осуществлялось относительно базовых частот, предоставленных заказчиком. Рассматривалась незакрученная единичная лопатка постоянного несимметричного поперечного сечения. Профиль поперечного сечения изображен на рис. 1. На вершине лопатки учитывалась присоединенная масса полки. Длина лопатки $l=13,07$ см. На рис. 2 - 6 показано изменение первых пяти частот собственных форм колебаний. По чувствительности этих частот к соответствующим коэффициентам податливости заделки можно с некоторым приближением судить о том, к какому виду колебаний они относятся. Так на рис. 2 видно, что f_1 и f_4 являются соответственно частотами первой и второй форм изгибных тангенциальных колебаний. Эти частоты существенно зависят от коэффициента податливости заделки e_ξ . Из рис. 3 следует, что частоты первой и второй форм изгибных аксиальных колебаний f_2 и f_3 существенно зависят от коэффициента податливости заделки e_η . Кроме того, на частоту второй формы этих колебаний оказывают значительное влияние деформации сдвига. Это подтверждается диаграммой частот, представленной на рис. 5. На рис. 4 видно, что f_3 является первой собственной частотой крутильной формы колебаний, которая зависит от коэффициента податливости заделки e_θ . При этом отклика других частот на изменение e_θ на диаграммах, рис. 2 - 6, в пределах допустимой точности вычислений не наблюдается.

На рис. 6 показано, что в пределах первых пяти частот для данной лопатки влияние коэффициента податливости заделки при сдвиге $e_{p\eta}$ на собственные частоты колебаний лопатки незначительно. Для второй формы изгибных тангенциальных колебаний f_4 оно не превышает 2%. На рис. 7 показан расчетный эксперимент. Осуществлены расчеты частот свободных колебаний при одновременном изменении коэффициента податливости заделки e_η и $e_{p\xi}$. Получено дополнительное снижение частоты f_5 .

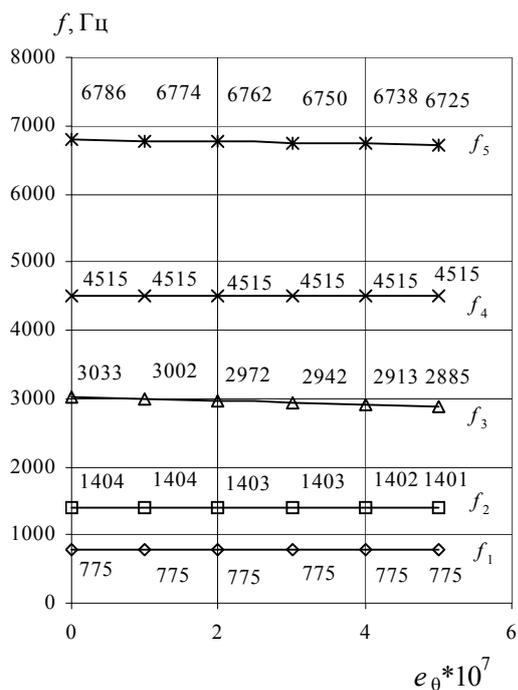


Рис. 4 – Диаграмма частот, $f = F(e_\theta)$.

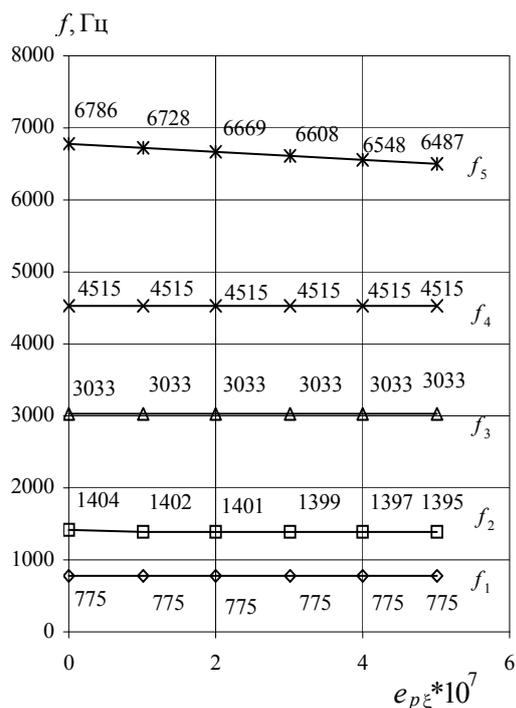


Рис. 5 – Диаграмма частот, $f = F(e_{p\xi})$.

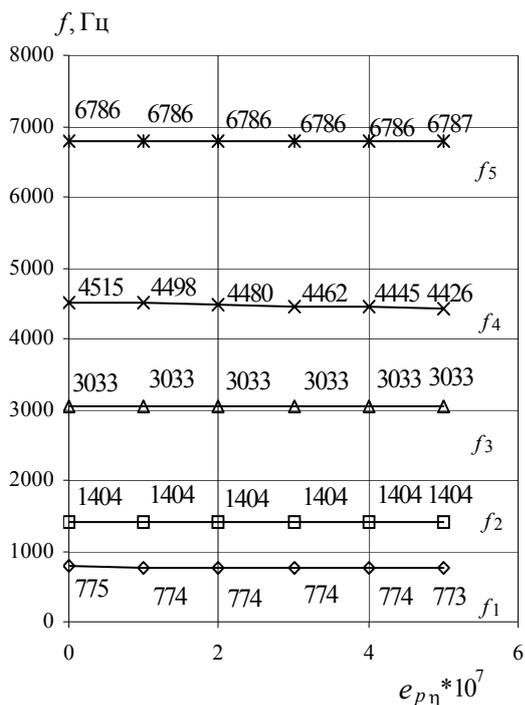


Рис. 6 – Диаграмма частот, $f = F(e_{p\eta})$.

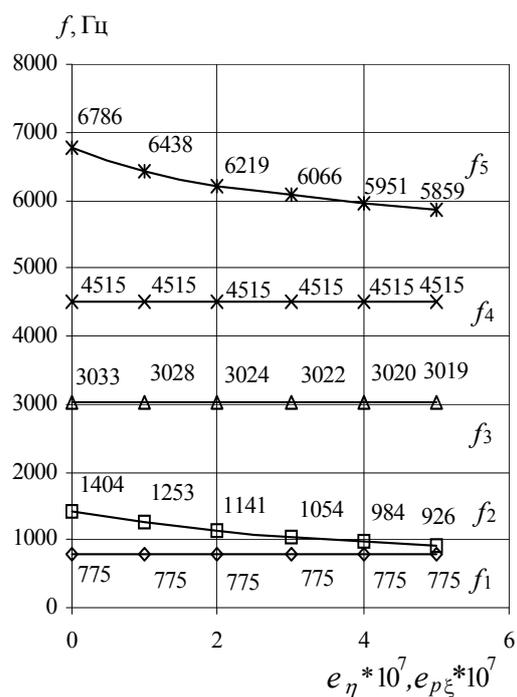


Рис. 7 – Диаграмма частот, $f = F(e_\eta, e_{p\xi})$.

Используя это свойство, были проведены расчеты, которые позволили поставить в соответствие некоторым базовым частотам, представленным заказчиком, расчетные частоты.

Таковыми базовыми частотами могут служить частоты, полученные в результате стендовых испытаний для конкретного вида крепления лопатки на диске. Однако, поля допусков на изготовление хвостовика лопатки и диска, технология сборки – все это оказывает влияние на податливость заделки. Как свидетельствуют результаты, приведенные на рис. 2–7, это возможно учесть при помощи коэффициентов податливости заделки. Их легко найти по базовым частотам.

В табл. 1 представлены значения расчетных и базовых частот, Гц. Подобранные коэффициенты податливости ($e_\xi = .65E-6$, $e_\eta = .28E-6$, $e_\theta = .34E-6$, $e_{p\xi} = .85E-6$, $e_{p\eta} = .85E-6$) для случая упругой заделки обеспечивают хорошее совпадение расчетных и базовых значений частот.

Таблица 1

| Частоты собственных форм колебаний, Гц | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| № п/п | ИПМаш НАНУ | | Базовые частоты |
| | Жесткая заделка | Упругая заделка | |
| 1 | 775 | 631 | 632 |
| 2 | 1404 | 1064 | 1064 |
| 3 | 3033 | 2919 | 2914 |
| 4 | 4515 | 3894 | 3523 |
| 5 | 6786 | 5840 | 5810 |

Полученные результаты говорят о том, что для конкретного вида лопаток и типа закрепления можно определить коэффициенты податливости заделки по значениям частот собственных колебаний, которые получены в результате эксперимента. Эти коэффициенты податливости заделки могут быть использованы для расчетов аналогичных лопаток и сложных систем в случае близких по характеру типов закрепления их на диске. Данный подход можно использовать и для закрученных лопаток.

Литература

1. Левин А. В., Боришанский К. Н., Консон Е. Д. Прочность и вибрация лопаток и дисков паровых турбин. – Ленинград: Машиностроение, 1981. – 710 с.
2. Воробьев Ю. С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин. – Киев: Наук. думка, 1988. – 224 с.
3. Боришанский К. Н. Влияние податливости заделки на собственные частоты рабочих лопаток паровых турбин // Пробл. Прочности. – 1980. – №1. – С. 98–102.
4. Малинин Н. Н. Прочность турбомашин. – М.: Машгиз, 1962. – 291 с.
5. Папченко И. И. Вибрационная прочность лопаток турбин. – М.: Машгиз, 1959. – 254 с.
6. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. – М.: Машиностроение, 1970. – 734 с.
7. O'Donnel W. I. Stresses and deflections in built – in beams // Pap. ASME. – 1962. – N WA-16. – P. 8.
8. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 708 с.

УДК 621.833

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ЗАЦЕПЛЕНИЙ

Андриенко С.В., канд. техн. наук, Павлов А.И., Плыгун В.И.

(г. Харьков, Украина)

The general approaches of the theory of engagements are adduced.

Общая постановка. Теория зацеплений предназначена для анализа существующих и для синтеза новых зацеплений. Зацеплением называется осуществление контактирования сопряженных (гладких с общими касательными и нормальными в точке контакта) поверхностей рабочих элементов конструкции передач К таким передачам относятся зубчатые, цевочные, цепные и др. передачи.

Зубчатые передачи бывают плоские и пространственные [1]. К плоским передачам относятся передачи с осями вращений, расположенными в одной плоскости. К пространственным относятся передачи со скрещающимися осями вращений.

Отношение угловых скоростей вращающихся тел передачи называется передаточной функцией. В большинстве случаев стремятся иметь постоянное значение этой функции. Прямая, образованная точками, расстояния от которых обратно пропорционально угловым скоростям, называется осью зацепления. Плоскость, перпендикулярная оси зацепления, называется плоскостью зацепления. Линия в плоскости зацепления, по которой перемещается точка контакта рабочих поверхностей, называется линией зацепления. От вида линии зацепления исходит название зацепления. Если линия зацепления прямая, то рабочие поверхности зубьев образованы эвольвентами, и такое зацепление называется эвольвентным.

Если линия зацепления образована дугами окружностей, то поверхность зуба рейки (шестерни с бесконечным радиусом) образована циклоидой. Это и есть циклоидальное зацепление. К сожалению, это зацепление [2] широкого применения в силовых передачах не нашло.

Особый случай представляет зацепление Новикова. Контакт рабочих поверхностей происходит в отдельных точках на виртуальной линии зацепления. По этой причине передача Новикова не является обкатной (линейчатой), а чтобы происходило постоянное зацепление передача Новикова выполняется косозубой.

Возможны и другие виды зацеплений. К зацеплениям с кривой линией зацепления относится эволютное зацепление, созданное с помощью построения Бобилье. При этом установлено условие обката зуба по его высоте. Если с помощью построения Бобилье представить передачу четырехзвенным механизмом, то у шатуна этого

механизма существует мгновенный центр скоростей, который в зависимости от вида зацепления располагается в разных местах. Для эвольвентного зацепления мгновенный центр скоростей находится в бесконечности. Для циклоидального – на межцентровой линии, в центре окружности, дуги которой являются линией зацепления. Для эволютного зацепления – на прямой, параллельной межцентровой линии, а сама эта прямая является эволютой профиля зуба рейки. Отсюда и название зацепления.

Эволютное зацепление бывает двух типов: одностороннее и двухстороннее. Для одностороннего зацепления характерным является выпуклость зуба одной шестерни и вогнутость зуба другой шестерни. Этот вариант зацепления рекомендуется выполнять в заплоском варианте, т. е. рабочий участок линии зацепления полностью находится за полюсом зацепления, зуб шестерни имеет только выпуклую головку, а зуб колеса – только вогнутую ножку. Это связано с вырождением отсутствующих частей зуба в почти прямолинейные поверхности.

Сравнение зацеплений. Установим их преимущества и недостатки.

Эвольвентное зацепление – наиболее распространенное и давно известное. Применяется как в силовых, так и в кинематических передачах. Основные преимущества: простота формы инструмента (прямая линия образует зуб рейки), малая чувствительность к погрешностям изготовления и монтажа. Недостатками являются большие контактные напряжения (из-за контактирования двух выпуклых поверхностей) и значительный износ рабочих поверхностей, что определяет долговечность передачи. Многочисленные исследования ученых по улучшению и исправлению (корректированию) эвольвентного зацепления не дали значительного эффекта благодаря его малой чувствительности к изменениям в зацеплении.

С целью повышения контактной прочности М.Л.Новиков предложил точечное зацеплением с выпукло-вогнутым контактом [3]. Принципиальным отличием этого зацепления является то, что автор отказался от понятия линии зацепления в обычном понимании а воспользовался единственной ее точкой. При этом непрерывное контактирование зубьев осуществляется за счет перемещения точки контакта вдоль оси шестерни благодаря косоубности колес. Это положение является одним из недостатков такого зацепления, потому что возникают осевые силы в зацеплении, которые требуют изменения конструкции подшипниковых узлов. Да и выигрыша в прочности передачи в ряде случаев не получено из-за сосредоточенного приложения нагрузки вместо ее распределения по длине зуба (особенно широких колес).

Создание эволютного зацепления [4,5] позволяет решить ряд вопросов, связанных с прочностью силовых передач. Новое зацепление, во-первых, благодаря выпукло-вогнутому контакту сопряженных поверхностей обладает более высокой прочностью по контактным напряжениям. Да и изгибная прочность также повышается за счет того, что, во-первых, в зоне перехода от ножки зуба к окружности впадин нет изменения знака кривизны, во-вторых, за счет увеличения коэффициента перекрытия по сравнению с эвольвентным зацеплением, в-третьих, за счет уменьшения числа зубьев. Износ рабочих поверхностей по сравнению с эвольвентным зацеплением уменьшается за счет снижения коэффициента удельного скольжения.

Однако в этом зацеплении возникают некоторые проблемы, которые требуют особого внимания при проектировании. Это, в первую очередь, повышенная чувствительность к погрешностям изготовления и монтажа. Эволютные передачи требуют более высокой культуры производства и жесткости конструкций. В некоторых случаях возникают проблемы устранения интерференции.

Создание эволютного зацепления сопутствовало решению некоторых вопросов теории зацеплений. Если необходимое условие для обката зубьев по их высоте было известно и раньше, то теперь выявлено и достаточное условие этого положения. Это особенно важно для силовых передач. Заключается это условие в том, что для обкатных передач **мгновенный центр скоростей** шатуна четырехзвенного механизма, заменяющего зубчатую передачу путем построения Бобилье, должен быть **единственным**. Это построение было известно и ранее, но никем не использовалось, что и привело к негативным результатам, например, [6]. В некоторых случаях (для двустороннего эволютного и циклоидального зацеплений) можно воспользоваться двумя центрами, но при этом резко уменьшается значение коэффициента перекрытия передачи.

Уравнение Эйлера-Савари, связывающего радиусы контактирования рабочих поверхностей, получено только для эвольвентного зацепления. В работе [7] аналогичное уравнение записано в общем случае. Оказывается, что на связь радиусов кривизны рабочих поверхностей влияют углы смещения, зависящие от выбранного значения коэффициента разновидности.

Теория зацеплений распространяется и на другие виды передач: цевочные, цепные и т.д. Цевочные передачи при проектировании должны рассматриваться как передачи с заданной рабочей поверхностью одного из колес. В этом случае решается обратная задача: по заданной поверхности зуба одной из шестерен находится линия зацепления передачи, профиль зуба рейки и профиль сопряженного колеса [8].

Цепная передача [9,10] аналогична цевочной за тем исключением, что в зоне полюса передачи появляется участок выстоя, как это бывает у кулачковых механизмов, который на процесс зацепления особого влияния не оказывает.

Выводы. Выше рассмотрены основные виды передач, применяемые в промышленности, сделан анализ их зацеплений и приведены новые положения теории зацеплений.

Литература.

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука.-1968.-584с.
2. Патент Украины 22289А МПК 6 F 16 Н 1/06. Зубчатая передача с модифицированным циклоидальным зацеплением. А.И. Павлов, Т.Н. Вальнюк (Украина)- №97030945. Заявлено 04.03.97. Опубликовано

- 12.02.98. Бюл.№3.-С. 2.
3. Новиков М.Л. Зубчатые передачи с новым зацеплением. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского.- 1958.-186с.
 4. Кириченко А.Ф., Павлов А.И., Чайка Э.Г. Компьютерное построение эволютного зацепления //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства.- Вип.18 «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин».- Харків.-2003.-С. 160-163.
 5. Кириченко А.Ф., Павлов А.И. Некоторые аспекты проектирования и исследования зубчатых зацеплений. // Вісник Східноукраїнського університету ім. В.Даля.-№12(70).-Луганск.-2003.-С.10-14.
 6. Аникин Ю.В. Синусо-идальное зацепление. Изд-во Воронежского университета.- Воронеж.-1975.- 61с.
 7. Павлов А.И., Кириченко А.Ф. Уравнение Эйлера-Савари для общего случая зацепления. // Вісник СХУ ім. В. Даля. Науковий журнал, №3 (49).-Луганськ.- 2002.- С. 191-192.
 8. Медведев Д.В., Кириченко А.Ф., Павлов А.И. Проектирование цевочного зацепления для силовой передачи.// Вестник ХГПУ. Технологии в машиностроении, вып.109.-Харьков.-2000.-С. 128-132.
 9. Павлов А.И. Обкатная цепная передача. // Труды межд.конф. «Micro-CAD-98».- Харьков.- 1998.- С.127-129.
 10. Павлов А.И., Андриенко С.В. Построение рабочей поверхности зубьев звездочки цепной передачи.// Вестник Харьковского национального университета «ХПИ».-Вып.8, т. 3.-Харьков.-2003.-С. 43-46.

УДК 669.15:620.186.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИМ МЕТОДОМ ПРИРОДЫ НАТИРОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МЕТАЛЛА ДВИГАТЕЛЯ

Гладкий И.П., канд. техн. наук, проф., Мощенко В.И., канд. техн. наук, доц.,
Глушкова Д.Б., канд. техн. наук, доц., Тарабанова В.П., канд. техн. наук, доц.
(г. Харьков, Украина)

It is researched the surface of the metal of the motor after green run. It is discovered the nature of the polishes. It is established the connection between the quantity of the austenite in the White Zone and level of the polish.

Постановка задачи. Проблема повышения надежности и долговечности машин во многом определяется качеством заводской обработки двигателей, которая является заключительной операцией технологического процесса изготовления двигателей. Здесь приобретает существенное значение качество поверхности и микрорельеф, создаваемый в процессе обкатки. Приработка является важным этапом для трущихся поверхностей, определяющим условия, характер их работы после приработки и длительность сохранения рабочих функций. При этом в процессе обкатки происходят изменения в поверхностном слое и, прежде всего, структурные изменения, которые оказывают влияние на работоспособность трущихся пар.

Практически все явления, сопровождающие процесс трения, во многом обусловлены образующимся теплом. Поскольку контакт двух трущихся шероховатых поверхностей дискретен, дискретны и очаги образующегося тепла. Распространенным дефектом во время приработки является образование натиров. Появление натиров на поверхности связано с возникновением высоких локализованных температур на их рабочих поверхностях.

Выявлению физической природы натиров и посвящена данная работа.

Материал и методика исследования. Материалом исследования является гильза цилиндра, выполненная из серого чугуна. Поверхность гильзы цилиндра подвергалась закалке токами высокой частоты. Исследовалась гильза в исходном состоянии после обкатки и после испытаний в течение 60 часов. Для определения фазового состава в поверхностных слоях гильз использовали метод рентгеноструктурного анализа. Съемку вели на установке ДРОН-2 в излучении Fe-анода с графитовым монохроматором. Содержание аустенита определяли по методу гомологических пар, сопоставляя интегральные интенсивности линий (111) γ -фазы и (110) α -фазы. Эти линии отличаются по углу Вульфа-Брегга меньше, чем на градус и частично перекрываются. Их профили разделяли графически в предположении симметричности. Существующие таблицы и формулы для определения количества аустенита по методу гомологических пар основаны на предположении, что анализируемая система двухфазная, т.е. что $C_\alpha + C_\gamma = 100\%$

Поскольку материал гильз – серый чугун, т.е. анализируемая система трехфазная, в формулу для расчета количества аустенита вводилась поправка. Соотношение интегральных интенсивностей пересчитывалось в весовое содержание фаз при условии: $C_\alpha + C_\gamma + C_{\text{графит}} = 100\%$

Количество графита определяли методом планирования. Расчет количества аустенита проводили (с учетом поправки) по формуле:
$$C_\gamma = \frac{(100\% - C_{\text{графит}})}{1 + k \cdot I_\alpha / I_\gamma}$$
, где k – коэффициент, учитывающий структурный фактор,

объем элементарной ячейки, фактор повторяемости и угловой множитель; I_α – интегральная интенсивность линии (110) α -фазы; I_γ – интегральная интенсивность линии (111) γ -фазы

Обсуждение результатов. Поверхность после обкатки представляет собой чередование участков с натиром и без натиров, ширина которых в среднем составляет 50...100 мкм.

Если говорить о физической природе натиров, то следует отметить возможность осуществления вторичной закалки при трении. Это явление имеет место в силу следующих обстоятельств:

- 1) в участках микроконтакта происходит нагрев с большой скоростью до температур, превышающих критиче-

ские, и быстрое охлаждение;

2) под действием пластической деформации и при высоких скоростях нагрева критические точки существенно изменяются.

Было предложено аустенит и мартенсит после вторичной закалки называть соответственно аустенит и мартенсит трения. Как правило, микротвердость аустенита трения выше твердости исходного остаточного аустенита. Образовавшись, новая структура при дальнейшей работе на трение претерпевает изменения, кинетика которых определяется условиями работы на трение [1].

Аустенит трения может быть устойчивым:

- 1) если при микродиффузионном превращении образовавшийся из исходного мартенсита аустенит обогащен углеродом и карбидами;
- 2) если многочисленные центры кристаллизации – мелкодисперсные карбиды – растворены в γ -фазе;
- 3) если в условиях пластической деформации в участках на поверхности, которые подвергаются всестороннему сжатию, тормозится превращение аустенита в мартенсит.

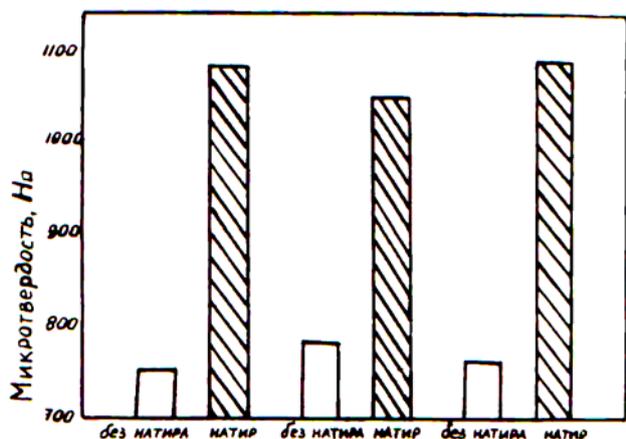


Рис. 1 Гистограмма микротвердости в местах натиров (заштриховано) и в местах, свободных от натиров (не заштриховано).

Специфическую структуру, которая формируется при трении, называют белой зоной.

Эксперименты показали, что белая зона в виде тонкой поверхностной пленки образуется в самые начальные моменты трения. При дальнейшей работе толщина пленки увеличивается.

Металлографические исследования показали, что там, где натира нет, практически отсутствует остаточный аустенит или его крайне мало. Это обстоятельство говорит в пользу того факта, что главная причина наличия остаточного аустенита и белой зоны – это образование натиров.

Наличие белой зоны в натирах, которая представляет собой сложную гетерогенную высокодисперсную структуру, содержащую аустенит, мартенсит, карбиды, приводит к существенному повышению микротвердости в месте натиров (микротвердость повышается на 50...60 %, рис. 1).

Фазовый рентгеноструктурный анализ показал, что в областях натиров присутствует остаточный аустенит, количество которого зависит от степени натира.

То-есть это является прямым доказательством, что появление остаточного аустенита, а вместе с ним и белой зоны связано с процессами, приводящими в течение обкатки к возникновению натиров. Доказательством этого факта является отсутствие остаточного аустенита на поверхности не только до обкатки, но и после проведения обкатки в местах, свободных от натиров (таблица 1).

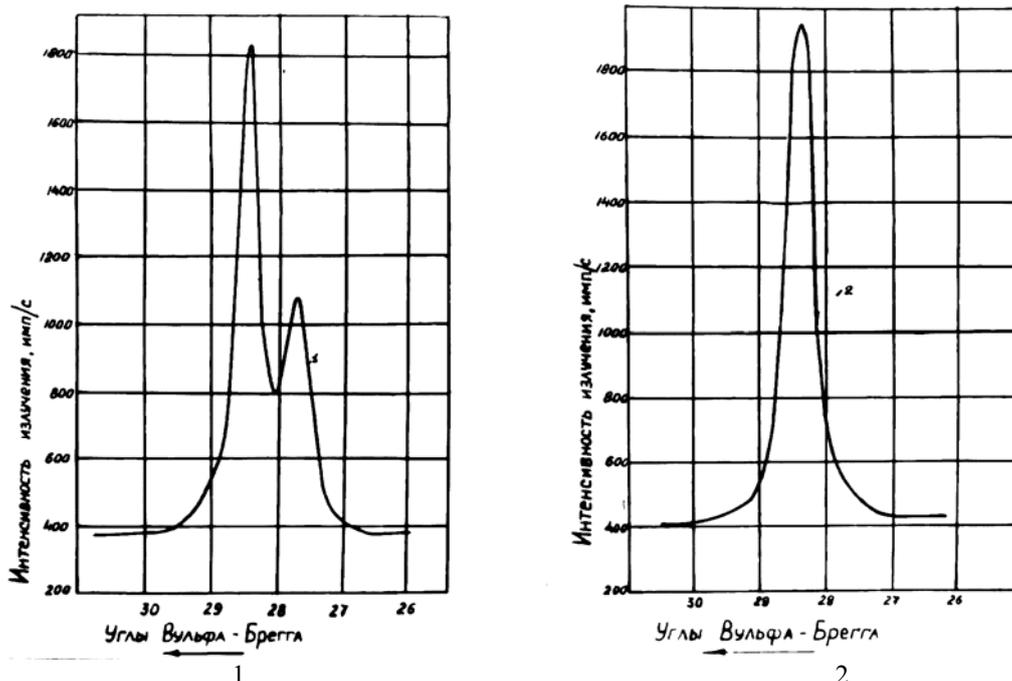


Рис. 2 Кривые распределения интенсивности по углам отражения: 1-поверхность с натирами; 2-поверхность, свободная от натиров

На рис. 2 приведены кривые распределения интенсивности по углам отражения соответственно для поверхности с сильными натирами (1) и для поверхности без натиров (2) после обкатки гильзы. На кривой 1 имеются два максимума, один из которых, приходящийся на $27^\circ 40'$ угла Вульфа-Брегга, свидетельствует о наличии остаточного аустенита.

Как видно из этого сравнения, в местах свободных от натиров отсутствуют линии, соответствующие наличию остаточного аустенита, а в местах с сильными натирами количество остаточного аустенита, подсчитанное по методу гомологических пар, составляет $\sim 29\%$.

Таблица 1

Результаты рентгеновского анализа металла в исходном состоянии, после обкатки и после стеновых испытаний 60 часов

| № п/п | Состояние металла | Количество аустенита, % |
|-------|--|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Исходное незакаленное состояние | Не обнаружено |
| 2 | Поверхность закаленной гильзы до обкатки | Не обнаружено |
| 3 | Поверхность закаленной гильзы после обкатки в местах, свободных от натиров | Не обнаружено |
| 4 | Поверхность закаленной гильзы после обкатки в местах со слабыми натирами | ~ 8 |
| 5 | Поверхность закаленной гильзы после обкатки в местах со средней степенью натиров | ~ 15 |
| 6 | Поверхность закаленной гильзы после обкатки в местах с сильными натирами | ~ 30 |
| 7 | Поверхность закаленной гильзы после стеновых испытаний в течение 60 часов в местах с сильными натирами | ~ 22 |

Выводы. Появление натиров на поверхности связано с возникновением высоких локализованных температур, имеющих место при обкатке двигателя. Наличие аустенита трения в структуре способствует формированию белой зоны. Количество образовавшегося аустенита трения находится в прямой связи со степенью натира. белая зона, которая образуется в результате импульсного воздействия на материал при обкатке, сопровождающейся трением, растворением карбидов и закалкой, является нежелательной. В процессе обкатки может происходить как генерация остаточного аустенита, так и его уменьшение за счет его распада при нагреве ниже критических температур и последующего охлаждения, а также за счет выноса продуктов износа с рабочей поверхности. В связи с этим рекомендуется проводить обкатку двигателя по такому режиму, чтобы уменьшить количество образующихся натиров, которые в ряде случаев приводят к задирам и выходу двигателя из строя.

Литература

- 1 Б.Д. Грозин. Структура и деформация внешних слоев металла, работающих в условиях трения. Сб. "Повышение износостойкости и срока службы машин", Киев, "Наукова думка", 1998, 165 с., с илл.

УДК 621.797

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ, И ЭТАПЫ ДОСТИЖЕНИЯ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА.

Марченко М. В.

(г. Харьков, Украина)

In work foreign experience on improvement of quality of made production is analyses. Recommendations for stage-by-stage improvement of quality of let out production also are given.

Как показывает опыт предприятий при выпуске продукции с недостаточным уровнем качеством производитель несёт значительные финансовые убытки. Так, от 15 до 30% годового дохода теряется на покрытие затрат в следствии низкого качества и кроме того, 30% зарплаты служащих уходит на проверку результатов их труда и исправление ошибок, чтобы обеспечить передачу следующему исполнителю только надёжных результатов. По данным зарубежных исследователей на многих фирмах издержки вследствие низкого качества изначально составляют около 25% стоимости акций, 25% трудозатрат и около 40% производственной площади и товарно – материальных запасов.

Улучшение качества выпускаемой продукции увеличивает доходы на 50%; значительно сокращает отходы производства; увеличивает общий объём производства на 20% без строительства новых корпусов и закупки специального технологического оборудования; расширяет опытно – конструкторскую деятельность на 20% без

увеличения инженерных кадров; сокращает сверхурочную работу с 30 до 2%.

Целью настоящей работы является обобщение зарубежного опыта по повышению качества производимой продукции и его эффективности.

Преимущества повышения качества более конкретно представлено на примере фирмы "Стакович" Калифорния США. Благодаря повышению качества выпускаемой продукции она добилась следующих результатов:

- издержки вследствие низкого качества сократились на 44%;
- производительность труда возросла на 8%;
- объём реализации продукции увеличился на 27%;
- производственный брак сократился почти до нуля;
- количество работающих сократилось в одиннадцати подразделениях на 30% без их увольнения;
- валовая прибыль возросла на 124%;
- количество годной продукции, принимаемой ОТК, возросла на всех производственных участках (в цехе металлоконструкций с 75 до 96%, в литейном цехе с 72 до 98%). Объём годной продукции увеличился на 17%, а прямые трудозатраты сократились на 50%);
- сверхурочная работа сократилась на 91%.

О.К. Буало, президент корпорации "Дженерал дайнэмика", приводит ещё один пример. Отделение "Форт уорт" сократило производственные издержки вследствие выпуска некачественной продукции на 58% и получило за 4 года экономии в 37 млн. долл. По мнению Буало, причина состояла в решении задач повышения качества.

Для повышения качества выпускаемой продукции предприятию необходимо провести ряд исследований, для выяснения причин возникновения брака в изделии. При исследовании проблемы рекомендовано пройти пять чётких стадий.

Стадия выбора проблемы. Первая стадия цикла заключается в выборе проблемы (или возможности улучшения), которая связана с каким-то узким местом в производстве или излишними потерями на каком либо участке. Чтобы начать исследования проблемы, необходимо составить список возможных проблем. Затем надо собрать данные, характеризующие важность каждой проблем. Самый важный шаг в решении проблемы – осознание, что она есть. Для выбора первоочередных проблем используется принцип Парето. Согласно этому принципу «немногочисленные серьезные ошибки» составляют большую часть проблемы (70-80 %). На рис. 1 показана типичная диаграмма Парето.

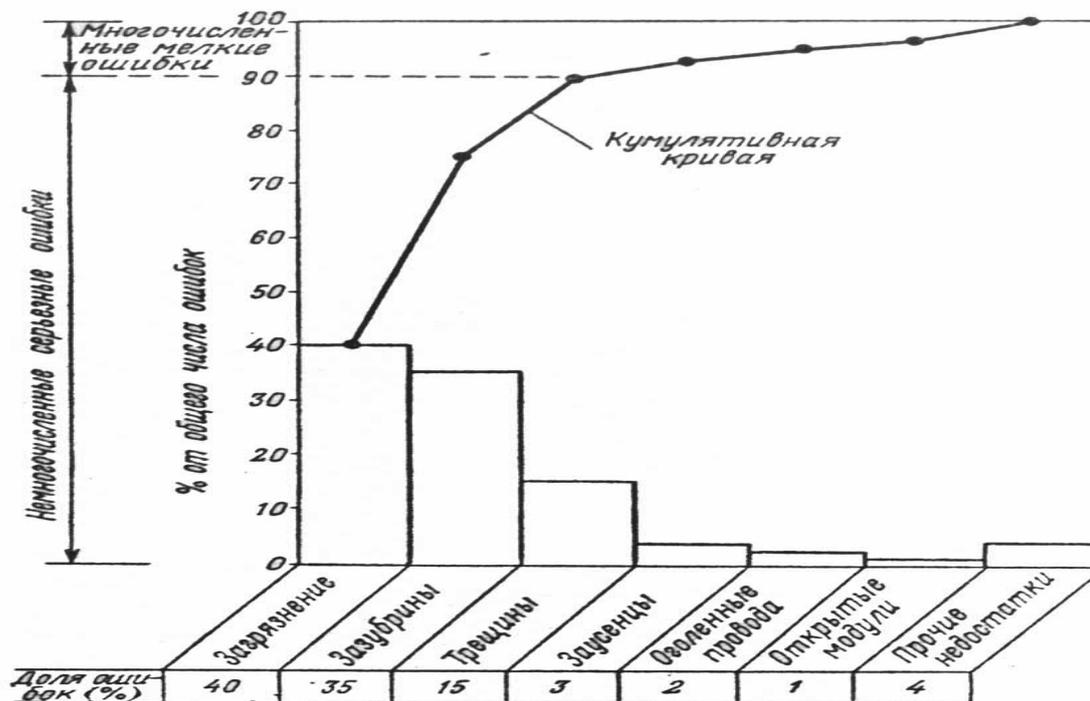


Рис. 1 Типичная диаграмма Парето

На диаграмме Парето вертикальные столбцы представляют собой графическое изображение различных проблем, относящихся к деятельности предприятия, к продукции или какой-то ситуации. Классификация проблем формируется таким образом, чтобы расположить столбцы слева направо в порядке убывания значимости проблем. Кумулятивная кривая представляет собой сумму ординат столбцов.

Как видно из диаграммы, 90 % ошибок (немногочисленные, но серьезные ошибки) вызываются только тремя источниками ошибок (загрязнением, забуринками и трещинами). Остальные 10 % проблем (многочисленные мелкие ошибки) должны решаться после того, как будут исправлены немногочисленные серьезные ошибки.

В данном конкретном примере для построения диаграммы Парето использовалось количество случаев возникновения проблем в течение данного промежутка времени. Однако зачастую количество ошибок может оказаться ориентирующим критерием, и надо учитывать потери. Например, загрязнение можно легко устранить, потратив всего лишь по одной копейки на каждую деталь, но наличие трещины может привести к тому, что деталь стоимостью 100 грн. придется выбросить. Если не решить проблему устранения загрязнения, то можно сэкономить всего лишь 40 грн. на каждой сотне деталей, но если уменьшить хотя бы половину количество трещин, сэкономиться 750 грн. за каждую сотню деталей.

Стадия анализа. На следующем этапе проводится тщательный анализ для получения как можно более полной информации о проблеме. Прежде всего следует тщательно проверить достоверность всех собранных данных. Это важная мера, поскольку зачастую неточные данные могут привести к большим неоправданным затратам. После проверки обоснованности базовых данных определяют механизм ошибки. Это может потребовать проведения тщательного анализа причин на дефектном изделии или выполнения экспериментов в контролируемых условиях для выявления источника проблемы.

Стадия корректировки. После установления глубинной причины ошибки предприятие может приступить к разработке плана предотвращения повторного возникновения проблемы. Стадия корректировки состоит из шести этапов:

1. Принятие временных мер, если это возможно.
2. Выработка альтернативных решений.
3. Выбор наилучшего решения. Из двух-трех наиболее перспективных решений выбирают оптимальное с помощью тщательного анализа последствий.
4. Разработка плана реализации решения, который должен содержать график его выполнения, с указанием сроков.
5. Получение одобрения руководства.
6. Реализация плана.

Стадия оценки результатов. Необходимо оценить результаты корректирующих воздействий, чтобы убедиться в эффективности решения проблемы. В противном случае предприятие должно вернуться к началу стадии корректировки и разработать альтернативный подход. Если мероприятия кажутся успешными, предприятие должно подготовить итоговый отчет с описанием проблемы, методов, используемых для ее корректировки и достигнутых результатов в области повышения качества и производительности труда и снижения потерь.

Стадия предотвращения проблемы. После решения проблемы предприятие вступает в стадию предотвращения проблемы. Эта конечная стадия позволяет добиться глобального решения на основе опыта, приобретенного в процессе решения единичной проблемы. Это, по-видимому, самая трудная стадия цикла, имеющая целью изменить систему таким образом, чтобы навсегда исключить проблемы из будущей деятельности.

Цикл обеспечивает систематический подход к решению проблем и предотвращению их повторного возникновения. Слишком часто выбирается проблема, анализируется её первопричина, проводится воздействие для ее устранения, а затем переходят к следующей проблеме без оценки эффективности воздействия и применения полученных знаний в других ситуациях. Предотвращения ошибок можно добиться путем применения полученных знаний, не за счет решения отдельных проблем.

Максимальную информацию о качестве выпускаемой продукции дают испытания проводимые на предприятии. Современные стандартные испытания механических свойств материала всё чаще не удовлетворяют производство (в большей степени это касается литейного производства). Даже в хорошо организованных литейных цехах результаты лабораторных испытаний отстают от скорости производства, и от этого их ценность теряется. Для производства необходимо использование экспрессных, надежных методов, позволяющих исключить отклонения в физико-механических свойствах отливок, которые могут впоследствии проявить себя неблагоприятно при применении деталей в машинах и механизмах. Одним из перспективных методов для определения механических свойств является метод неразрушающего контроля качества.

Объектами неразрушающего контроля могут быть изделия металлургической промышленности, детали механизмов, приборов, аппаратов и машин, в том числе и тракторов, судов, самолётов, материалы и полуфабрикаты, используемые в промышленности.

Для контроля качества разнообразных по форме, свойствам и значению материалов и изделий используются различные физические явления взаимодействие полей, излучений и веществ с контролируруемыми объектами. В зависимости от используемых физических явлений в настоящее время различают девять видов неразрушающего контроля: акустический, вихретоковый, магнитный, оптический, проникающих веществ, радиационный, тепловой и электрический.

Перспективными неразрушающими методами контроля физико-механических характеристик чугуна в исходном состоянии и после термических обработок могут быть магнитные и электромагнитные методы.

Метод неразрушающего контроля по коэрцитивной силе, даёт большое количество информации о выпускаемой продукции (для каждого химического состава своя зависимость “твёрдость – коэрцитивная сила”), наличие пор, ликвационные явления, неметаллические включения, фазовый состав, форма, распределения и количество графита.

Также отличительной особенностью данного метода является то, что можно произвести контроль всей продукции в отличие от обычного разрушающего метода, где он производится выборочно. Выборка даёт информацию об изделиях путём измерения показателей лишь части изделий, т. к. проведение полных исследований является дорогостоящим и трудоёмким.

Нерзрушающий метод позволяет в кратчайшие сроки получить необходимую информацию без применения сложной техники. Обладая необходимой информацией можно корректировать технологический процесс и значительно снизить выход брака при начальных стадиях производства.

Для того чтобы наладить выпуск качественной продукции необходимо внедрить цикл управления процессом.

На первоначальном этапе деятельности необходимо «подчинить процесс», ввести его в состояние контроля, а затем приступить к проведению мероприятий по его усовершенствованию.

Развитие типичного процесса проходит 4 различных этапа:

Этап 1: процесс не находится в состоянии контроля,

Этап 2: процесс стабилен.

Этап 3: поэтапное усовершенствование процесса.

Этап 4: постоянное усовершенствование процесса.

Этап 1: процесс не находится в состоянии контроля. На этом этапе своего развития процесс часто выходит из-под контроля, что показано на рис. 2 небольшими кружками. Первоочередной задачей группы по усовершенствованию процесса является выявление истинной причины каждого случая выхода процесса за установленные пределы и контроль тех элементов, которые их вызывают. Зная и контролируя эти элементы, предприятие начинает понимать процесс, который затем стабилизируется и переходит в этап 2, на котором можно решать часто возникающие проблемы.

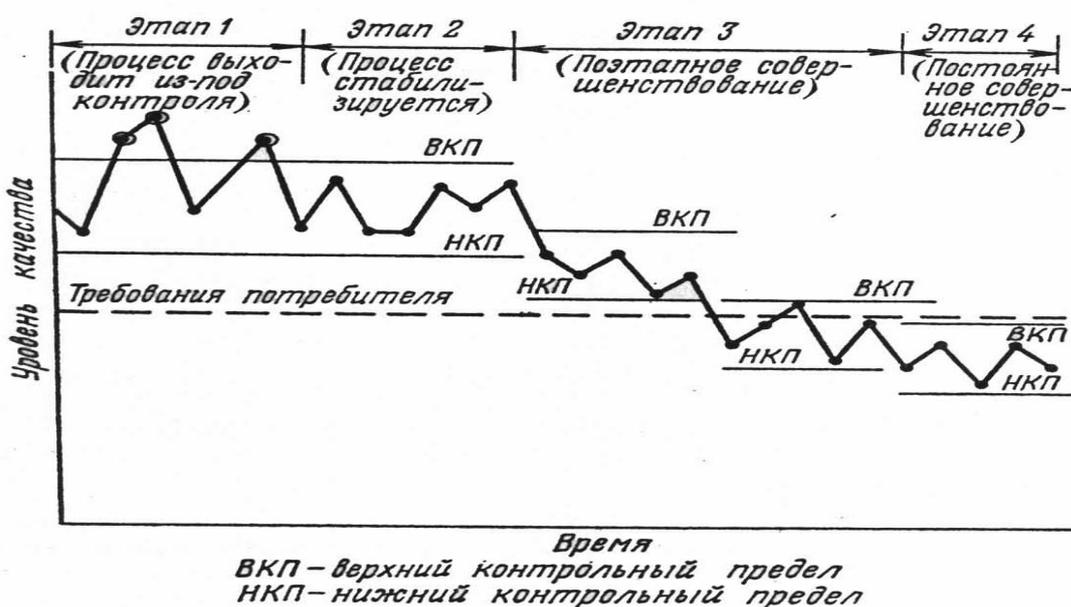


Рис. 2. Цикл управления процессом

Решению хронических проблем должно всегда предшествовать «подчинение» процесса.

Этап 2: процесс стабилен. Для этого этапа характерна статистически стабильная характеристика процесса, однако он еще не обеспечивает результаты, удовлетворяющие требованиям потребителя. Приведение процесса в состояние стабильности является значительным достижением, однако это еще не решение проблемы. Стабилизация процесса является лишь отправной точкой, ориентирующей группу по усовершенствованию на систематическое решение хронических проблем посредством разработки плана мероприятий, обеспечивающих выходной результат процесса, отвечающий требованиям потребителей.

Этап 3: поэтапное усовершенствование процесса. Когда процесс находится в состоянии контроля, необходимо тщательно проанализировать и определить первоочередные направления его усовершенствования. Такой анализ должен проводиться с учетом затрат, возможностей внедрения предполагаемых мероприятий и расчетного эффекта. После этого разрабатывается план, обеспечивающий поэтапное внедрение предложений по усовершенствованию процесса и его оценки (см. рис. 3). На этом рисунке показано проведение четырех различных поэтапных мероприятий, направленных на оптимизацию запасов материалов до уровня, приемлемого для потребителя и отвечающего его требованиям.

После каждого мероприятия дается время на стабилизацию процесса. Представляется весьма важным проведение оценки влияния каждого мероприятия на весь процесс. Например, мероприятие 3 (введение стандартных контейнеров для хранения) имело отрицательное влияние на весь процесс, так как привело к увеличению затрат. Если бы четыре изменения были внедрены с подобным эффектом, процесс отвечал бы требованиям потребителя, однако стоимость контейнеров, используемых в ходе всего процесса, стала бы дороже.

Этап 4: постоянное усовершенствование процесса. Если имеющиеся статистические данные подтверждают, что результат процесса отвечает требованиям потребителя, мы можем быть уверены, что так будет и дальше. Однако не следует забывать, что требования потребителя постоянно возрастают и то, что устраивает его сегодня, может не удовлетворить через 6 месяцев даже при неизменности качества поставляемой продук-

ции. Поскольку удовлетворение изменяющихся требований потребителей является весьма сложной задачей, процесс должен постоянно совершенствоваться. По этой причине данный этап иногда называют этапом постоянного совершенствования.

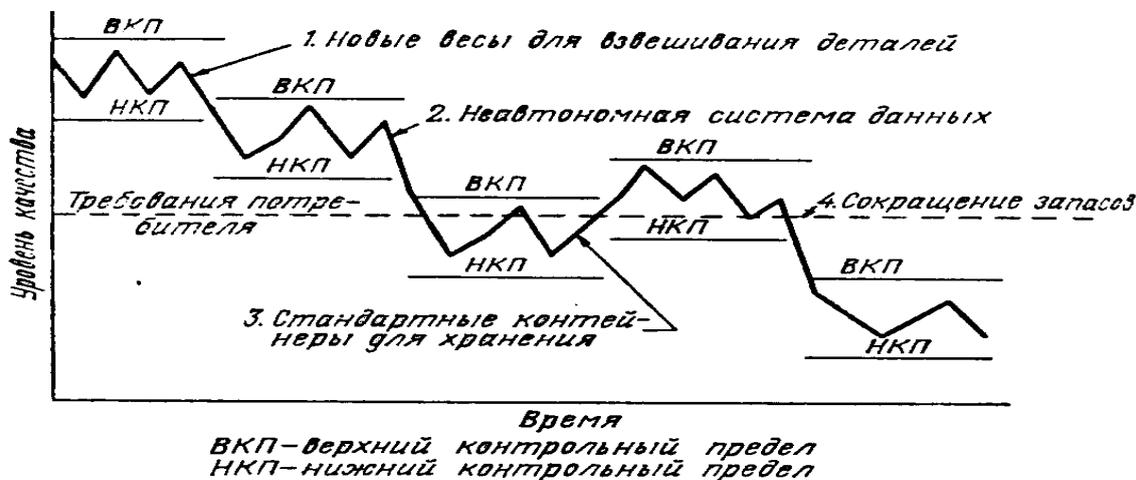


Рис. 3. Цикл управления процессом

Проведённый анализ позволяет использовать поэтапные рекомендации для проведения исследований по совершенствованию методов контроля качества с учётом эффективности такой оценки. Эти рекомендации планируется использовать при разработке неразрушающего контроля гильз цилиндров. Однако помимо обеспечения стабильных свойств метод и выявленные критерии должны характеризовать истинное состояние материала.

Литература

1. Деминг. В. Едвардс Выход из кризиса: /Пер. с англ./ Передисл. Н. Зименкова, М. Ефимова/. – Тверь: Альба, 1994. – 497 с.
2. Харрингтон Дж. Управление качеством в американских пропорциях. – М.: Экономика. 1990. – 272 с.
3. Исикава Каору Японские методы управления качеством: сокр. пер. с англ. – М.: Экономика. 1988. – 216 с.
4. Фейнгенбаум Арманд В. Контроль качества продукции. – М.: Экономика. 1986. – 471 с.

УДК 621.91.01

УЛУЧШЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Солнцев Л.А., канд. техн. наук, проф., Мощенко В.И., канд. техн. наук, доц.,
Лалазарова Н.А., канд. техн. наук, доц.
(г. Харьков, Украина)

For improving of high-strength spheroidal graphite cast iron with difinite inhomogeneity use different cutting fluid.

Всё более широкое применение в качестве материала деталей двигателей тракторов и комбайнов находит высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), который сочетает технологичность серого чугуна с комплексом свойств более высоких, чем у ковкого чугуна и в ряде случаев даже литой и кованой стали [1]. Современный уровень развития техники требует применения высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, имеющих высокий уровень конструкционной прочности, а именно: высокую твёрдость и прочность в сочетании со значительной пластичностью и ударной вязкостью. ВЧШГ имеет широкий диапазон эксплуатационных свойств. Высокопрочный чугун может иметь разнообразный комплекс свойств благодаря наличию большого количества структур металлической матрицы, которые создаются различными видами термической обработки.

Однако процесс внедрения чугуна сдерживается в немалой степени недостаточностью исследований, связанных с обрабатываемостью этих чугунов. Обрабатываемость резанием представляет комплекс технологических характеристик, в совокупности определяющий эффективность обработки материала. Она является важнейшим фактором, влияющим на производительность, качество и себестоимость продукции. Основными факторами самого чугуна, влияющими на его обрабатываемость, являются: неоднородность, микроструктура и твёрдость чугуна [2]. Однако обрабатываемость чугунов зависит не только от их структуры и свойств, но и от свойств материала инструмента, его геометрии, режимов резания, наличия смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и других факторов. В связи с этим существует и множество путей улучшения обрабатываемости, которые заключаются в изменении микроструктуры самого чугуна, снижении его прочности и твёрдости, облегчении процесса стружкоотделения, снижении напряжённости процесса резания, повышении стойкости ин-

струмента и т.д.

Обрабатываемость материала в немалой степени зависит не только от марки инструментального материала, а и от качества его изготовления. Улучшить качество твердосплавных пластин можно путём совершенствования технологии изготовления (спекания, шлифования, нанесения износостойких покрытий), либо введением дополнительных отделочно-упрочняющих операций (термической, гидростатической, дробеструйной, виброабразивной обработок).

Очень эффективным и наиболее дешёвым методом повышения обрабатываемости является применение смазывающе-охлаждающих жидкостей. Современные СОЖ - это сложные многокомпонентные системы. Наиболее распространённые группы СОЖ: масляные жидкости, водные эмульсии, минеральные масла и синтетические жидкости. В отдельных случаях используют также консистентные смазки или пасты с графитом, дисульфидом молибдена и т.д. Основные функциональные свойства СОЖ: смазывающее, диспергирующее, охлаждающее и моющее.

Один из основных аспектов влияния СОЖ состоит в образовании различных по своей физико-химической природе плёнок. Образующаяся плёнка экранирует поверхность контакта обрабатываемого материала и инструмента, снижает интенсивность адгезионного взаимодействия трущихся поверхностей, уменьшает силы резания и повышает стойкость режущего инструмента. СОЖ активно отводит тепло из зоны резания, способствует стружкодроблению. Так как в номенклатуре деталей, изготавливаемых из высокопрочного чугуна, большое количество корпусных изделий, значительную часть механической обработки которых составляют операции сверления и резбонарезания, то применение СОЖ может значительно повысить эффективность резания.

Применение смазывающе-охлаждающих жидкостей с целью интенсификации механообработки деталей из ВЧШГ пока не нашло широкого применения. В различных работах рекомендуется использовать для лезвийной обработки деталей из ВЧШГ 5-ти % раствор Укринол-1, 5-ти% раствор ИХП-45, 100% состав ОСМ-3. Наибольшее снижение осевой силы резания, момента сверления и повышение стойкости инструмента при сверлении обеспечивает СОЖ Укринол-1, а при нарезании резьбы – ОСМ-3.

Эти СОЖ позволяют повысить обрабатываемость деталей из чугуна. Однако нельзя считать их наиболее эффективными для обработки именно этой группы чугунов, так как исследованиями не охвачена значительная группа жидкостей с более высоким уровнем функциональных свойств. Это полимерсодержащие многофункциональные жидкости, использование которых при обработке деталей из ВЧШГ является перспективным [3].

Исследовали чугун следующего химического состава: 3,3-3,8% С; 2,4-3,2% Si; C+1/3 Si=4,25-4,35%; 0,004-0,007% S; 0,5-0,9% Mn; 0,045-0,008% P; 0,05-0,1% Cr; 0,1-0,15% Ni; 0,04-0,09% Mg. Исследования проводились

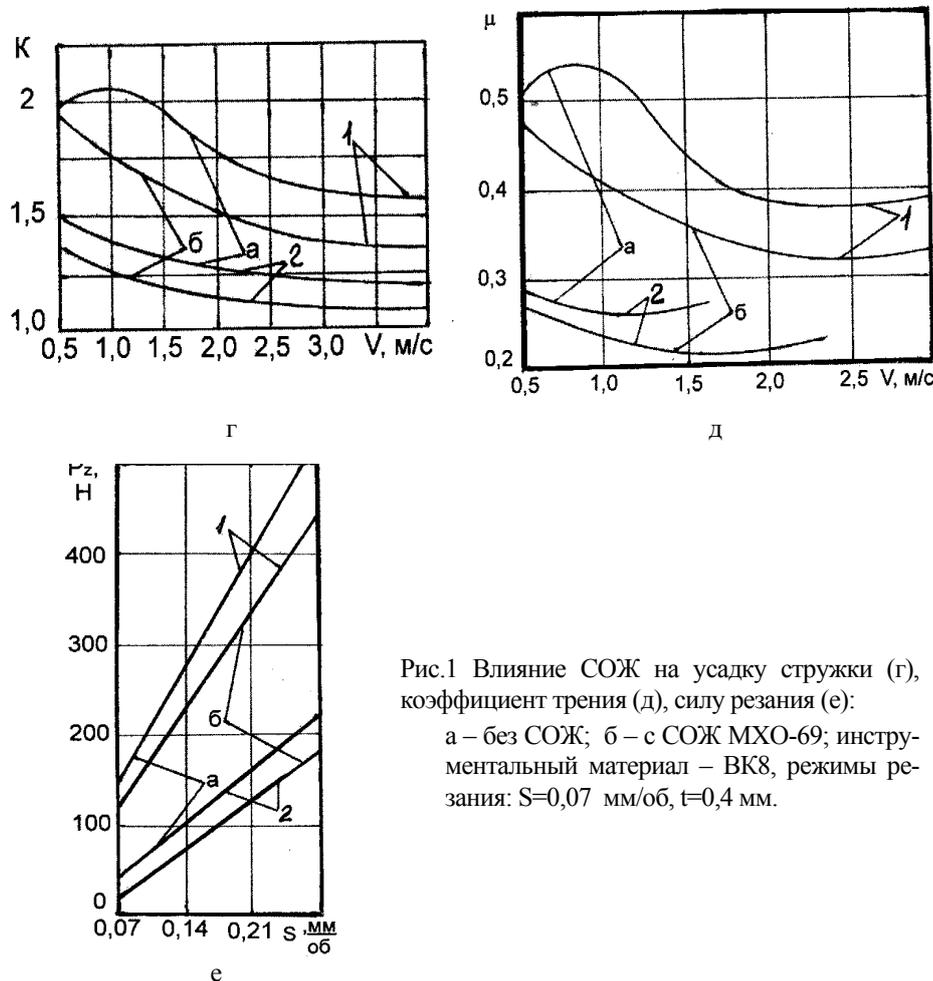


Рис.1 Влияние СОЖ на усадку стружки (г), коэффициент трения (д), силу резания (е): а – без СОЖ; б – с СОЖ МХО-69; инструментальный материал – ВК8, режимы резания: S=0,07 мм/об, t=0,4 мм.

на чугунах в литом состоянии (№1) и после термической обработки (№2). Чугун подвергли термической обработке - закалке из межкритического интервала по режиму: нагрев до 860°C, выдержка 1,5 часа, охлаждение в воде и отпуск: выдержка при 220°C в течение 2-х часов и охлаждение на воздухе. Структура чугуна: в литом состоянии – крупнопластинчатый перлит и феррит в виде оторочки вокруг графитовых включений, твёрдость – 210-220 НВ; после термической обработки структура - шароидный графит и мелкодисперсный мартенсит отпуски, твёрдость чугуна – 470-480 НВ. Исследования обрабатываемости проводились на цилиндрических образцах диаметром 70 мм. В качестве инструментального материала режущих пластин использовали твёрдый сплав марки ВК8. В качестве СОЖ использовали полимерсодержащую

жидкость марки МХО-69. Проводились исследования влияния СОЖ на основные характеристики процесса резания: коэффициент трения, силы резания, коэффициент усадки стружки. Обработка осуществлялась на чистовых режимах.

Полимерсодержащая СОЖ облегчает пластическую деформацию (рис.1, г) и разрушение чугуна: наблюдается снижение коэффициента усадки стружки, изменяется характер стружкообразования. Так как пластическая деформация при отделении стружки в среде МХО-69 концентрируется в более тонком поверхностном слое, по сравнению с обработкой без СОЖ, и имеет более низкие значения, то это способствует диспергированию стружки, что улучшает условия её удаления из зоны контакта. При использовании СОЖ МХО-69 изменяется также характер протекания контактных процессов, которые характеризуются в полной мере коэффициентом трения. При обработке с СОЖ наблюдается его значительное снижение (рис.1, д). СОЖ заполняет все углубления между неровностями на передней грани резца, образуя гладкую поверхность, представляющую собой гидравлическую опору для сходящей стружки. Жидкость является граничным слоем между контактной поверхностью стружки и передней гранью резца. Сила сопротивления перемещению стружки по резцу при смазке определяется не только свойствами контактной поверхности стружки, а ещё и свойствами смазывающего вещества (трение при смазке в процессе резания представляет собой по существу полужидкостное трение). Процесс трения на передней грани резца можно рассматривать как непрерывный процесс пластической деформации металла в зоне трения, а силу трения считать сопротивлением сдвигу, величина которого определяется свойствами деформируемого металла в этой зоне и площадью контакта стружки с резцом. Введение в зону резания полимерсодержащей СОЖ приводит к уменьшению силы резания, степени пластической деформации металла в зоне сдвига (уменьшению усадки стружки), площади контакта стружки с передней гранью резца. Изменение этих факторов приводит к увеличению нормальных удельных давлений на передней поверхности. Если представить коэффициент трения как отношение касательного и нормального напряжений, то увеличение нормального удельного давления неизменно ведёт к уменьшению коэффициента трения. Исследования передней поверхности резца из твёрдого сплава ВК8 после точения чугуна в среде МХО-69 не выявили наличия застойной зоны на резце. Наличие смазки между контактной поверхностью стружки и передней гранью резца устраняет полностью или частично влияние сил адгезии, т.е. процессы наростообразования.

Применение полимерсодержащей СОЖ влияет на характеристики процесса резания (снижает уровень значений усадки, сил резания, коэффициента трения), тем самым снижается роль неоднородности как основного фактора обрабатываемости. Применение полимерсодержащей жидкости так же приводит к изменению параметров шероховатости. Это связано с уменьшением уровня значений сил резания, температуры и коэффициента трения. Особенно наглядно это проявляется при обработке чугунов твёрдыми сплавами. Применение СОЖ позволило повысить обрабатываемость высокопрочного чугуна, например скорость резания, в 1,4 раза (табл. 1) и снизить высоту неровностей (табл. 1).

Таблица 1

| Материал инструмента и марка СОЖ | Чугун твёрдостью 210-220 НВ | | Чугун твёрдостью 470-480 НВ | |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Скорость резания, м/с | Шероховатость, R_a , мкм | Скорость резания, м/с | Шероховатость, R_a , мкм |
| ВК8 | 1,5 | 2,7 | 0,7 | 4,0 |
| Обработка ВК8 с СОЖ МХО-69 | 2,1 | 1,6 | 1,0 | 3,0 |

Литература

1. Чугун: Справочное издание / Под ред. Шермана А. Д. И Жукова А. А. - М.: Металлургия, 1991. - 576с.
2. Лалазарова Н.А. Влияние неоднородности высокопрочного чугуна на его обрабатываемость резанием // Вестник ХГАДТУ. – 2000. №12-13. С. 86-87.
3. Устрехова О.А. Активизация процессов механической обработки металлов в результате действия полимерсодержащих сред: Дис... канд. техн. наук.-Львов, 1981. – 127с.

УДК 621.793.

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭИО ЭЛЕКТРОДАМИ С РАЗЛИЧНЫМ СОСТАВОМ

Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д.

(г. Харьков, Украина)

In article the electro- spark processing of parts repairation by electrodes with the different carbon and chrome concentration is considered. Graphic and mathematical solutions of anode erosion and additional weight of cathode at ESP are led.

Одним из перспективных методов восстановления деталей машин из углеродистых, низколегированных и легированных материалов является метод электроискровой обработки (ЭИО), который обеспечивает наращивание изношенного слоя до 1,0мм (90% деталей имеют такой износ) и не изменяет линейных размеров и качество сердцевины предварительно упрочненных деталей. Поскольку в существующей практике длинномерные детали чаще всего восстанавливают железнением или хромированием, то поиск эффективного материала анода ограничили теми же сплавами, из

которых изготовлены детали, а также хромистыми – относительно не дефицитными в сравнении с твердыми сплавами, например – Т15К6, при этом учитывали требования к твердости покрытий деталей, работающих в сопряжении.

Выбор материала электрода [1, 2] неразрывно связан с материалом восстанавливаемой детали и требованиями, предъявляемыми к ней. При этом существенное влияние оказывает химический состав анода, который определяет эксплуатационные показатели (уровень физико-механических свойств, износостойкость, склонность к выкрашиванию, прочность сцепления нанесенного слоя с металлом восстановленной детали). Учитывая это,

рассмотрели взаимосвязь суммарного привеса катода - детали ($\sum_{i=1}^n \Delta k_i$) от энергии импульса обработки и материала анода - электрода. Для исследований выбраны сплавы на основе железа с различным содержанием углерода и хрома (табл. 1), которые применяют для изготовления деталей машин.

Обработку проводили по двум режимам: $E=0,9$ Дж; $E=3,4$ Дж. Установлено, что с увеличением энергии импульсов $E_1 \rightarrow E_2$ привес катода возрастает для всех трех групп исследуемых материалов (углеродистых сталей, высокоуглеродистых сплавов и легированной стали - см. табл. 1).

Из приведенных данных видно, что суммарная эрозия анода и привес катода при ЭИО имеют тенденцию к увеличению в материалах, у которых температура плавления ниже (сходственная температура обработки выше), и в большей мере интенсифицируются процессы диффузии.

В низкоуглеродистых легированных сталях $\sum_{j=1}^n \Delta a$ и $\sum_{j=1}^n \Delta k$ самые низкие, в углеродистых выше и наиболее высокие показатели соответствуют заэвтектоидным сталям и чугунам. Рост этих показателей более существенный при минимальных значениях энергии импульса $E=0,9$ Дж, когда в прогрев восстанавливаемого слоя при обработке существенный вклад вносит температура плавления обрабатываемого материала.

Таблица 1.

Суммарная эрозия анода и привес катода при ЭИО различных материалов электродом с содержанием 17,0% Cr и 1,0%С (сплав 100X17) при количестве проходов $n=3$

| Материал катода | Привес катода, $\sum_{j=1}^n \Delta k \times 10^{-2}, \text{г/см}^2$ | Эрозия анода, $\sum_{j=1}^n \Delta a \times 10^{-2}, \text{г/см}^2$ | Энергия импульса, Е, Дж |
|-----------------------|---|--|----------------------------|
| Углеродистые стали: | | | |
| Ст.3, | 0,5 | 1,5 | 0,9 |
| | 1,2 | 3,0 | 3,4 |
| Сталь 45 | 0,5 | 1,5 | 0,9 |
| | 1,2 | 3,0 | 3,4 |
| Сталь 40X | 0,6 | 1,5 | 0,9 |
| | 1,2 | 3,0 | 3,4 |
| Заэвтектоидная сталь: | | | |
| ШХ-15 | 0,6 | 1,7 | 0,9 |
| | 1,3 | 3,1 | 3,4 |
| Чугуны: | | | |
| Серый чугун | 0,6 | 1,8 | 0,9 |
| | 1,3 | 3,2 | 3,4 |
| Легированный чугун | 0,6 | 1,9 | 0,9 |
| | 1,3 | 3,2 | 3,4 |
| Легированная сталь: | | | |
| 20X1M1Ф1ТР | 0,5 | 1,4 | 0,9 |
| | 1,2 | 2,9 | 3,4 |

При этом повышение $\sum_{j=1}^n \Delta a$ не превышает 20%, а – величины $\sum_{j=1}^n \Delta k$ достигает ~36%. Обработка с энергией

импульса $E=3,4$ Дж в меньшей мере влияет на $\sum_{j=1}^n \Delta a$ (увеличение не превышает 8,3%) и $\sum_{j=1}^n \Delta k$ (увеличение не превышает 10,3%) при использовании различных материалов. С увеличением энергии импульса от 0,9 до 3,4Дж привес катода в зависимости от обрабатываемого материала возрастает в 2,0–2,4раза, эрозия анода в 1,68–2,07 раза.

Известно, что наиболее качественный наращиваемый слой достигается при условии, когда используются одинаковые материалы для анода и катода (коэффициенты линейного расширения равны).

При электроискровом наращивании металла перенос вещества с анода на катод происходит в жидкой и газообразной фазах, поэтому процесс не является стабильным и можно ожидать формирование различных фаз, доля которых будет существенно изменяться даже на отдельных участках покрытия детали. В связи с этим структуру и фазовый состав материала анода не изучали. Для оценки структурообразования и качества покры-

тия провели комплексные исследования с использованием современных методик, подробно рассмотренных во второй главе данной работы.

Было признано целесообразным оценить эффективность и качество покрытий из хромистых и твердых сплавов. Для исследований в качестве анода были выбраны легированные сплавы, которые обеспечивают высокую износостойкость, и приведены в табл. 2.

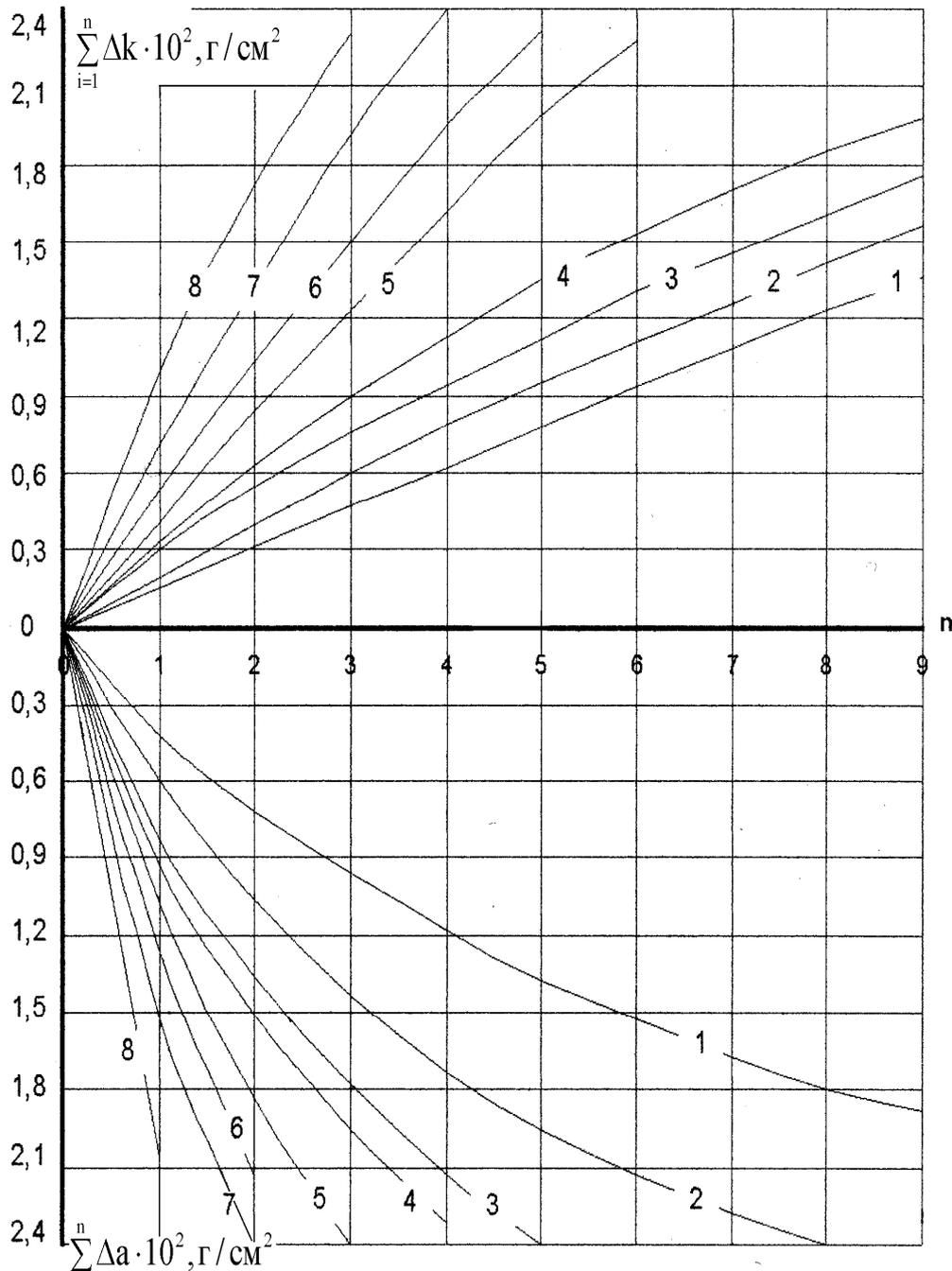


Рис. 1. Изменение массопереноса при фиксированной концентрации углерода (1,5%) и различном содержании хрома: 1, 3, 5, 7 - при $E=0,9\text{Дж}$; 2, 4, 6, 8- при $E=3,4\text{Дж}$; образец 10- кривые 1, 2 (30% Cr); образец 7- кривые 3, 4 (20% Cr); образец 11- кривые 5, 6 (15% Cr); образец 9- кривые 7, 8 (10% Cr).

Хромистые сплавы отличаются содержанием (в широких пределах) хрома и углерода. Такой набор материалов выбран для того, чтобы оценить роль карбидообразования, возможность формирования различных упрочняющих фаз при нанесении покрытий. При разработке оптимальных параметров наращиваемого слоя, очень важно знать не только влияние каждого фактора в отдельности, но и – совместное. Известно, что в ряде случаев взаимное влияние может оказаться более значимым, чем роль каждого фактора в отдельности.

Для изучения явления массопереноса и связи между параметрами были определены зависимости суммарной эрозии анода - $\sum_{j=1}^n \Delta a$ и привеса катода - $\sum_{j=1}^n \Delta k$ после ЭИО. Полученные зависимости приведены на рис. 1 и 2.

Таблица 2.

Специально изготовленные хромистые сплавы, использованные в качестве анода при ЭИО

| Номер сплава | Содержание компонентов, % | |
|--------------|---------------------------|------|
| | C | Cr |
| 1 | 2,5 | 30,0 |
| 2 | 0,5 | 10,0 |
| 3 | 2,5 | 10,0 |
| 4 | 0,5 | 30,0 |
| 5 | 0,5 | 15,7 |
| 6 | 1,0 | 17,3 |
| 7 | 1,5 | 20,0 |
| 8 | 2,0 | 20,0 |
| 9 | 1,5 | 10,0 |
| 10 | 1,5 | 30,0 |
| 11 | 1,5 | 15,7 |
| 12 | 1,0 | 30,0 |

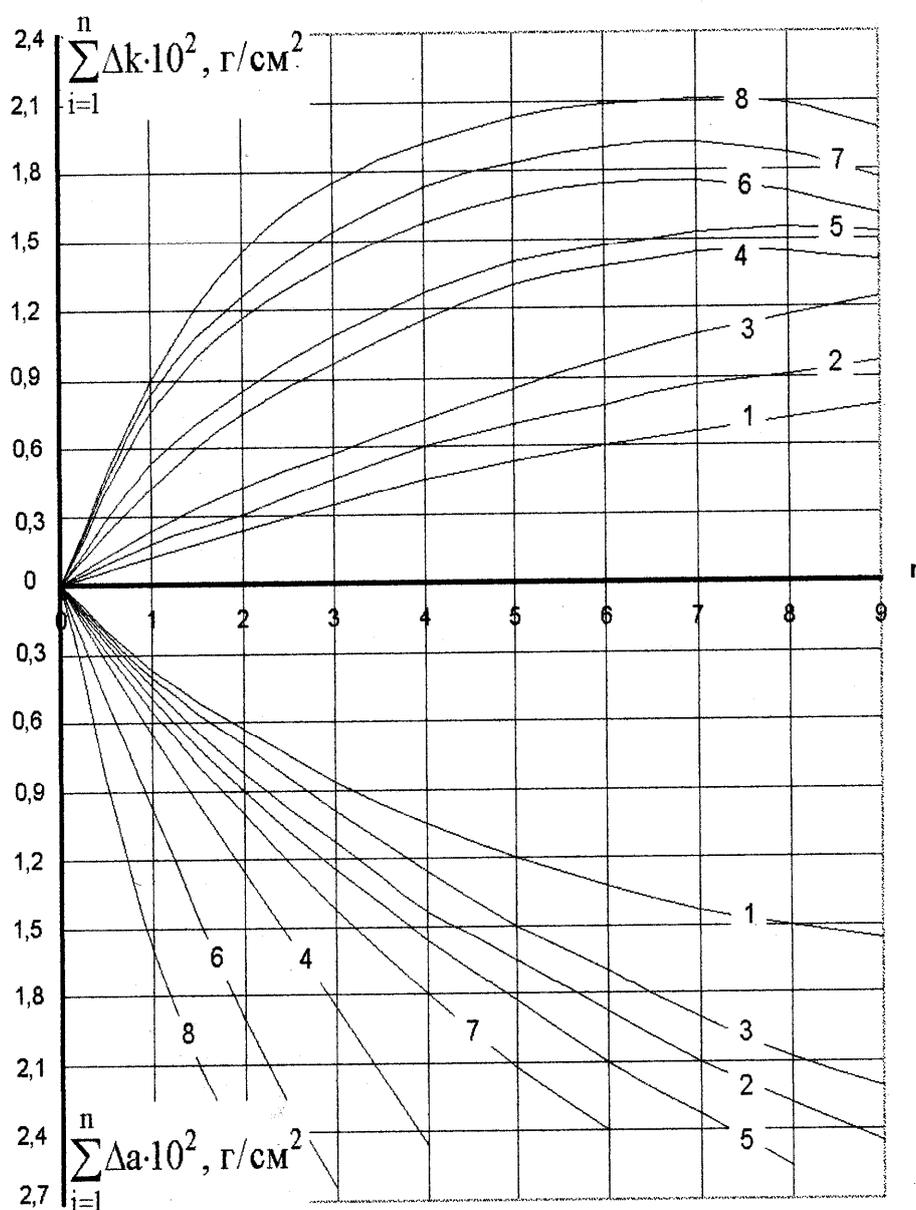


Рис. 2. Изменение массопереноса при фиксированной концентрации хрома (30,0%) и различном содержании углерода: 1, 3, 5, 7- при $E=0,9\text{Дж}$; 2, 4, 6, 8- при $E=3,4\text{Дж}$; образец 4 - кривые 1, 2; образец 12 - кривые 3, 4; образец 10- кривые 5, 6; образец 1 - кривые 7, 8.

При фиксированном значении содержания углерода, равном 1,5%, получили (см. рис. 1), что с увеличением энер-

гии импульса при обработке привес катода существенно возрастает, однако в большей мере для материалов с пониженной концентрацией хрома.

При фиксированном значении хрома, равном 30,0% (см. рис. 2) и различном содержании углерода с увеличением энергии импульса обработки возрастают привес катода и эрозия анода, аналогично зависимостям, приведенным на рис. 1. Вместе с тем необходимо отметить, что эрозия анода и привес катода возрастают с повышением концентрации углерода при одинаковых значениях числа проходов электрода и энергии импульса обработки.

С увеличением концентрации углерода возрастает доля хрупкой карбидной фазы, что способствует интенсивному росту эрозии анода [3]. На основании этих исследований подтверждается, что и в этом случае массоперенос металла с анода на катод определяется материалом анода, числом проходов электрода и энергией импульса.

Для установления зависимости влияния рассмотренных факторов использовали метод планирования эксперимента.

В качестве основных факторов были выбраны следующие: концентрация углерода - (X_1) и хрома - (X_2) в металле анода; энергия импульса, E - (X_3); число проходов электрода, n - (X_4). Каждому фактору присваивали два кодированных значения:

Для расчета математической модели (1) был принят план эксперимента 2^4 (1/2 реплики), в качестве параметра оптимизации принят привес катода $\Sigma \Delta k$ (Y), г/см². Проверка полиномиальной модели показала, что она адекватна. Незначимым оказался только фактор парного взаимодействия $X_1 \times X_2$ ($Cr \times C$). Полученная математическая модель имеет вид:

$$Y = 0,84 - 0,38X_1 - 0,18X_2 + 0,83X_3 + 0,73X_4 - 0,48X_1X_3 - 0,33X_2X_3 + 0,32X_4X_3 - 0,12X_1X_4 - 0,12X_2X_4 + 0,62X_1X_2X_3 + 0,52X_1X_2X_4 - 0,48X_1X_3X_4 - 0,28X_2X_3X_4 + 0,28X_1X_2X_3X_4 \quad (1)$$

Максимальный прирост привеса катода достигается при энергии импульса и числе проходов на верхнем пределе значений, а также при концентрации углерода и хрома в аноде на - нижнем. При анализе парных взаимодействий видно, что углерод и хром не оказывают влияния на привес катода, однако их роль значительно проявляется при совместном взаимодействии с технологическими параметрами обработки - E и n . В этом случае становится мало значимым уровень концентрации этих химических элементов. Поэтому может оказаться эффективным и использование не только хромистых сплавов, содержащих углерод и хром, но и - феррохрома.

Исследованиями установлено, что качество и свойства покрытия определяются не только массопереносом, но и структурой, фазовым составом, уровнем напряжений, плотностью (пористостью) и однородностью, наличием дефектов (микротрещин).

Важная роль в формировании качества слоя принадлежит числу проходов обрабатывающего электрода. Выявлена закономерность, свидетельствующая о том, что с увеличением числа проходов обрабатывающего электрода возрастает микропористость покрытия. Кроме того, при 1-3 проходах формируется дисперсная структура на базе химических элементов катода и анода.

С увеличением числа проходов обрабатывающего электрода доля химических элементов катода в слое практически отсутствует, и начинают кристаллизоваться оксидные фазы, а также увеличивается количество скоагулированных и обособившихся карбидных включений (рис. 3).

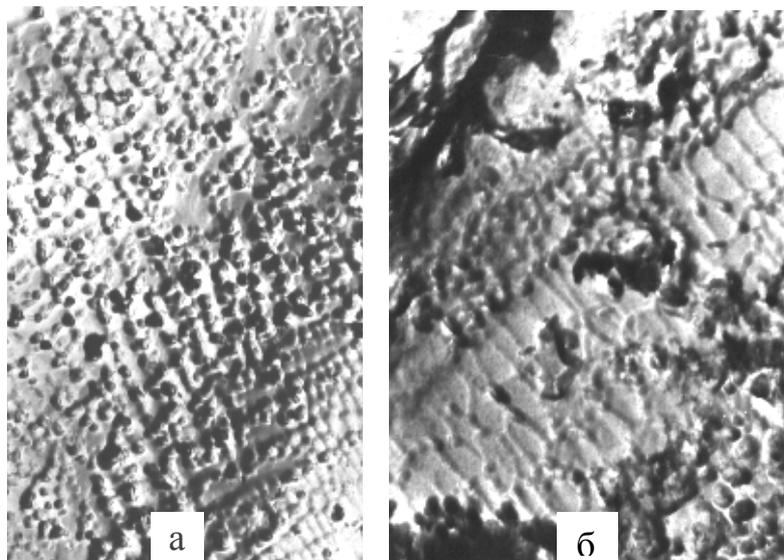


Рис. 3. Микроструктура покрытия ($\times 3700$): а - 1 проход электрода; б - 6 проходов электрода.

Появление последних связано с увеличением в слое доли карбидообразующего элемента из анода и уменьшением матричной фазы катода. Рост микропор, количества кристаллизуемых оксидных фаз на поверхности

слоя особенно четко просматривается после трех проходов при $E=3,4$ Дж. В этом случае за счет разложения оксидных фаз при последующих проходах электрода формируются поры, что приводит к охрупчиванию покрытия. При формировании слоя с числом проходов более трех проявляется кристаллизация неоднородной структуры.

Исходя из результатов и анализа выборки (≈ 300 значений привеса катода) с использованием ЭВМ было получено уравнение регрессии (2), отражающее зависимость суммарного привеса катода $\sum \Delta k$ (Y), г/см² от концентрации основных и легирующих элементов анода и параметров обработки - энергии импульса E , и числа проходов электрода - n с коэффициентом корреляции $R \geq 0,9$.

$$\sum \Delta k = 1,11 \frac{\sqrt{C \times E_u}}{Cr^2} \times n - 0,02 \frac{E_u \times \sqrt{C}}{Cr} \times n^2 \quad (2)$$

где C , Cr - соответственно содержание углерода и хрома в материале электрода, мас.%; E_u - энергия импульса обработки, Дж; n - количество проходов электродом при обработке.

В конечном итоге величина $\sum \Delta k$ (Y) позволяет оценить толщину наносимого покрытия h (3):

$$h = \frac{\beta \times \sum \Delta k}{\rho} \quad (3)$$

где β - поправочный коэффициент, учитывающий несплошность покрытия, а также наличие пор и шероховатости, $\beta \geq 0,78$ при $n=1$, $\beta=0,89$ при $n=2$, $\beta=0,97$ при $n=3$, ρ - удельный вес материала обрабатываемого электрода, г/см³.

Как показали исследования (рис. 1 и рис. 2), использование в качестве электродов материалов с содержанием углерода 1,5-2,5% и хрома 10,0-15,0% не целесообразно выбирать число проходов электрода более 2-3^х. При таком ограничении обеспечивается достаточный привес катода. Чем выше концентрация углерода и хрома, тем раньше проявляется эффект "предельного слоя".

Испытания на износ образцов с нанесенным покрытием и без него показали, что в нелегированных углеродистых материалах потеря веса практически не отличается от исходных образцов (за исключением серого чугуна, который при обработке отбеливается). Наиболее высокая износостойкость в покрытии достигается при использовании в качестве анода высокоуглеродистых или низкоуглеродистых легированных материалов. В табл. 3 приведены результаты испытаний на износ.

Таблица 3.

Результаты испытания образцов на износ с покрытием

| Материал покрытия | Число циклов испытания | Нагрузка, кг | Масса образца, г | | Изменение массы, г | Износ (по сравнению со сталью Ст.3) |
|-----------------------------|------------------------|--------------|------------------|----------|--------------------|-------------------------------------|
| | | | начальная | конечная | | |
| Ст.3 | 10 ⁶ | 60,0 | 76,36 | 73,91 | 2,45 | 1,0 |
| Сталь 40X | 10 ⁶ | 60,0 | 78,41 | 76,68 | 1,73 | 0,71 (0,72)* |
| Сталь ШХ15 | 10 ⁶ | 60,0 | 69,94 | 69,62 | 0,32 | 0,13 (0,44) |
| Сталь 20X1M1Ф1ТР | 10 ⁶ | 60,0 | 68,88 | 68,63 | 0,25 | 0,10 (0,49) |
| Легированный сплав (100X17) | 10 ⁶ | 60,0 | 74,39 | 74,22 | 0,17 | 0,07 (0,23) |
| Чугун серый | 10 ⁶ | 60,0 | 79,13 | 78,06 | 1,07 | 0,44 (0,75) |

Примечание: *-данные таблицы - средние значения из 8-10 испытаний, - в скобках представлены данные испытания образцов на износ без покрытия

Из анализа приведенных экспериментальных данных видно, что при нанесении покрытий из сталей Ст.3, 40X целесообразно использовать в качестве анода легированные материалы, особенно с повышенным содержанием хрома, которые помимо увеличения износостойкости обеспечивают и высокие показатели жаростойкости и коррозионной стойкости, малую склонность к графитизации и повреждаемости.

Исходя из данных (табл. 3) средняя износостойкость, оцененная по потере веса, указывает на наиболее высокие показатели для образцов из легированных и нелегированных высокоуглеродистых сплавов (ШХ15, легированный сплав, серый чугун), на которые нанесено покрытие электродами из таких же материалов.

Как показали исследования и результаты анализа априорной информации, наибольший прирост износостойкости достигается при нанесении покрытий из легированных материалов. Анод из таких материалов отличается и повышенной эрозийной стойкостью. Выполненные исследования микроструктуры подтвердили, что в процессе трения и изнашивания на рабочей поверхности развиваются процессы пластической деформации, которые вызывают перестройку дислокационной структуры, снижают температуру фазовых переходов и интенсифицируют диффузионные процессы [4 - 6].

Выводы. 1. Исследованиями установлено, что с увеличением энергии импульса от $E=0,9$ Дж до $E=3,4$ Дж привес катода возрастает в 2,0 - 2,4 раза, а эрозия анода - в 1,68 - 2,07 раза. При этом суммарная эрозия анода и

привес катода при ЭИО в случае если они изготавливаются из одного материала имеют тенденцию к увеличению в сплавах с наиболее высокой сходственной температурой. 2. Наиболее качественный, хотя и наименьший по величине слой покрытия при ЭИО высокоуглеродистых сплавов формируется при обработке с энергией импульса $E=0,9Дж$. Высокая эрозионная стойкость анода достигается при использовании для него легированных сплавов. 3. Испытаниями на износ подтверждена целесообразность применения в качестве материала анода высоколегированных сплавов, особенно с повышенным содержанием хрома.

Однако в этих сплавах концентрация углерода не должна быть слишком высокой, т.к. выделяющееся большое количество карбидной фазы приводит к неоднородному износу из-за склонности ее к повреждаемости и разрушению (выкрашиванию).

Неоднородность изнашивания может вызываться и увеличением склонности покрытия к графитизации карбидной фазы.

Максимальный прирост привеса катода достигается при влиянии каждого фактора в отдельности: энергия импульса $E=3,4Дж$; число проходов $n=6$; концентрация хрома - 10% и углерода - 0,5%.

Оценивая парные взаимодействия установили, что углерод и хром в аноде совместно не оказывают влияния на привес катода, однако их роль проявляется в сочетании с технологическими факторами.

Литература

1. Электродные материалы для электроискрового легирования. /Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А., Прядко Л.Ф., Егоров Ф.Ф. - М.: Наука, 1988. - 224с.
2. Лазаренко Н.И., Лазаренко Б.Р. Электроискровое легирование металлических поверхностей // Электронная обработка материалов.
3. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И. Исследование влияния химического состава анода на величину и качество слоя, восстановленного электроискровым методом. // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин: - Харьков: ХГТУСХ, 1997. – С.75-81.
4. Влияние химического состава и пластической деформации на склонность к графитизации высокоуглеродистых сплавов / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д. и др. // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1996. - С.56-62.
5. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. / Скобло Т.С., Воронцов Н.М., Рудюк С.И. и др. - М.: Металлургия, 1994. - 336с.
6. Любарский И.М., Палатник Л.С. Металлофизика трения. - М.: Металлургия, 1976. - 176с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Научные концепции развития технологии машиностроения, механической и физико-технической обработки

| | |
|---|----|
| Новиков Г.В. Аналитические зависимости механики резания материалов. | 3 |
| Дитиненко С.А., Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии прецизионной обработки твердосплавных цилиндрических поверхностей. | 7 |
| Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Теоретические и экспериментальные исследования шероховатости обработанной поверхности. | 11 |
| Ларшин В.П., Бажанов А.И., Якимов А.В. Управление процессами на основе компьютерной диагностики технологических систем. | 16 |
| Ларшин В.П., Лищенко Н.В. Прогнозирование температурного поля при резбошлифовании. | 19 |
| Ларшин В.П., Гречица А.А., Фадеев В.А. Структура рабочего цикла съема припуска при шлифовании вырубных штампов. | 21 |
| Ларшин В.П., Гречица А.А. Определение межоперационных и межпереходных припусков при различных методах обеспечения точности обработки. | 23 |
| Лавриненко В.И., Проц Л.А. К вопросу об оценке качества обработанной поверхности монокристаллов парателлурита. | 25 |
| Шепелев А.О., Пасічний О.О. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення алмазних кругів. | 26 |
| Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Имитационная модель однослойного алмазно-абразивного инструмента на никелево-гальванической связке. | 27 |
| Настасенко В.А. Разработка высокоточных многозаходных червячных зуборезных инструментов. | 30 |
| Карпуть В.Е., Граница В.А. Многошпindleльная сверлильная головка. | 31 |
| Пермяков А.А., Гулиев Д.А. Алгоритм параметрической оптимизации технологической компоновки многопозиционных агрегатированных технологических систем. | 33 |
| Матюха П.Г., Скрынников В.С. Математическая модель условия закрепления режущей части на державке универсально-сборного резца в процессе резания. | 37 |
| Калафатова Л.П., Поколенко Д.В., Шевченко В.А. Повышение эффективности способа правки свободным абразивом за счет использования рационального состава абразивной суспензии. | 40 |
| Гусев В. В., Белов С.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния в материале при воздействии на него зерна шлифовального круга. | 44 |
| Деревянченко А.Г., Полякова М.В., Бовнегра Л.В. Комбинированное диагностирование отказов режущих инструментов с использованием ВЕЙВЛЕТ – анализа. | 46 |
| Тигарев В.М. Определение диапазона изменения параметров проектируемого инструмента графическим способом на базе метода диаграмм кинематического винта. | 49 |
| Малыхин В.В., Новиков С.Г., Писклов Л.А. Классификация твердосплавного инструмента по технологическим признакам. | 52 |
| Малыхин В.В., Криволапов К.В. Математическая модель определения производительности шлифования. | 53 |
| Артамонов В.Д. Формообразование бочкообразных зубьев колес дельтовидными резцовыми головками. | 55 |
| Васин С.А., Ямникова О.А. Методология оценки устойчивости процесса резания с учетом упругих колебаний технологической системы. | 56 |
| Маликов А.А. Экспериментальное исследование эффективности окончательной обработки закаленных цилиндрических зубчатых колес. | 60 |
| Сабинина А.Л. Мониторинг базовой конкурентоспособности машиностроительной продукции оборонного профиля. | 62 |
| Коротков В.С. Контроль геометрических параметров обечаек. | 67 |
| Мацевитый В.М., Казак И.Б. Два фактора воздействия поверхностных упрочняющих обработок на стойкость режущих инструментов из быстрорежущих сталей. | 69 |
| Скобло Т.С., Коломиец В.В., Ридный В.Ф., Ридный Р.В. Влияние условий точения восстановленных наплавкой деталей на отношение радиуса закругления вершин микронеровностей к их высоте. | 70 |
| Гусарев В.С. Конкуренция в инженерном образовании. | 73 |
| Краснощек Ю.С. Обработка поверхностей, восстановленных наплавкой порошковыми материалами. | 76 |
| Шелковой А.Н., Рузметов А.Р. Реинжиниринг механообрабатывающих производств. | 78 |
| Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Основные условия уменьшения силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. | 81 |
| Карпуть В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин Обоснование выбора наивыгоднейшего варианта токарной обработки. | 84 |

| | |
|--|----|
| Карпуть В.Е., Гаврылюк Ю.Р. Исследование точности многономенклатурных агрегатных станков. | 87 |
| Шепелёв А.О., Дуброва О.С. Вібраційно-прецесійне шліфування інструментальних матеріалів кругами із НТМ — нове у традиційному. | 89 |
| Новиков Ф.В., Савченко Н.Ф. Высокоэффективные технологии в заготовительном производстве. | 90 |

2. Прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы

| | |
|--|-----|
| Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. Понятие геометрического фактора волоочильного инструмента и его использование в практических вычислениях. | 94 |
| Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. Приближенные соотношения для определения предельных обжатий при волочении круглых медных и алюминиевых профилей для жил кабелей и проводов. | 96 |
| Колодяжный А.В., Мельчакова Н.В. Технология изготовления объемных деталей и восстановительно-защитных покрытий. | 97 |
| Вакуленко К.В., Меша Ю.В., Чернобрышко М.В. Применение импульсных нагрузок в технологических процессах упрочнения материалов. | 98 |
| Воинов А.П., Воинова С.А., Чернуха Д.В. Зависимость технологии теплообеспечения от структуры топливно-энергетического баланса энергетики. | 101 |
| Воинов А.П. Теплообеспечение. каким путем ему развиваться? | 103 |
| Гриценко Г.Д., Любченко А.П., Чигрина Т.В. Чернобыльская катастрофа: неразрушающий контроль с течением времени радиоактивной загрязненности на промышленном предприятии Украины (результаты шестнадцатилетних измерений 1986-2002г.г.). | 106 |
| Гулюк А.А., Чуйкова Е.В. Исследование качества биметаллических заготовок, полученных сваркой энергией взрыва. | 107 |
| Бабай Н.П., Любченко А.П., Мельничук Н.С. Притирочная паста. | 107 |
| Гольнская Г.С., Лысова Л.М., Якунина В.И. Совмещенный технологический процесс нанесения на воздухоочистители полимерного защитного покрытия ЛИМ-1. | 108 |
| Аксенова С. И., Любченко А. П., Яворович С. И. Возможность использования метода магнитных шумов для контроля качества поверхностного упрочнения стальных и чугуновых деталей. | 110 |
| Малютина Э.С., Завгородняя Л.П. Повышение качества литейных форм и стержней. | 110 |
| Влащенко Г.И., Листопад И.А., Фабричникова И.А. повышение стойкости ножей для измельчения корнеплодов. | 110 |
| Листопад И.А., Влащенко Г.И., Лукьянов И.М. К вопросу контроля усилий натяжения гибкого элемента. | 112 |
| Пашкова Г.И. Влияние закалки ТВЧ на эксплуатационную надежность коленчатых валов транспортных дизелей. | 113 |

3. Динамика и прочность машин, проблемы математики, механики и управления

| | |
|--|-----|
| Воробьев Ю.С., Дьяконенко К.Ю. Совместные колебания ротора с рабочими колесами. | 116 |
| Симсон Э.А., Назаренко С.А., Анацкий Ю.П. Комбинированное нагружение конструкций. мультидисциплинарный анализ чувствительности. | 117 |
| Ромашов Ю.В. Автоматизация решения краевых задач теории упругости на основе R-функций и метода Бубнова-Галеркина. | 119 |
| Сало В.А., Слесар Е.П. Расчет неоднородных оболочек на основе RVR-метода. | 123 |
| Довгаль В. М., Малыхин В. В., Новиков С. Г., Тютюнов Д. Н., Толстиков П. А. Сопоставительный анализ суммирующих параллельных подстановок с марковскими суммирующими продуктами. | 125 |
| Тютюнов Д.Н. Система продукции для суммирования массивов в двоичном знакоразрядном коде. | 127 |
| Тихенко В.Н., Волков А.А. Повышение эффективности гидропривода со струйным усилителем. | 128 |
| Милешкин М.Б., Библик И.В. Новый подход к оценке прочностной надежности материалов и элементов конструкций. | 131 |
| Федоров А. И., Пермяков В. И., Рябушко А. В. Имитатор виброакустических сигналов энергетического оборудования. | 133 |
| Мягкохлеб К.Б. Способ определения координат движения платформы двухкоординатного электромагнитного вибростенда. | 136 |
| Белых В.И., Пипин А. А., Зализняк О.А. Методика выбора области информативных частот при вибрационной диагностике опор турбомашин. | 137 |
| Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С. Конструкция гидроимпульсного устройства для получения больших давлений и скоростей струи жидкости. | 140 |

| | |
|--|-----|
| Гайдамака А.В., Хаустов Я. Е. Обеспечение эксплуатационных характеристик подшипников качения | 141 |
| Музыкаин Ю.Д., Зубарь А.А. Использование торцовых уплотнений в колесных редукторах мобильных машин. | 143 |
| Сметанкін В.О., Ільїн В.Я., Ільїн І.В. Стійкість нелінійних коливань робочого органу вібросепаратора в резонансному випадку. | 146 |
| Сметанкина Н.В., Шупиков А.Н., Сотрихин С.Ю., Ярещенко В.Г. Колебания эллиптической пластины при ударном нагружении. | 149 |
| Дудин А.Т. Двигатель внутреннего сгорания (работающий на газообразном, жидком и твердом топливе). | 151 |
| Ткаченко В. Н. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния гибкого колеса волновой зубчатой передачи под нагрузкой. | 153 |
| Комкова О.А. Релаксація Коул – Девідсона. | 155 |
| Воробьев Ю.С., Гошкодеря В.П., Цыба А.Н. Влияние податливости заделки лопатки в диск на частоты собственных колебаний. | 157 |
| Андриенко С.В., Павлов А.И., Плыгун В.И. Проблемы теории зацеплений. | 160 |
| Гладкий И.П., Мощенок В.И., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П. Исследование рентгеновским методом природы натиров в поверхностном слое металла двигателя. | 162 |
| Марченко М. В. Экономическая эффективность от улучшения качества выпускаемой продукции, и этапы достижения высокого качества. | 164 |
| Солнцев Л.А., Мощенок В.И., Лалазарова Н.А. Улучшение обрабатываемости высокопрочного чугуна. | 168 |
| Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д. Нанесение покрытий методом ЭИО электродами с различным составом. | 170 |

© Харьковская научно-производственная корпорация «ФЭД», 2004

Научное издание

Труды 9-й Международной научно-технической конференции

Физические и компьютерные технологии

3-4 июня 2004 года, г. Харьков

Составили: Новиков Федор Васильевич
Якимов Александр Васильевич,

Ответственный за выпуск
Фадеев В.А.

Оформление оригинал-макета
Бондарь Н.Б., Новиков Д.Ф.

Подписано к печати 01.06.2004г. Формат 60x88/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 22,2. Уч.-изл. л. 20,6
Тираж 300. Заказ № 1237

Отпечатано в типографии завода «ФЭД». 61023, г. Харьков, ул. Сумская,132