

*17 - я Международная  
научно-  
техническая  
конференция*

*ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-  
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ*

*20 – 21 сентября  
2011 г*

**г. Харьков**

Харьковский национальный экономический университет  
Харьковская научно-производственная корпорация "ФЭД"  
Одесский национальный политехнический университет  
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины  
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины  
Институт проблем машиностроения НАН Украины  
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»  
Харьковский национальный технический университет радиозлектроники  
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта  
Донецкий национальный технический университет  
Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь  
Сумской государственный университет  
Национальная Металлургическая Академия Украины  
Севастопольский национальный технический университет  
Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля  
Луцкий государственный технический университет  
Одесское отделение Инженерной Академии Украины  
Московский государственный открытый университет  
Тульский государственный университет  
Курский государственный университет  
Ульяновский государственный технический университет  
Саратовский государственный технический университет  
Пермский государственный технический университет  
ГП "Завод им. Малышева"  
АО "Мотор - Січ"  
Харьковское Государственное Авиационное производственное предприятие  
ОАО ХМЗ "Свет шахтера"  
ОАО Завод "Потенциал"  
ЗАО Завод "Южкабель"  
НТК "Эльбор-4", г. Харьков  
Высшая техническая школа, Цвикау, Германия  
Международная академия по развитию технологий, Кельн, Германия  
Компания "Foxenergy", Верона, Италия  
Жешувский технологический университет, Польша  
Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

## **ТРУДЫ 17-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND  
TECHNICAL CONFERENCE**

**Харьков 2011**

УДК 62-65: 621.382.82

**Физические и компьютерные технологии.**

Труды 17-й Международной научно-технической конференции, 20-21 сентября 2011г. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2011. – 161 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, электрофизики и электроэнергетики, экономики и организации производства; проблемы создания и применения компьютерных технологий.

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

**КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНФЕРЕНЦИИ:**

**Сопредседатели:**

Новиков Ф.В., д.т.н.	(Харьков)	Крюк А.Г., к.т.н.	(Харьков)
Фадеев В.А., д.т.н.	(Харьков)	Ларшин В.П., д.т.н.	(Одесса)
Якимов А.В., д.т.н.	(Одесса)	Малыхин В.В., к.т.н.	(Курск)

**Члены совета:**

Борисевич В.К., д.т.н.	(Харьков)	Морачковский О.К., д.т.н.	(Харьков)
Воробьев Ю.С., д.т.н.	(Харьков)	Новиков Г.В., к.т.н.	(Харьков)
Гринева В.Н., д.э.н.	(Харьков)	Проволоцкий А.Е., д.т.н.	(Днепропетровск)
Дитиненко С.А., к.т.н.	(Харьков)	Петраков Ю.В., д.т.н.	(Киев)
Клименко С.А., д.т.н.	(Киев)	Рябенков И.А., к.т.н.	(Харьков)
Ковальчук А.Н., к.т.н.	(Харьков)	Савченко Н.Ф., к.т.н.	(Харьков)
Коломиец В.В., д.т.н.	(Харьков)	Шкурупий В.Г., к.т.н.	(Харьков)
		Ямников А.С., д.т.н.	(Тула)

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:**

Андилахай А.А., к.т.н.	(Мариуполь)	Новоселов Ю.К., д.т.н.	(Севастополь)
Гапонов В.С., д.т.н.	(Харьков)	Новиков С.Г., к.т.н.	(Курск)
Золотарев В.М., к.т.н.	(Харьков)	Оргиян А.А., д.т.н.	(Одесса)
Ерошин С.С., д.т.н.	(Луганск)	Осипов В.А., к.т.н.	(Сумы)
Иванов Е.И., к.т.н.	(Мариуполь)	Орлов П.А., д.э.н.	(Харьков)
Карпушенко В.П., к.э.н.	(Харьков)	Пермяков А.А., д.т.н.	(Харьков)
Кленов О.С.	(Харьков)	Свирщев В.И., д.т.н.	(Пермь)
Королев А.В., д.т.н.	(Саратов)	Сизый Ю.А., д.т.н.	(Харьков)
Лавриненко В.И., д.т.н.	(Киев)	Скобло Т.С., д.т.н.	(Харьков)
Лебедев В.Г., д.т.н.	(Одесса)	Степанов М.С., д.т.н.	(Харьков)
Линчевский П.А., д.т.н.	(Одесса)	Тернюк Н.Э., д.т.н.	(Харьков)
Макаров В.Ф., д.т.н.	(Пермь)	Шепелев А.А., д.т.н.	(Киев)
Марчук В.И., д.т.н.	(Луцк)	Усов А.В., д.т.н.	(Одесса)
Матюха П.Г., д.т.н.	(Донецк)	Худобин Л.В., д.т.н.	(Ульяновск)

Труды воспроизводятся непосредственно с авторских оригиналов.

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

УДК 621.923

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ОПЕРАЦИЯХ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИВОДОВ ШАХТНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

**Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет)

**Ковальчук А.Н.**, канд. техн. наук, **Нежебовский В.В.**

(ОАО Харьковский машиностроительный завод “Свет шахтера”)

*Justified by the conditions of quality and productivity formation-processing operations on zuboshlifovaniya gear drive shaft con- Weyer*

Шлифование зубьев зубчатых колес приводов шахтных конвейеров (изготавливаемых в ОАО Харьковский машиностроительный завод “Свет шахтера”) является важнейшим условием повышения их качества и ресурса работы. Поэтому совершенствование операций зубошлифования имеет большое практическое значение [1]. Установлено, что основным недостатком операций зубошлифования является низкое качество обработки (обусловленное образованием на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов), а также низкие показатели точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Снижение режимов резания позволяет повысить качество обработки, однако это ведет к уменьшению производительности обработки, что малоэффективно. В связи с этим, целью работы является научно обоснованный выбор оптимальных режимов резания и характеристик кругов с учетом температурного фактора.

Для достижения поставленной цели обоснованы условия повышения качества и

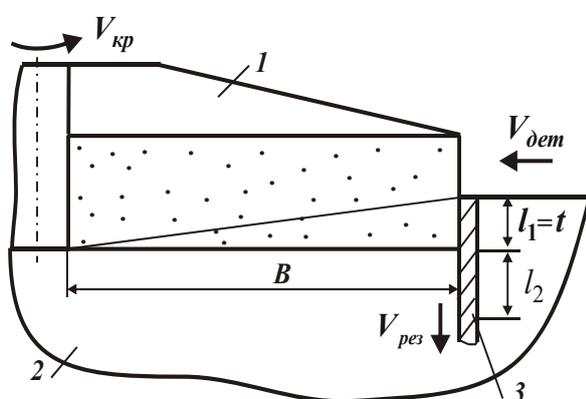


Рис. 1. Расчетная схема торцевого шлифования: 1 – круг; 2 – обрабатываемый материал; 3 – адиабатический стержень.

производительности обработки при зубошлифовании на основе установления аналитической связи между температурой шлифования  $\theta$  и глубиной  $l_2$  проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при торцевом шлифовании (рис.1) [2,3]:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l_1}{c \cdot \rho \cdot l_2}, \quad (1)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot V_{рез} \cdot l_1} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{уд}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup> (энергоемкость обработки, Дж/м<sup>3</sup>);  $\tau$  – время обработки, с;  $c$  – удельная

теплоемкость материала, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К;  $l_1$  – толщина слоя снятого материала, равная при торцовом шлифовании глубине шлифования  $t$ , м;  $V_{рез} = t \cdot V_{дет} / B$  – скорость перерезания адиабатического стержня, которыми представлен снимаемый припуск, м/с;  $V_{дет}$  – скорость детали, м/с;  $B$  – длина рабочей части круга (длина контакта круга с деталью), м;  $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$  – удельная производительность обработки, м<sup>2</sup>/с.

Как вытекает из (1), уменьшение  $\theta$  предполагает увеличение глубины  $l_2$ . Следовательно, единственно возможным путем одновременного уменьшения параметров  $\theta$  и  $l_2$  и таким образом повышения качества обработки является уменьшение  $\sigma$  в результате снижения интенсивности трения в зоне шлифования и повышения режущей способности круга. Расчетами установлено, что при шлифовании стали ШХ15 ( $c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>·град) отношение  $l_1/l_2 < 1$ , рис. 2,а. Установлено также, что обеспечение значений  $\theta$ , меньших температуры плавления стали ШХ15 ( $\theta_{пл} = 1500^\circ\text{C}$ ), возможно при  $l_1/l_2 \ll 1$ , рис. 2,б. Это связано с относительно большими значениями условного напряжения резания при шлифовании  $\sigma = \sigma_{сж} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{uu}^2}) / K_{uu}$ , где  $K_{uu} = P_z / P_y = 0,1 \dots 1$ ;  $P_z, P_y$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup> (для стали ШХ15  $\sigma_{сж} = 2 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>). Поэтому весьма сложно одновременно уменьшить температуру шлифования  $\theta$  до требуемого уровня и выполнить условие  $l_1/l_2 \rightarrow 1$  и таким образом добиться повышения качества обработки. Реально можно выполнить лишь одно условие: уменьшить  $\theta$  за счет увеличения  $l_2$ . В этом случае исключается образование на обрабатываемых поверхностях прижогов. Однако, в связи с увеличением  $l_2$  возможны структурные изменения поверхностного слоя обрабатываемой детали, которые не всегда можно устранить на последующем проходе круга, т.к.  $l_1/l_2 \ll 1$ . Поэтому, наряду с обеспечением заданного значения  $\theta$ , необходимо стремиться к уменьшению параметра  $l_2$  за счет уменьшения условного напряжения резания  $\sigma$ .

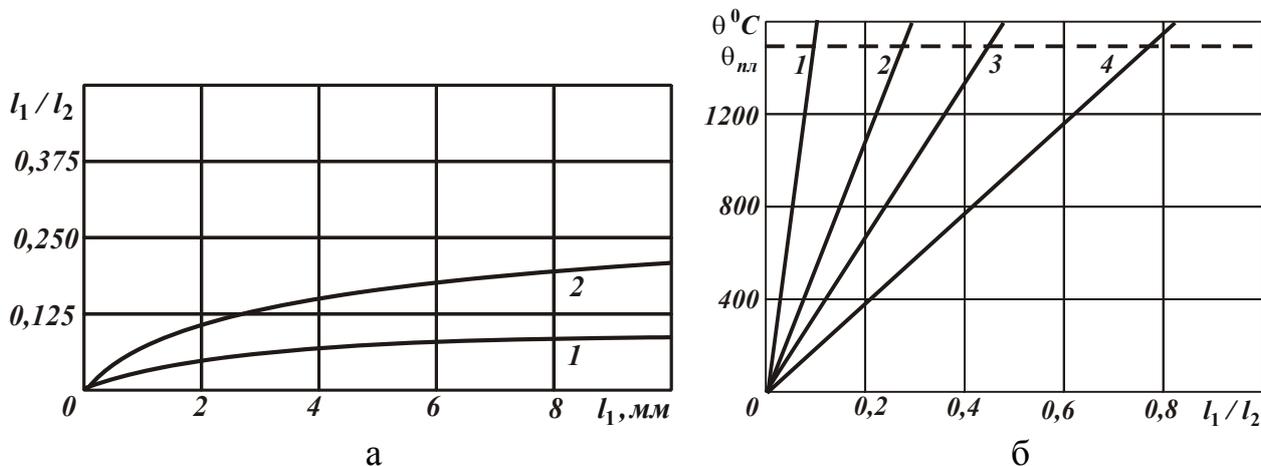


Рис. 2. Зависимости  $l_1/l_2$  от  $l_1$  (1 –  $V_{рез} = 2$  мм/мин; 2 –  $V_{рез} = 10$  мм/мин) (а) и  $\theta$  от  $l_1/l_2$  (1 –  $K_{uu} = 0,1$ ; 2 –  $K_{uu} = 0,3$ ; 3 –  $K_{uu} = 0,5$ ; 4 –  $K_{uu} = 1$ ) (б).

При шлифовании на обрабатываемых поверхностях, кроме прижогов, образуются микротрещины, обусловленные высоким градиентом температуры:

$$grad\theta = \frac{\theta}{l_2} = \sigma \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot V_{дет} . \quad (3)$$

Уменьшить  $grad\theta$  и исключить образование микротрещин, исходя из зависимости (3), можно уменьшением температуры шлифования  $\theta$  и увеличением глубины  $l_2$ , что соответствует установленному выше условию исключения прижогов и достигается уменьшением параметров  $\sigma$ ,  $t$ ,  $V_{дет}$  и увеличением  $B$ . Следовательно, добиться одновременного уменьшения  $grad\theta$ , температуры шлифования  $\theta$  и глубины  $l_2$  и таким образом исключить образование микротрещин и прижогов на обрабатываемой поверхности (при заданной производительности обработки) можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания  $\sigma$ .

Используя полученное теоретическое решение, произведена оптимизация параметров режимов зубошлифования с учетом температурного фактора. Как следует из зависимостей (1) и (2), уменьшить температуру шлифования  $\theta$  при одной и той же производительности обработки можно уменьшением глубины шлифования  $t$ , т.е. увеличивая количество проходов круга при съеме заданного припуска  $\Pi$ . Однако, это ведет к увеличению вспомогательного времени, связанного с реверсированием стола станка. Поэтому существует оптимальное количество проходов круга  $n$ , при котором штучное время  $T_{шт}$  (равное сумме основного  $T_{осн}$  и вспомогательного  $T_{всп}$  времени обработки на операции зубошлифования) принимает минимальное значение. Зависимость для определения  $T_{шт}$  имеет вид

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{всп} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot (\tau_{осн} + \tau_{всп}) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{всп} \cdot \gamma, \quad (4)$$

где  $T_{осн} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{осн}$ ;  $T_{всп} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{всп}$ ;  $z$  – количество зубьев;  $k$  – количество двойных возвратно-поступательных движений круга вдоль обрабатываемого зуба за один проход;  $\tau_{осн} = L / V_{дет}$  – основное время обработки за один двойной ход круга, с;  $L$  – длина продольного хода круга, м;  $\tau_{всп}$  – вспомогательное время

обработки за один двойной ход круга, с;  $\gamma = \left( \frac{n_{экстр}^2}{n} + n \right)$  – безразмерная величина.

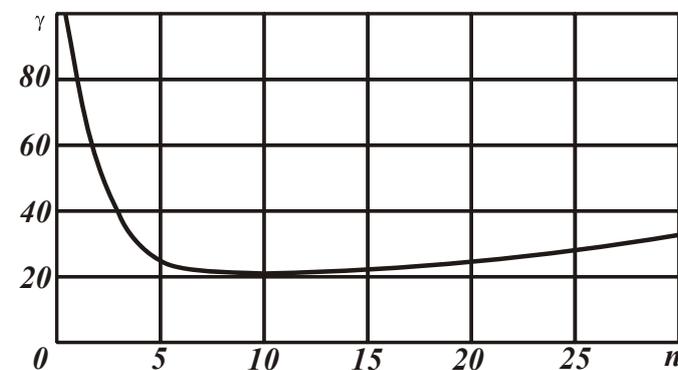


Рис. 3. Зависимость  $\gamma$  от  $n$  для  $n_{экстр} = 10$ .

Подчиняя зависимость (4) необходимому условию экстремума  $T'_{шт,n} = 0$ , определены экстремальные значения  $n_{экстр}$ ,  $V_{дет}$  и минимальное значение  $T_{шт}$ :

$$n_{экстр} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{всп}}}, \quad (5)$$

$$V_{дет} = \frac{L}{\tau_{всп}}, \quad (6)$$

$$T_{ум_{min}} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{экстр} \cdot (\tau_{всн} + \tau_{всн}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{всн}} \quad (7)$$

Первое и второе слагаемые зависимости (7) равны между собой, т.е. равны основное  $\tau_{осн}$  и вспомогательное  $\tau_{всн}$  время обработки. Уменьшить  $T_{ум_{min}}$  можно прежде всего уменьшением параметров  $\sigma$  и  $\Pi$  при заданном значении  $\theta$ . При этом экстремальное значение  $V_{дем}$  тем больше, чем меньше вспомогательное время  $\tau_{всн}$ . Для исходных данных:  $\rho=14,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $c=40$  кал/(кг·град);  $\lambda=14$  кал/(м·град);  $\sigma=10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\theta=1000^0$ С;  $\Pi=0,4$  мм;  $L=100$  мм;  $B=30$  мм;  $\tau_{всн}=1$ с, учитывая  $t = \Pi / n$ , получено:  $n_{экстр}=9$ ;  $V_{дем}=6$  м/мин;  $t=0,045$  мм. Анализируя график (рис. 3), можно сделать вывод о том, что безразмерная величина  $\gamma$  не столь существенно изменяется в диапазоне  $n=5 \dots 20$ . Это свидетельствует об эффективности съема припуска за небольшое количество проходов круга (в пределах 5 проходов). Таким образом, предложена новая методика расчета оптимальных условий обработки при шлифовании по критерию наименьшего штучного времени обработки с учетом ограничения по температуре шлифования.

В работе также определены условия одновременного обеспечения требований по точности и качеству обработки при шлифовании, обусловленных заданными значениями величины упругого перемещения  $y$ , возникающими в технологической системе, и температуры шлифования  $\theta$ :

$$y = \frac{P_y}{C} = \frac{\sigma}{C \cdot K_{uu}} \cdot \frac{h \cdot t \cdot V_{дем}}{V_{кр}} \quad (8)$$

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{дем}}{B}} \quad (9)$$

где  $C$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м;  $h$  – ширина шлифования, м;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с.

Исходя из зависимостей (8) и (9), это достигается уменьшением параметров  $\sigma$ ,  $t$ ,  $V_{дем}$  и соответственно производительности обработки. Причем, для обеспечения заданной величины  $y$  требуется более существенное уменьшение производительности обработки. Это предполагает применения как предварительного, так и окончательного шлифования. При предварительном шлифовании целесообразно обеспечить заданную температуру  $\theta$  за счет выбора оптимальной глубины шлифования  $t$ , удовлетворяющей зависимости (9). При окончательном шлифовании необходимо обеспечить заданную величину  $y$ , устанавливая глубину шлифования  $t$  в соответствии с зависимостью  $y = t / \varepsilon$ , и количество проходов  $n$  при выхаживании в соответствии с зависимостью  $y = t / \varepsilon^n$ , где  $\varepsilon = (1 + \alpha)$  – уточнение;  $\alpha = \frac{C \cdot K_{uu} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{дем}}$  – безразмерный параметр.

Расчетами установлено, что с увеличением величин  $n$  и  $\alpha$  (уменьшением  $V_{дем}$ ) в одинаковое количество раз (что соответствует одинаковому уменьшению

производительности обработки) безразмерная величина  $y/t$  уменьшается с разной интенсивностью (рис. 4,а). Более интенсивно – с увеличением  $n$ . Это свидетельствует об эффективности применения схемы выхаживания по сравнению с шлифованием по жесткой схеме. Установлено также, что при начальном значении  $\alpha = \alpha_0 \geq 1$  величина  $y/t$  с увеличением  $n$  уменьшается более чем по линейной зависимости (рис. 4,б). Это превосходит интенсивность уменьшения величины  $y/t$  в зависимости от  $n$  при условии уменьшения глубины шлифования  $t$ . Поэтому при  $\alpha < 1$  (или  $\varepsilon < 2$ ) целесообразно использовать шлифование по жесткой схеме, а при  $\alpha \geq 1$  (или  $\varepsilon \geq 2$ ) – шлифование по схеме выхаживания, исключая таким образом из технологического процесса операцию окончательного шлифования. Из этого вытекает, что коэффициент  $\alpha$ , а, следовательно, и уточнение  $\varepsilon = (1 + \alpha)$  определяют оптимальный маршрут обработки (рис. 5). Однако для этого необходимо располагать количественными значениями уточнения  $\varepsilon$ , которые устанавливаются расчетно-экспериментальным путем.

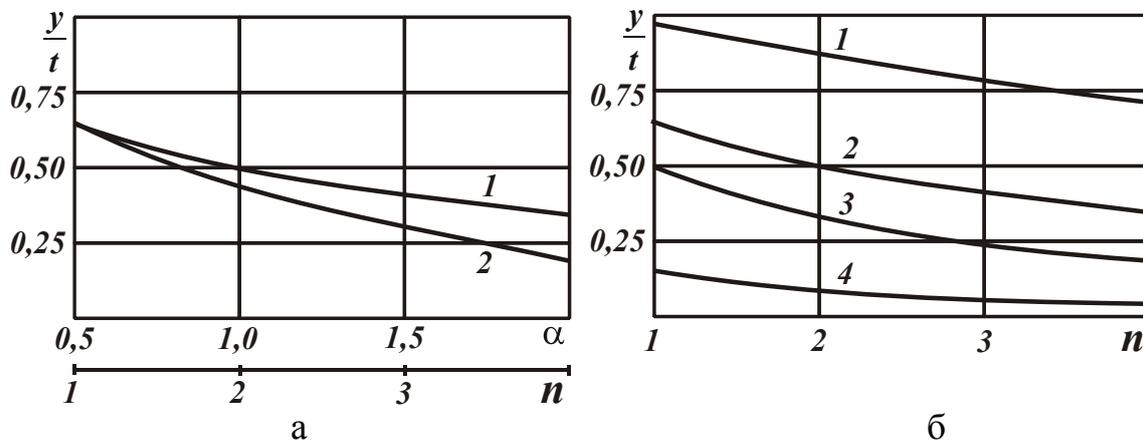


Рис. 4. Зависимость  $y/t$  от величин  $\alpha$  (1) и  $n$  (2) для  $\alpha_0 = 0,5$  (а) и зависимость  $y/t$  от  $n$  при выхаживании (б): 1 –  $\alpha_0 = 0,1$ ; 2 –  $\alpha_0 = 0,5$ ; 3 –  $\alpha_0 = 1$ ; 4 –  $\alpha_0 = 5$ .

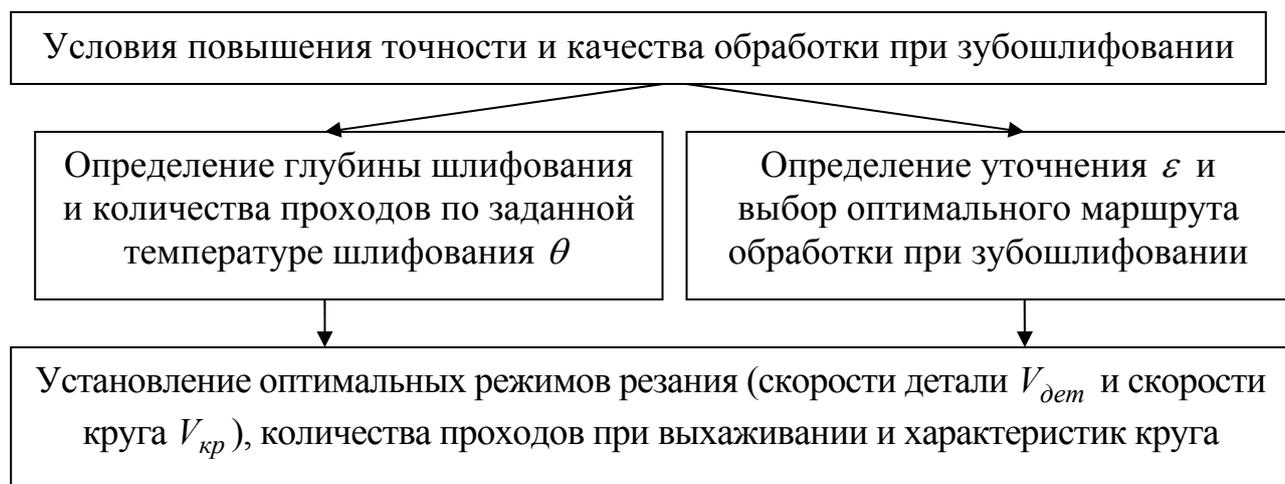


Рис. 5. Структурная схема условий повышения точности и качества обработки при зубошлифовании.

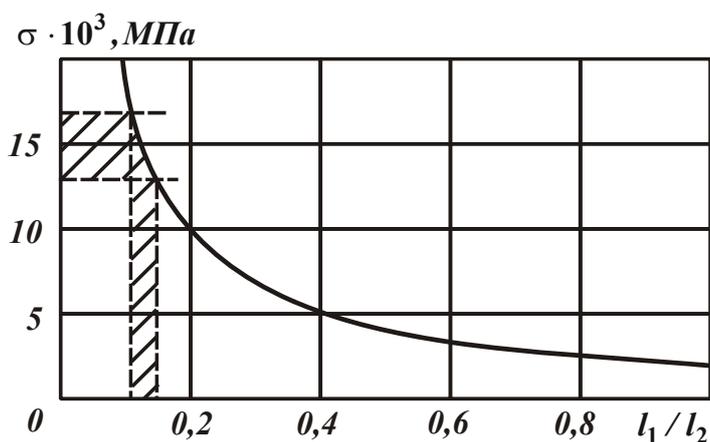


Рис. 6. Зависимость  $\sigma$  от  $l_1/l_2$  для  $\theta=800^\circ\text{C}$ .

13117...16964 МПа, а отношение  $l_1/l_2$ , установленное расчетно-экспериментальным путем (рис. 6), равно  $l_1/l_2 < 0,2$ . Поэтому на каждом последующем проходе круга нельзя устранить нарушенный на предыдущем проходе (в результате теплового воздействия) поверхностный слой детали. Повысить качество обработки в этих условиях можно лишь за счет уменьшения температуры шлифования  $\theta$  путем уменьшения энергоемкости обработки, что достигается применением кругов с более высокой режущей способностью. Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими решениями.

Используя экспериментальные значения энергоемкости обработки, произведены расчеты по зависимостям (5) и (6) оптимальных параметров режима шлифования зубчатого колеса из стали 18ХГН2МФБ твердостью  $HRC\ 57...63$  по критерию наименьшего штучного времени обработки с учетом ограничения по температуре шлифования  $\theta$ . Теоретически установлено, что при зубошлифовании на станке мод. 5843ЕМ (работающем по методу обкатывания кругом конического профиля) абразивным кругом 2П 400х32х127 24А10СМ2К6 съем припуска 0,4 мм может быть произведен за 5 проходов круга с глубиной шлифования  $t=0,08$  мм и

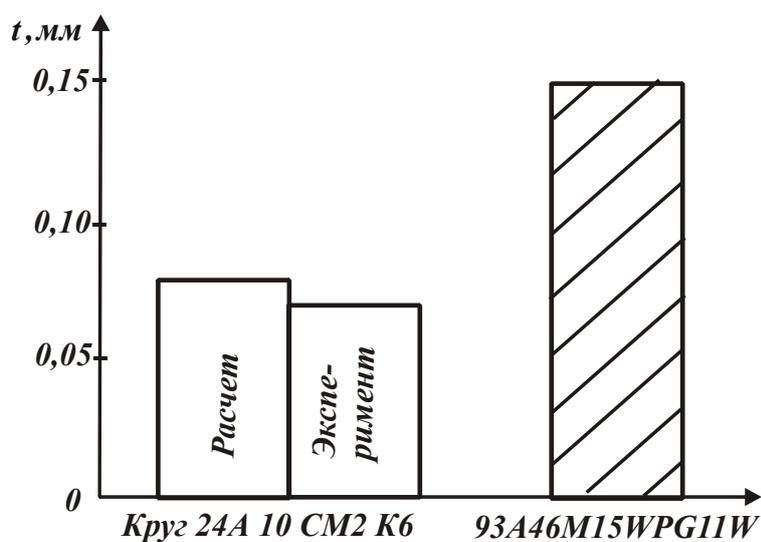


Рис. 7. Расчетные и экспериментальные значения предельной глубины шлифования  $t$ .

Для оценки достоверности теоретических решений проведены экспериментальные исследования параметров процесса зубошлифования зубчатых колес приводов шахтных конвейеров. Экспериментально установлено, что при шлифовании стали 18ХГН2МФБ твердостью  $HRC\ 57...63$  энергоемкость обработки (условное напряжение резания)  $\sigma$  изменяется в пределах

скоростью детали  $V_{дет} = 12$  м/мин. Исходные данные для расчета:  $c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·град);  $\lambda = 42$  Вт/(м·град);  $\sigma = 15 \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\theta = 800^\circ\text{C}$ ;  $\Pi = 0,4$  мм;  $L = 100$  мм;  $\tau_{всп} = 0,5$  с;  $B = 6,32$  мм. Экспериментальные исследования показали, что исключить образование прижогов на обрабатываемой поверхности при шлифовании данным кругом можно при глубине шлифования не более 0,07 мм (рис. 7). Это указывает

на незначительное расхождение расчетных и экспериментальных данных (в пределах 15%) и свидетельствует о достоверности теоретических решений.

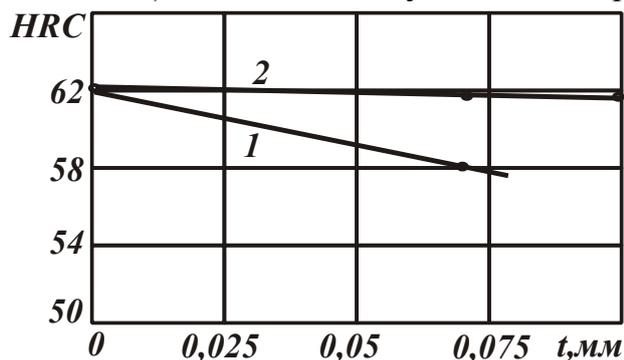


Рис. 8. Зависимость твердости  $HRC$  обработанной поверхности детали от глубины шлифования  $t$ : 1 – кружок 24А 10 СМ2 8 К6; 2 – 93А46М15WPG11W.

Экспериментально установлено, что шлифование кругом T1ESP 400x32x127 93A46M15WPG11W, обладающим повышенной режущей способностью, позволяет увеличить предельную глубину шлифования и скорость круга (при которых исключается образование на обрабатываемых поверхностях прижогов) соответственно до значений 0,15 мм и 40 м/с. Твердость обработанной поверхности в диапазоне  $t=0,01...0,1$  мм фактически не изменяется, тогда как при шлифовании кругом 2П 400x32x127 24А 10

СМ2 8 К6 – уменьшается (рис. 8), что естественно снижает износостойкость обработанной поверхности зубчатого колеса. Следовательно, применение данного круга позволяет сьем заданного припуска 0,4 мм осуществить за 4 прохода, гарантированно исключая образование прижогов и микротрещин на обрабатываемых поверхностях. При этом увеличиваются стойкость круга между правками с одной до трех смен и срок работы круга до его полного износа с одного до трех месяцев. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении производительности обработки и о возможности реализации установленного теоретически наименьшего штучного времени обработки для заданной температуры шлифования.

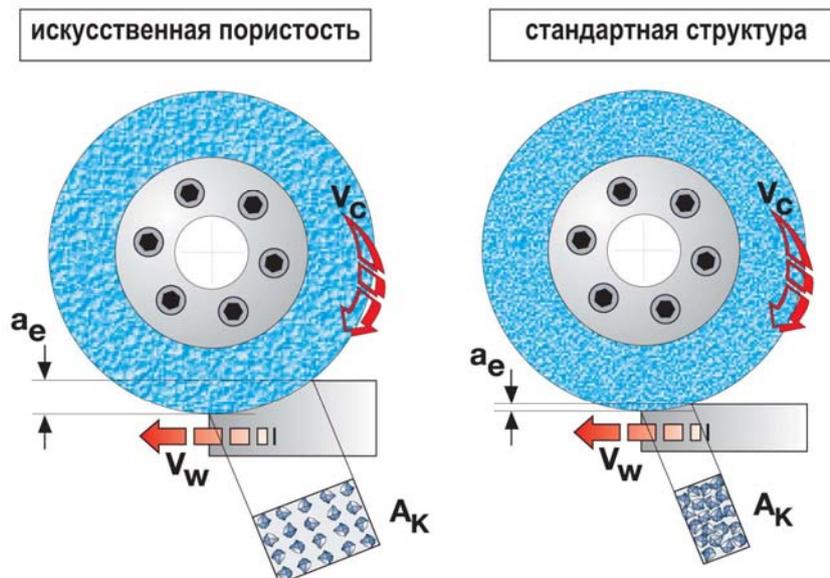
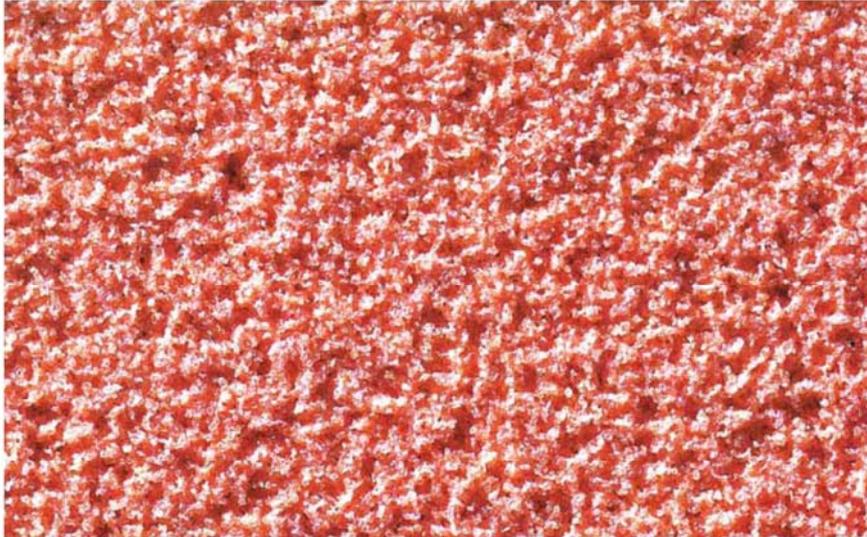


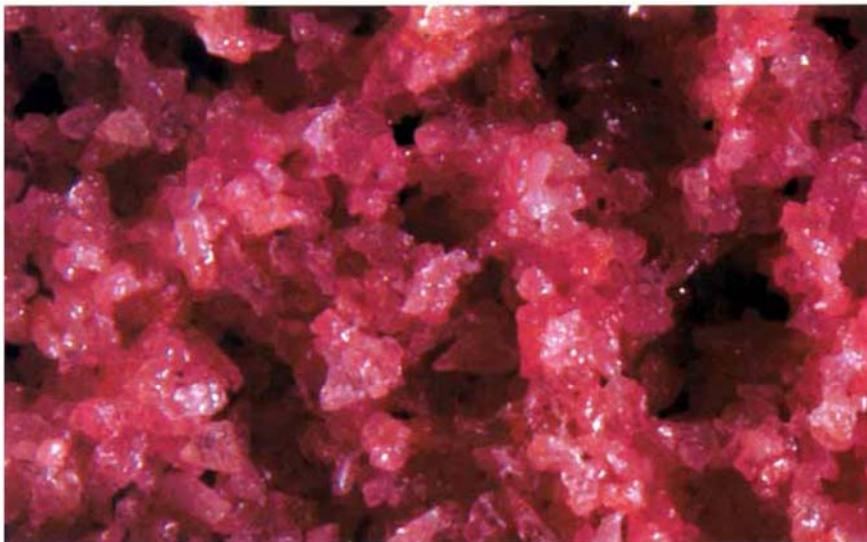
Рис. 9. Схемы шлифования кругами с искусственной пористостью и стандартной структурой.

По данным компании "Винтертур", высокая пористость абразивного круга T1ESP 400x32x127 93A46M15WPG11W обеспечивает его работу в режиме

Микроструктурные круги с искусственной пористостью



53A120 L15VPMF302W (средняя пористость для круглого шлифования)



57A46 H18VPHGG900W (высокопористая структура с крупными порами для максимального срезания материала; в основном применяется для деталей авиационной промышленности, с трудом поддающихся шлифованию).

Рис. 10. Фотографии микроструктуры абразивных кругов с искусственной пористостью.

интенсивного самозатачивания, поддерживая таким образом в процессе шлифования высокую режущую способность круга. Это достигается благодаря уменьшению количества абразивных зерен, расположенных на единице площади рабочей поверхности круга. В результате увеличивается сила резания, действующая на отдельное зерно, что обеспечивает его разрушение, т.е. приводит к

самозатачиванию и повышению остроты режущих кромок зерна. На рис. 9 показаны схемы шлифования кругами с искусственной пористостью и стандартной структурой. Как следует из рисунка, в первом случае абразивные зерна расположены реже на рабочей поверхности круга, что предопределяет его работу в режиме самозатачивания. На рис. 10 приведены фотографии микроструктуры абразивных кругов с искусственной пористостью. На рис. 11 показаны поверхности режущих зерен из обычных и спеченных корундов. В первом случае поверхность зерна гладкая, а во втором случае – с острыми кромками, являющимися результатом расщепления зерна в следствие его самозатачивания. По сути, режущие зерна из обычных корундов являются затупленными, а режущие зерна из спеченных корундов – самозатачивающимися. Для того чтобы полностью использовать потенциальные возможности зерен из спеченных корундов компания "Винтертур" разработала соответствующую систему связки, которая способствует реализации свойств самозатачивания зерен. Применение зерен из электрокорунда высшего качества и спеченных корундов, благодаря работе круга в режиме самозатачивания, позволяет существенно повысить производительность обработки и стойкость круга (рис. 12), уменьшить температуру и силы резания, увеличить интервалы времени между правками круга.

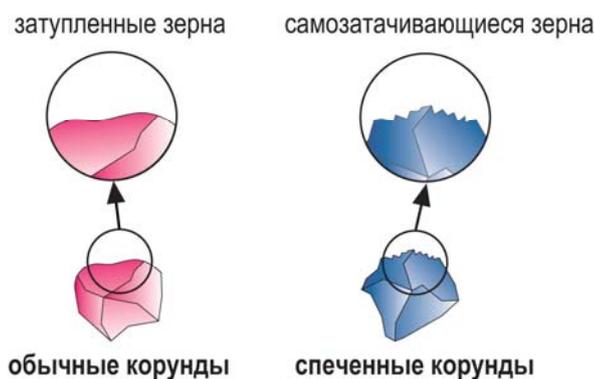


Рис. 11. Поверхности режущих зерен из обычных и спеченных корундов.

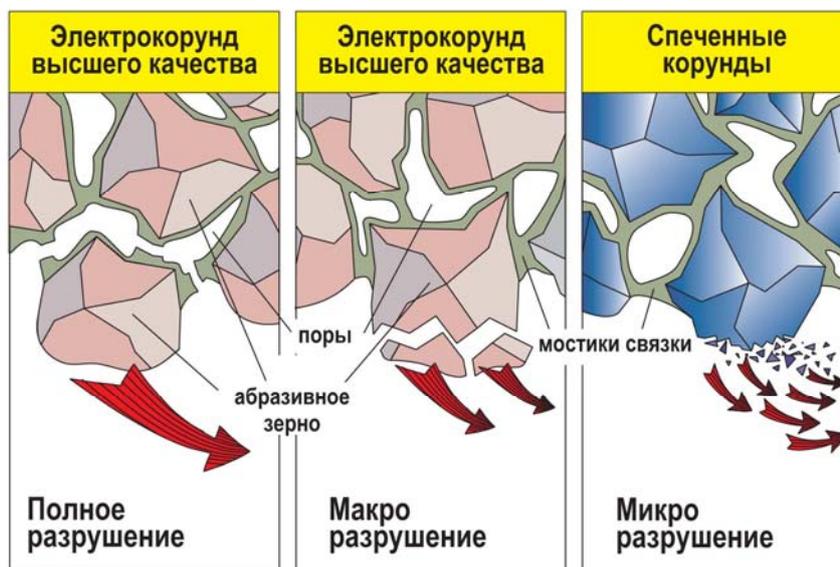


Рис. 12. Характер разрушения рабочей поверхности круга.

Экспериментально установлено, что с уменьшением глубины шлифования энергоёмкость обработки  $\sigma$  увеличивается, а уточнение  $\varepsilon$  уменьшается (рис. 13). Такая же закономерность вытекает из полученной выше зависимости

$$\frac{\sigma \cdot B \cdot V_{дет}}{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot (\varepsilon - 1) = 1, \quad (10)$$

т.е. чем больше энергоёмкость обработки  $\sigma$ , тем меньше уточнение  $\varepsilon$ . Этим и объясняется высокая трудоёмкость достижения на практике повышенных показателей точности обработки за счет уменьшения глубины шлифования. Из этого также вытекает, что наиболее полное представление о физической сущности и технологических возможностях шлифования можно получить на основе анализа по зависимости (10) двух взаимосвязанных между собой параметров: энергоёмкости обработки и уточнения, которые определяют силовую напряженность шлифования в направлении действия тангенциальной и радиальной составляющих силы резания.

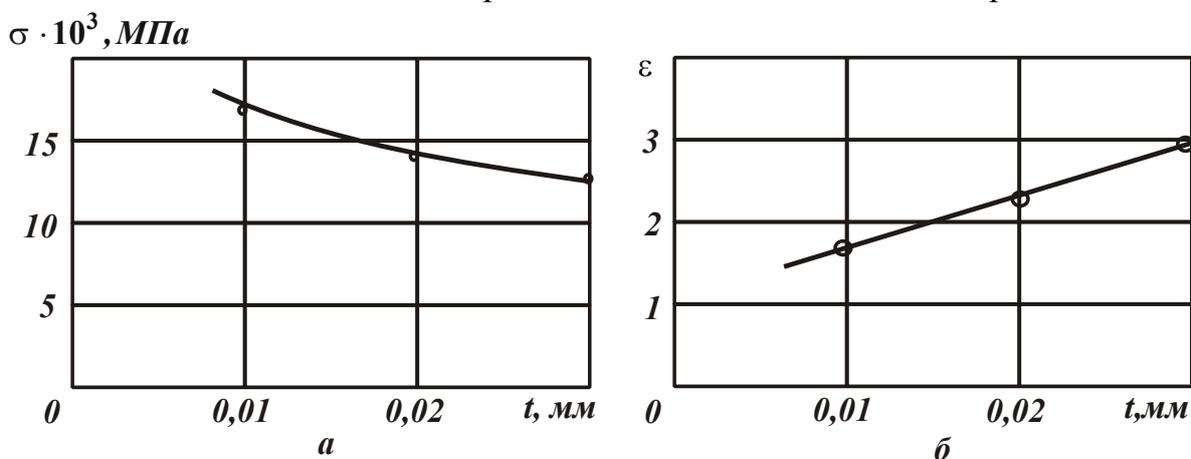


Рис. 13. Зависимости  $\sigma$  (а) и  $\varepsilon$  (б) от глубины шлифования  $t$ .

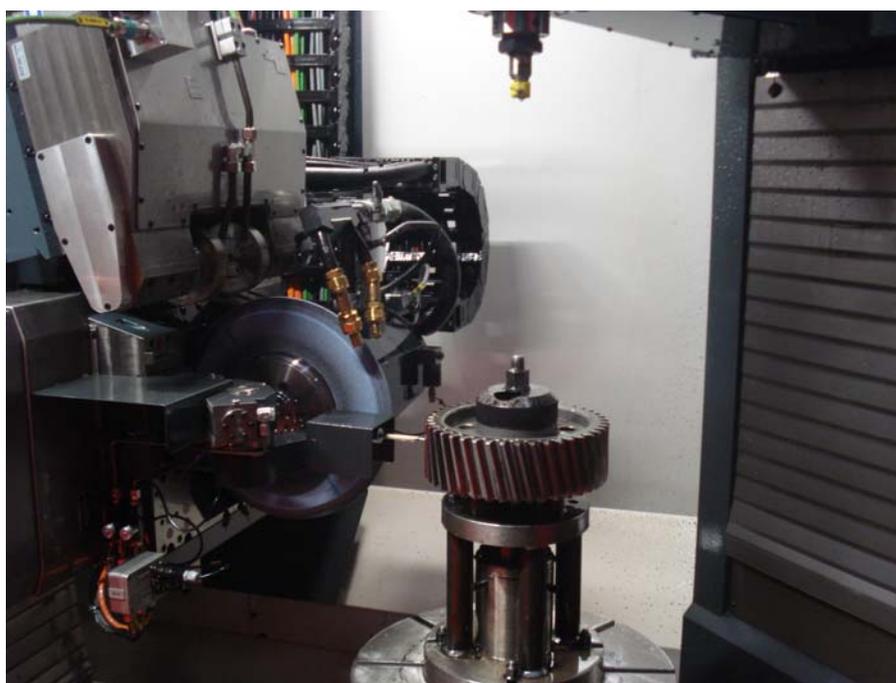


Рис. 14. Обработка на зубошлифовальном станке мод. HOFLER RAPID 1250.

Экспериментально установлено, что применение абразивного круга с двухсторонним коническим профилем типа 2П при зубошлифовании на указанных выше режимах резания позволяет стабильно обеспечить требуемые значения параметра шероховатости обработки  $R_a < 0,6$  мкм.

В работе обоснована эффективность

применения современной координатно-измерительной машины (КИМ) GLOBAL Perfomance 122210 производства итальянской фирмы DEA (концерн Hexagon) для измерения параметров точности обработки зубчатых колес [4,5]. Установлено, что при этом существенно сокращается время и повышается точность и стабильность измерений, снижается потребность в дополнительной контрольной оснастке, появляется возможность измерения тех размеров, которые ранее имеющимися техническими средствами не могли быть измерены.

Разработаны "Правила пользования протоколами КИМ для зубчатых передач", которые позволяют учесть разницу в данных между стандартом ISO и действующими ГОСТами, по которым разрабатывается заводская техническая документация. Установлено также, что, используя результаты измерений зубчатых колес с помощью координатно-измерительной машины, можно сократить сроки и повысить качество и надежность наладки зубошлифовального станка с целью обеспечения требований по точности обработки зубчатых колес. Это позволяет уменьшить количество проходов при окончательном шлифовании и выхаживании и соответственно снизить до 2-х раз трудоемкость обработки. Так установлено, что при обработке зубчатого колеса ( $m = 10$ ;  $z = 41$ ;  $\beta = 15^0$ ;  $B = 105$  мм) съём припуска величиной 0,4 мм может быть произведен за 3 черновых прохода, 1 чистовой проход и 1 проход при выхаживании. Обработка производится за 5 черновых проходов, 2 чистовых и 1–2 прохода при выхаживании.

Полученные в работе результаты исследований были также использованы для выбора оптимальных условий обработки при зубошлифовании на станке мод. NOFLER RAPID 1250 (рис. 14), обеспечивающим шлифование по методу профильного копирования за счет применения специального профильного абразивного круга. Разработанные эффективные операции зубошлифования зубчатых колес внедрены в основное производство ОАО ХМЗ "Свет шахтера". При этом гарантированно обеспечиваются требования по качеству, точности и шероховатости ( $R_a < 0,6$  мкм) обрабатываемых поверхностей зубчатых колес приводов шахтных конвейеров, что позволило повысить надежность и ресурс их работы до уровня мировых производителей аналогичной продукции.

**1. Список литературы:** 1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 2. Новиков Ф.В. Теоретическое обоснование путей уменьшения температуры при шлифовании / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский, А.Н. Ковальчук, Е.И. Иванов // Вісн. НТУ"ХП". Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2010. – № 25. – С. 83-91. 3. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров режима шлифования зубчатых колес / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып.12. – С.56-62. 4. Нежебовский В.В. Повышение эффективности технологии изготовления зубчатых передач / В.В. Нежебовский // Труды 15-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД". – 2009. – С. 274-277. 5. Ковальчук А.Н. Эффективность применения координатно-измерительной машины GLOBAL PERFOMANCE 122210 для измерения деталей зубчатых передач / А.Н. Ковальчук, В.В. Нежебовский // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 101. – С. 214-225.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

**Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет)

**Андилахай В.А.**

(Приазовский государственный технический университет)

*In-process in theory the basic terms of diminishing of power-hungryness of treatment are reasonable at polishing*

Шлифование из всех видов механической обработки характеризуется наибольшей энергоемкостью, что предопределяет его повышенную тепловую напряженность и образование на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов. Многочисленными работами доказано, что основным источником высокой энергоемкости обработки при шлифовании является трение связки круга с обрабатываемым материалом [1, 2]. Чтобы уменьшить его интенсивность, разработаны эффективные технологические средства, состоящие в применении прогрессивных методов правки круга и его импрегнации (термообработке), использовании твердых смазок и других технологических сред в зоне резания, создании кругов с прерывистой рабочей поверхностью и т.д. Вместе с тем, проблема снижения энергоемкости обработки в полной мере не решена и требует дальнейших исследований, особенной в плане аналитического описания энергоемкости обработки при шлифовании, что позволит научно обоснованно подойти к определению условий ее уменьшения. Поэтому целью настоящей работы является теоретическое обоснование условий уменьшения энергоемкости обработки при шлифовании.

В работе [3] приведены аналитические зависимости для определения коэффициента шлифования  $K_{ш}$  и условного напряжения резания  $\sigma$  (энергоемкости обработки) при шлифовании:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{P_{zp} + P_{zmp}}{P_{yp} + P_{ymp}} = K_{шp} \cdot \left(1 - \frac{P_{ymp}}{P_y}\right) + f \cdot \frac{P_{ymp}}{P_y}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_{mp} = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{шp}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{ymp}} - 1\right)}, \quad (2)$$

где  $P_{zp}$ ,  $P_{yp}$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания в зоне стружкообразования, Н;  $P_{zmp}$ ,  $P_{ymp}$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы трения обрабатываемого материала со связкой круга, Н;  $K_{шp} = P_{zp} / P_{yp}$ ;  $f = P_{zmp} / P_{ymp}$  – коэффициент трения;  $\sigma_p = P_{zp} / S_{сум}$ ,

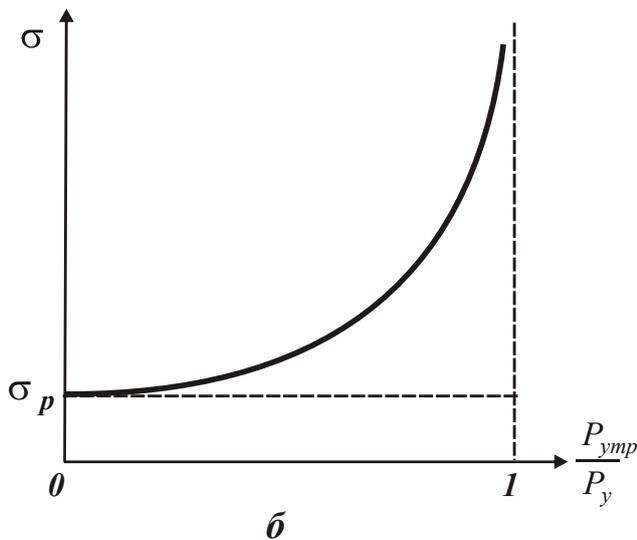
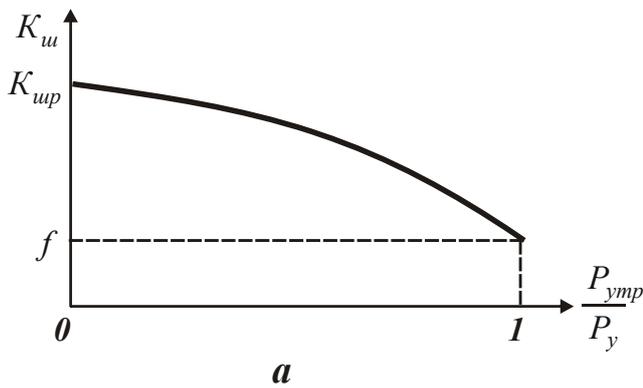


Рис. 1. Зависимости  $K_u$  (а) и  $\sigma$  (б) от  $P_{умр} / P_y$ .

$\sigma_{тр} = P_{змп} / S_{сум}$  – составляющие условного напряжения резания, обусловленные процессами резания и трения обрабатываемого материала со связкой круга,  $\text{Н/м}^2$ ;  $S_{сум} = Q / V_{кр}$  – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга,  $\text{м}^2$ ;  $Q$  – производительность обработки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $V_{кр}$  – скорость круга,  $\text{м/с}$ .

Как видно, параметры  $K_u$  и  $\sigma$  обусловлены соотношением  $P_{умр} / P_y$  (рис. 1). С его увеличением от 0 до 1 параметр  $\sigma$  неограниченно увеличивается. Это свидетельствует о преобладании в общем энергетическом балансе процесса шлифования доли энергии трения связки круга с обрабатываемым материалом, которая, как установлено экспериментально, при алмазном шлифовании может превышать долю энергии резания зернами круга до 100 раз. Полученное теоретическое решение согласуется с известными экспериментальными данными.

С учетом зависимостей (1) и (2) определим соотношение  $\sigma / K_u$ :

$$\frac{\sigma}{K_u} = \frac{\sigma_p \cdot \left[ 1 + \frac{f}{K_{умр}} \cdot \frac{\left( \frac{P_{умр}}{P_y} \right)}{\left( 1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)} \right]}{\left[ K_{умр} \cdot \left( 1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right) + f \cdot \frac{P_{умр}}{P_y} \right]} = \frac{\sigma_p}{K_{умр}} \cdot \frac{1}{\left( 1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)}. \quad (3)$$

Графически зависимость (3) показана на рис. 2, из которого следует, что с увеличением соотношения  $P_{умр} / P_y$  от 0 до 1 соотношение  $\sigma / K_u$  увеличивается от значения  $\sigma_p / K_{умр}$  до бесконечности. Следовательно, наличие трения связки круга с обрабатываемым материалом при шлифовании приводит к существенному увеличению соотношения  $\sigma / K_u$  и соответственно силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. Поэтому основным путем уменьшения соотношения  $\sigma / K_u$  является уменьшение  $P_{умр} / P_y \rightarrow 0$  (табл. 1), т.к. уменьше-

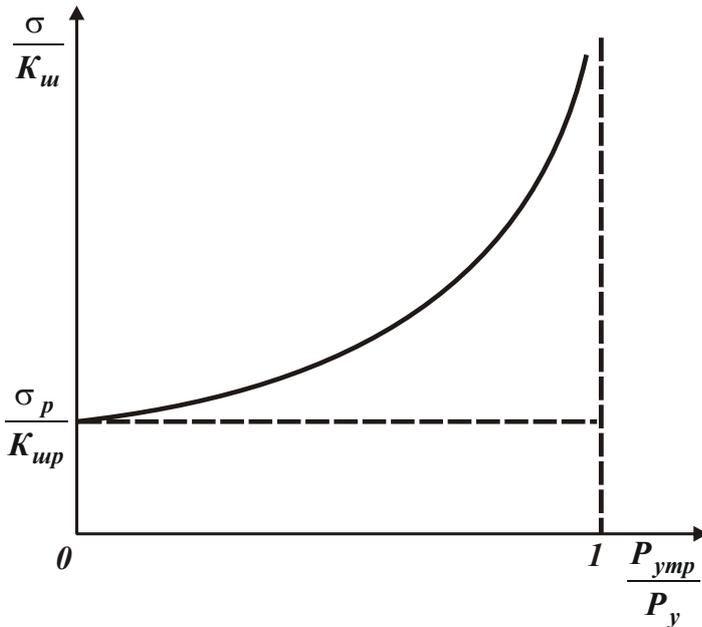


Рис. 2. Зависимость  $\sigma / K_u$  от  $P_{умр} / P_y$ .

определить соотношение  $P_{умр} / P_y$  и таким образом оценить долю энергии трения связки круга с обрабатываемым материалом в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

ние  $\sigma_p / K_{умр}$  (за счет повышения остроты режущих зерен круга) не приводит к столь существенному уменьшению  $\sigma / K_u$ .

В отличие от зависимостей (1) и (2), зависимость (3) не содержит параметр  $f$ , что позволяет более просто и однозначно оценить энергетический уровень процесса шлифования. Располагая экспериментальными значениями  $\sigma_p / K_{умр}$  и  $\sigma / K_u$  в начальный и текущий моменты шлифования, по зависимости (3) не сложно определить

Таблица 1

Расчетные значения безразмерной величины  $1 / \left( 1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)$

$\frac{P_{умр}}{P_y}$	0	0,25	0,5	0,75	1,0
$1 / \left( 1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)$	1	1,33	2,0	4,0	$\infty$

Преобразуем зависимость (2) с учетом следующего выражения:  $P_y = P_{ур} + P_{умр} = c \cdot y_1 + c \cdot y_2$ , учитывающего как процесс трения связки круга с обрабатываемым материалом, так и процесс резания зернами круга. Здесь величины  $y_1$  и  $y_2$  определяют упругие перемещения, образующиеся в технологической системе под действием составляющих силы резания  $P_{ур}, P_{умр}$ , а  $c$  – жесткость технологической системы, Н/м. При этом суммарное упругое перемещение равно  $y = y_1 + y_2$ .

Предположим, что на первом проходе круга  $y = t - t_\phi$ , где  $t, t_\phi$  – соответственно номинальная и фактическая глубины шлифования, м. Фактическая глубина шлифования обусловлена прочностными свойствами рабочей поверхности круга. Тогда  $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$ ;  $y_2 = (1 - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$ , где  $\alpha = 0 \dots 1$  – безразмерная величина.

Будем считать, что на втором проходе круга  $y = 2 \cdot (t - t_\phi)$ . Тогда  $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$ ;  $y_2 = (1 - \alpha) \cdot (t - t_\phi) + (t - t_\phi) = (2 - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$ .

На  $n$ -ном проходе круга  $y = n \cdot (t - t_\phi)$ . Тогда  $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$ ;  $y_2 = (1 - \alpha) \cdot (t - t_\phi) + (n - 1) \cdot (t - t_\phi) = (n - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$ .

Соотношение  $\frac{P_{ymp}}{P_y} = \frac{y_2}{y_1 + y_2} = 1 - \frac{\alpha}{n}$ . Следовательно, с увеличением  $n$

данное соотношение увеличивается фактически от 0 до 1, что соответствует реальным условиям шлифования. Тогда

$$\frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{ymp}} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{y_1 + y_2}{y_2} - 1\right)} = \frac{y_2}{y_1} = \frac{n}{\alpha} - 1. \quad (4)$$

Соответственно зависимость (2) примет вид

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{ур}} \cdot \left(\frac{n}{\alpha} - 1\right). \quad (5)$$

Как видно, с увеличением  $n$  энергоёмкость обработки  $\sigma$  увеличивается.

При условии  $\left(\frac{n}{\alpha} - 1\right) > \frac{K_{ур}}{f}$  второе слагаемое зависимости (2), обусловленное трением связки круга с обрабатываемым материалом, больше первого слагаемого. Преобразуем составляющую энергоёмкости обработки  $\sigma_p$  [4]:

$$\sigma_p = \frac{P_{zp} \cdot V_{кр}}{Q_\phi} = \frac{K_{ур} \cdot P_{ур} \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дем} \cdot t_\phi} = \frac{K_{ур} \cdot c \cdot y_1 \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дем} \cdot t_\phi} = \frac{K_{ур} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot \alpha}{H \cdot V_{дем}} \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right), \quad (6)$$

где  $Q_\phi = H \cdot V_{дем} \cdot t_\phi$  – фактическая производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – ширина шлифования, м;  $V_{дем}$  – скорость детали, м/с.

Подставляя зависимость (6) в (5), имеем

$$\sigma = \sigma_p + \frac{c \cdot f \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дем}} \cdot (n - \alpha) \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right). \quad (7)$$

Второе слагаемое зависимости (7) равно величине  $\sigma_{mp}$ . С увеличением  $n$  энергоёмкость обработки  $\sigma$  неограниченно увеличивается. Следовательно, основными путями уменьшения  $\sigma$  являются обеспечение примерного равенства значений  $t_\phi$  и  $t$ , а также исключение влияния  $n$  на  $\sigma$  за счет поддержания в процессе шлифования в технологической системе заданного натяга, определяемого прочностными свойствами рабочей поверхности круга. Тогда  $n = 1$  и за счет увеличения величины  $\alpha \rightarrow 1$  можно практически исключить второе слагаемое зависимости (7), т.е. существенно уменьшить трение связки круга с обрабатываемым материалом. Энергоёмкость обработки  $\sigma$  в этом случае будет обусловлена процессом резания, что позволит уменьшить силы и температуру шлифования и практически реализовать схему глубинного шлифования.

Используя зависимость (1) и выражение  $\frac{P_{умр}}{P_y} = \frac{y_2}{y_1 + y_2} = 1 - \frac{\alpha}{n}$ , определим

коэффициент шлифования

$$K_{ш} = K_{умр} \cdot \frac{\alpha}{n} + f \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{n}\right). \quad (8)$$

Как видно, с увеличением  $n$  коэффициент шлифования  $K_{ш}$  уменьшается главным образом за счет уменьшения первого слагаемого, приближаясь к значению коэффициента трения  $f$  связки круга с обрабатываемым материалом.

Соотношение  $\sigma / K_{ш}$ , определяемое (3), примет вид

$$\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\sigma_p}{K_{умр}} \cdot \frac{n}{\alpha} = \frac{c \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дет}} \cdot n \cdot \left(\frac{t}{t_{ф}} - 1\right). \quad (9)$$

В данном случае соотношение  $\sigma / K_{ш}$ , также как и параметры  $\sigma$  и  $K_{ш}$ , определяется количеством проходов круга  $n$  и  $t/t_{ф}$ . Уменьшить  $\sigma / K_{ш}$  и соответственно повысить эффективность шлифования можно уменьшением  $n$  и  $t/t_{ф}$ . Таким образом в работе аналитически описаны энергетические параметры обработки и обоснованы условия уменьшения энергоемкости шлифования.

**Список литературы:** 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 139 с. 3. Новиков Ф.В. Обоснование оптимальной кинематической схемы круглого шлифования по критериям качества и производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 106. – С. 52-67. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.

УДК 621.9.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И КРУГОВАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ СБОРКИ РОЛИКОВОГО ПОДШИПНИКА

**Баланюк А.В.**, магистр, **Гусарев В.С.**, канд. техн. наук, доц.,  
**Наддачин В.Б.**, канд. техн. наук, доц.  
 (Одесский национальный политехнический университет)

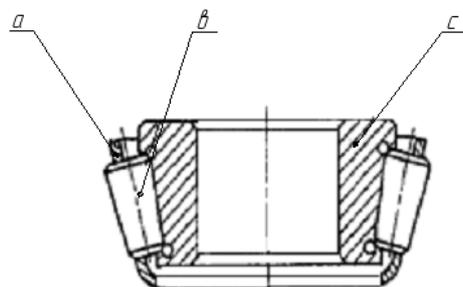


Рис. 1. Подсборка: сепаратор – ролик – внутреннее кольцо подшипника.

*Technological process and the circular automatic transfer line for assemblage of the roller bearing*

К завершающим операциям технологического процесса изготовления изделия относятся мойка, консервация, сборка и упаковка.

Автоматические линии для завершающих операций могут быть с периодическим и непрерывным движением изделий. Выбор вида перемещения изделия зависит от требуемой производительности технологического процесса. Линии с периодическим перемещением собираемых объектов созданы для карданных, роликовых и конических подшипников, клапанов, пальцев, поршней двигателей и других деталей подшипниковой и автомобильной промышленности. Рассмотрим автоматическую сборку конического роликового подшипника, которая производится на круговой автоматической линии периодического действия. Технологический объект (роликовый конический подшипник) представлен на рис. 1, состоящий из элементов (*a в с*). Алгоритм функционирования сборочной круговой автоматической линии имеет вид

$$U(a) P_{\gamma} o A_1 P_{\gamma} o A_2 P_{\gamma} o U(b) P_{\gamma} o K(b) o U(c) o K(c) o V(abc).$$

Схема кольцевой автоматической линии для сборки подшипника представляет собой многоходовое устройство периодического действия с автоматическим управлением от распределительного вала (рис. 2).

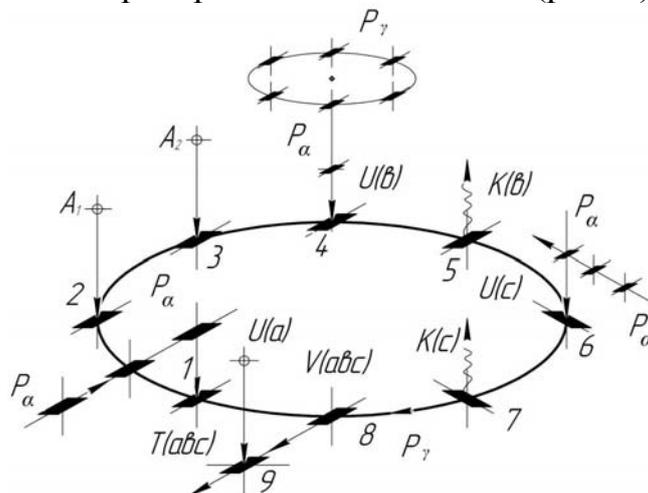


Рис. 2. Структурная схема сборочной круговой автоматической линии:

- 1 – позиция загрузки сепаратора  $U(a)$ ;
- 2 – позиция досылка сепаратора на оправку  $A_1$ ;
- 3 – позиция ориентация сепаратора по окнам  $A_2$ ;
- 4 – позиция загрузка роликов  $U(b)$ ;
- 5 – позиция контроль наличия комплекта роликов  $K(b)$ ;
- 6 – позиция загрузка внутреннего кольца подшипника  $U(c)$ ;
- 7 – позиция контроль установки внутреннего кольца  $K(c)$ ;
- 8 – позиция выгрузка комплекта собранных деталей  $V(abc)$ ;
- 9 – позиция запрессовка сепаратора с роликами в кольцо  $T(abc)$ .

На рис. 3 показаны схемы под сборки комплекта деталей подшипника, состоящего из сепаратора (*a*), роликов (*b*) и внутреннего кольца (*c*), а также механизмы, осуществляющие непосредственно сборку.

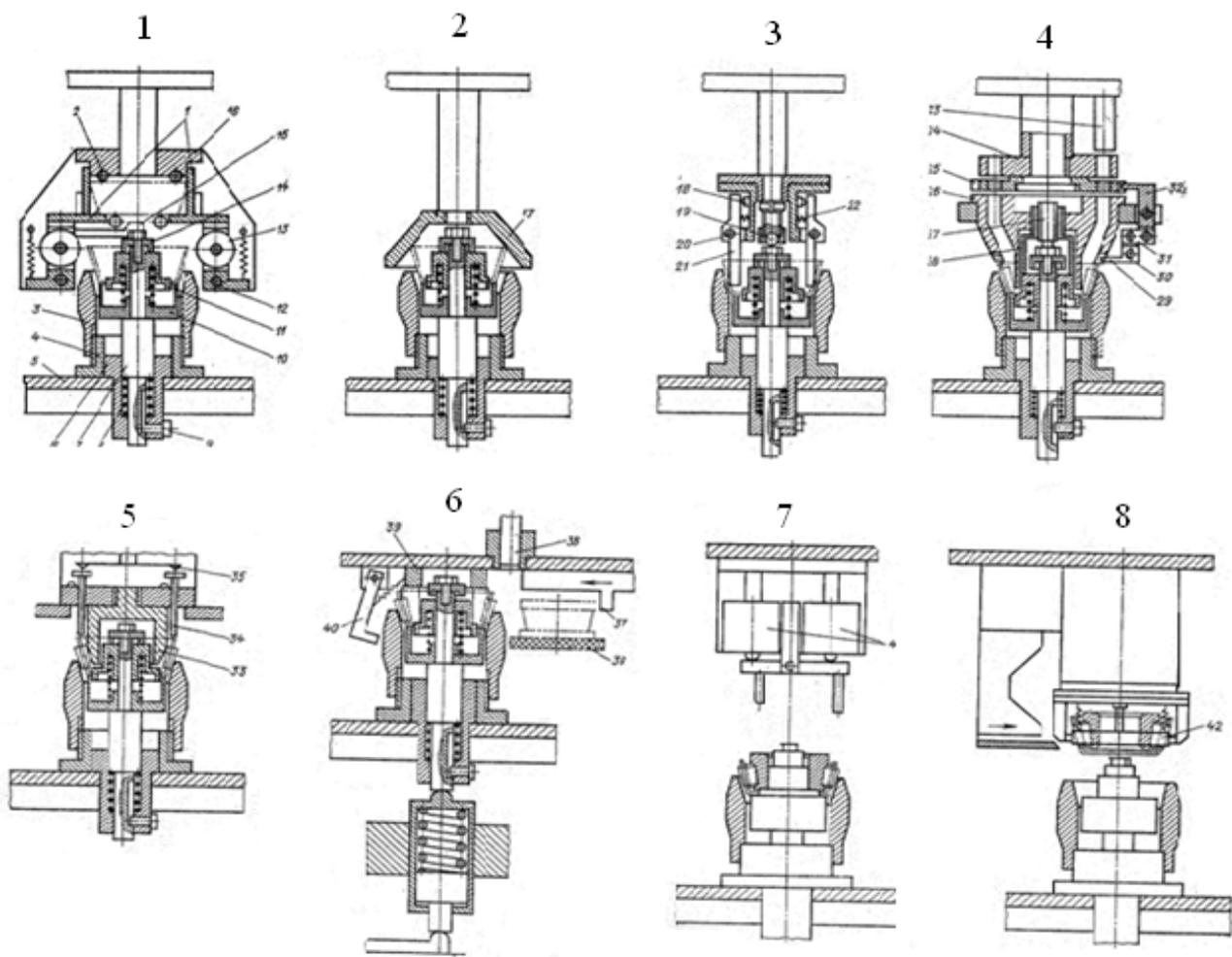


Рис. 3. Технологическая схема под сборки роликового подшипника.

*Позиция 1.* Первоначально сепараторы поступают в верхнюю полость механизма, ограниченную с боков и снизу установочными лапками 1, а сверху направляющими. При подъеме поворотного стола 5, чаша 3 наружной конусной поверхностью упирается в ролики 13, раздвигают лапки и сепаратор попадает во внутреннюю поверхность чаши, конусная поверхность которой, обеспечивает правильную ориентацию сепаратора. Базирование производится по центральному отверстию и торцу сепаратора. Для предотвращения одновременного поступления в рабочую зону двух деталей, служит отсекающий 15.

*Позиция 2.* Сепаратор поднимается до упора в конусную поверхность прижима 17, где происходит ориентация его в пространстве, для дальнейшей сборки, относительно вертикальной оси.

*Позиция 3.* На данной позиции происходит окончательная ориентация сепаратора по окнам. Ориентация производится, ориентирующими рычагами 21. Попадая в окна сепаратора рычаги, производят его дополнительный поворот вокруг опоры 11.

*Позиция 4.* Загрузка роликов в сепаратор. Из питающей трубки 23, ролики поступают в наборный диск 24, до его полного заполнения. Дальнейшее продвижение роликов ограничивает распределитель 26 и диск отсекающий 25. При очередном подъеме поворотного стола с оправкой и сепаратором, происходит совмещение отверстий диска отсекающего 25 с отверстиями в наборном (24) и распредели-

тельном (26) устройстве. Ролики перемещаются вниз и попадают в окна сепаратора. Выпадению роликов из окон сепаратора препятствует ограничитель 28.

При отсутствии сепаратора на позиции загрузки, диск-отсекатель 25 перекрывает отверстия в наборном диске 24, и ролики не могут попасть в распределитель.

*Позиция 5.* При очередном подъеме поворотного стола во внутреннюю полость сепаратора с роликами вводится распорная коническая втулка 33. Происходит дополнительно принудительная установка роликов в окна сепаратора. Для контроля наличия сепаратора с роликами и его положения служит равноплечий щуп 34.

*Позиция 6.* Установка внутреннего кольца в сепаратор. Поступившее по конвейеру 36 кольцо, перемещается на направляющие планки 40 толкателем 37. При подъеме стола внутреннее кольцо падает в сепаратор. При упоре торца внутреннего кольца в жесткую опору 39, сепаратор с роликами продолжает перемещение вверх, обеспечивая прохождение нижнего бурта внутреннего кольца ниже роликов и попадание их на беговую дорожку кольца.

*Позиция 7.* С помощью электро-контактных датчиков 41, производится контроль наличия кольца и сепаратора на оправке, что исключает подачу команды на останов автомата.

*Позиция 8.* Гидроцилиндром производится обжим сепаратора и окончание процесса сборки. Далее собранная подборка поступает на лоток и транспортную систему автоматической линии. Система автоматической сборки подшипника позволяет получить: высокую производительность выпуска, которая составляет 240 шт/час; надежность работы линии 0,8 – 0,82.

**Список литературы:** 1. Спришевский А.И. Подшипники качения. – М.: Машиностроение, 1969. – 632 с. 2. Автоматические линии в машиностроении: Справочник. – Т.3: Комплексные автоматические линии и участки. – М.: Машиностроение, 1985. – 480 с. 3. Гусарев В.С. Структурные схемы сборочных автоматов // Автоматизация сборочных процессов. – Рига: РПИ – МО ЛССР, 1980. – С. 5-10.

**УДК 621.923**

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Иванов И.Е.**, канд. техн. наук

(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь)

*The terms of increase of the polishing productivity are in-process reasonable. Comparison of charts of the round longitudinal multipass and deep polishing is conducted*

Как известно, основным методом обработки деталей, изготовленных из материалов с повышенными физико-механическими свойствами, является шлифование. В связи с этим, совершенствование данного метода обработки является актуальной задачей. В особой мере это относится к обработке цилиндрических и конических поверхностей крупногабаритных деталей тяжелого

машиностроения и металлургического назначения с наплавленными материалами твердостью HRC 62–63. Традиционно обработка данных деталей осуществляется шлифованием. Применение резцов из твердых сплавов и синтетических сверхтвердых материалов при съеме значительных неравномерных припусков приводит к образованию сколов на обрабатываемых поверхностях и снижению качества обработки. При этом процесс шлифования характеризуется низкой производительностью обработки и высоким износом абразивного круга, работающим в режиме самозатачивания с целью обеспечения высокой режущей способности и снижения энергоемкости обработки [1]. Поэтому, важной задачей является определение путей увеличения производительности обработки наплавленных материалов. Цель работы – теоретическое обоснование условий повышения производительности процесса круглого шлифования деталей с износостойкими наплавленными материалами.

В обобщенном виде производительность обработки  $Q$  может быть определена на основе подхода, предложенного в работе [2]:

$$Q = \frac{\mathcal{G}_{\text{объем}}}{\tau} = k \cdot B \cdot V_{\text{кр}} \cdot \mathcal{G}_{\text{зерно}} \cdot \frac{a_z}{b}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{G}_{\text{объем}} = n \cdot \mathcal{G}_{\text{зерно}}$  – объем снятого материала, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время обработки, с;  $\mathcal{G}_{\text{зерно}}$  – объем материала, снятого одним режущим зерном, м<sup>3</sup>;  $n = k \cdot F \cdot a_z / b$  – количество зерен, участвующих в съеме материала;  $k$  – поверхностная концентрация зерен круга, шт/м<sup>2</sup>;  $F = B \cdot L$  – площадь рабочей поверхности круга, которая за время  $\tau$  проконтактировала с обрабатываемым материалом, м<sup>2</sup>;  $a_z$  – максимальная толщина среза отдельным зерном круга, м;  $b$  – высота выступания режущего зерна над уровнем связки круга, м;  $B$  – ширина шлифования, м;  $L = V_{\text{кр}} \cdot \tau$  – длина рабочей поверхности круга, которая за время  $\tau$  проконтактировала с обрабатываемым материалом, м;  $V_{\text{кр}}$  – скорость круга, м/с.

Из зависимости (1) следует, что увеличить производительность обработки  $Q$  можно увеличением параметров  $k$ ,  $B$ ,  $V_{\text{кр}}$ ,  $\mathcal{G}_{\text{зерно}}$  и отношения  $a_z / b \rightarrow 1$ . Увеличение  $k$  предполагает применение кругов с большим содержанием зерен, увеличение  $a_z / b \rightarrow 1$  – повышение прочности удержания зерен в связке и собственно прочности зерен, а увеличение  $\mathcal{G}_{\text{зерно}}$  – увеличение толщины и длины среза отдельным зерном круга. При шлифовании торцом круга параметр  $\mathcal{G}_{\text{зерно}}$ , очевидно, больше, чем при шлифовании периферией круга. Поэтому и производительность обработки  $Q$  потенциально выше.

Как известно, круглое наружное шлифование осуществляется по схемам многопроходного и глубинного шлифования. При многопроходном шлифовании параметр  $\mathcal{G}_{\text{зерно}}$  может быть представлен  $\mathcal{G}_{\text{зерно}} = 2/3 \cdot a_z^2 \cdot l$ , а при глубинном шлифовании –  $\mathcal{G}_{\text{зерно}} = 1/3 \cdot a_z^2 \cdot l$ , где  $l = \sqrt{2 \cdot t / \rho}$  – длина дуги контакта круга с обрабатываемым материалом (длина среза отдельным зерном круга), м;  $t$  – номи-

нальная глубина шлифования, м;  $\rho = 1/R_{кр} + 1/R_{дет}$ ;  $R_{кр}, R_{дет}$  – соответственно радиусы круга и детали, м;  $V_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}}$  – скорость детали, м/с.

При многопроходном шлифовании номинальная глубина шлифования  $t$  ограничена высотой выступания режущего зерна над уровнем связки круга  $b$  и принимает значения  $0 \dots b$ . В пределе  $t=b$ , тогда

$$Q_{мног} = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{a_z}{b} \cdot \frac{2}{3} \cdot a_z^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot b}{\rho}}. \quad (2)$$

При глубинном шлифовании производительность обработки  $Q_{\dot{a}\dot{e}}$  определится

$$Q_{гл} = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{a_z}{b} \cdot \frac{1}{3} \cdot a_z^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t}{\rho}}. \quad (3)$$

Как видно, за счет того, что  $t > b$ , при глубинном шлифовании можно добиться большей производительности обработки. При условии  $a_z/b = 1$  зависимости (2) и (3) принимают вид

$$Q_{мног} = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{2}{3} \cdot b^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot b}{\rho}}; \quad (4)$$

$$Q_{гл} = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{1}{3} \cdot b^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t}{\rho}}. \quad (5)$$

В этом случае при многопроходном шлифовании параметр  $b$  в большей степени влияет на увеличение производительности обработки, чем при глубинном шлифовании. Следовательно, при многопроходном шлифовании основным путем увеличения номинальной глубины шлифования  $t$  и соответственно производительности обработки  $Q_{мног}$  является увеличение параметра  $b$ . Например, для алмазного круга [3]:  $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$ ;  $k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}$ , где  $m$  – объемная концентрация зерен в круге (безразмерная величина, равная для алмазного круга 100%-ной концентрации  $m=100$ );  $\bar{X}$  – зернистость круга, м;  $\varepsilon$  – безразмерный коэффициент, учитывающий степень выступания зерен над уровнем связки ( $\varepsilon < 1$ ). Тогда зависимости (4) и (5) опишутся

$$Q_{мног} = \frac{m \cdot (1 - \varepsilon)^3 \cdot B \cdot V_{кр}}{100 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}}{\rho}}; \quad (6)$$

$$Q_{гл} = \frac{m \cdot (1 - \varepsilon)^3 \cdot B \cdot V_{кр}}{200 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t}{\rho}}. \quad (7)$$

Как видно, при многопроходном шлифовании зернистость круга  $\bar{X}$  входит в зависимость (6) для определения производительности обработки, а при глубинном шлифовании – не входит в зависимость (7). Поэтому увеличение  $\bar{X}$  является важным условием повышения производительности многопроходного шлифования, т.к. увеличение  $\bar{X}$  позволяет увеличить номинальную глубину шлифования  $t$ .

Из всех входящих в зависимости (6) и (7) параметров наибольшее влияние на производительность обработки оказывает безразмерный коэффициент  $(1 - \varepsilon)$ , учи-

тывающий степень выступления зерен над уровнем связки ( $\varepsilon < 1$ ). Чем больше  $(1 - \varepsilon)$ , тем больше производительность обработки. При многопроходном шлифовании влияние данного коэффициента на производительность обработки значительнее, чем при глубинном шлифовании. Поэтому, чтобы добиться более высоких значений производительности при многопроходном шлифовании по сравнению с глубинным шлифованием, необходимо обеспечить более прочное удержание зерен в связке круга, применяя, например, алмазные круги на металлических связках или крупнозернистые абразивные круги повышенной твердости.

**Список литературы:** 1. Андилахай В.А. Выбор оптимальной схемы шлифования контактных (наплавленных) поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения / В.А. Андилахай // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2010. – С. 119-124. 2. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с. 3. Алмазно-абразивная обработка материалов: справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. ”Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.

**УДК 621.921**

## **СТРУЙНЫЕ МЕТОДЫ И КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВОК ДЛЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

**Андилахай А.А.**, канд. техн. наук

(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь)

*The analysis of stream methods and constructions of fluidizers is in-process  
conducted finishing treatment of details*

Одним из наиболее перспективных направлений отделочной обработки деталей сложной конфигурации является струйная обработка [1]. Струйные методы обработки свободным сухим, смоченным или взвешенным в жидкости абразивом, применяются в настоящее время для удаления окалины, заусенцев, скругления острых кромок, получения матовых поверхностей, удаления окисной пленки перед склеиванием, покраской или нанесением гальванопокрытий, для обработки металлических деталей с целью повышения их усталостной прочности, антикоррозионных свойств, а также для устранения видимых поверхностных дефектов. Цель работы – проведение сравнительного анализа струйных методов и конструкций установок для отделочной обработки деталей.

Технология отделочной обработки деталей зернистым абразивом характеризуется широкими возможностями по сравнению с известными методами абразивной обработки, особенно привлекательной является возможность обработки деталей малой жесткости. К таким деталям относят почти все детали

приборостроения и оптико-механического производства, а также ряд тонкостенных легкодеформируемых деталей из других отраслей производства, обработка которых жестким инструментом приводит к потере требуемой точности геометрической формы. Вместе с тем, увеличение выпуска товаров народного потребления, получаемых прессованием или штамповкой, отнесенных к деталям сложной конфигурации, в значительной мере тормозится отсутствием высокопроизводительных методов получения требуемого качества поверхностей, подвергающихся в дальнейшем гальваническим и лакокрасочным покрытиям. Кроме того, скругление острых кромок и удаление заусенцев, образующихся на деталях после различных операций обработки резанием (например, после обра-

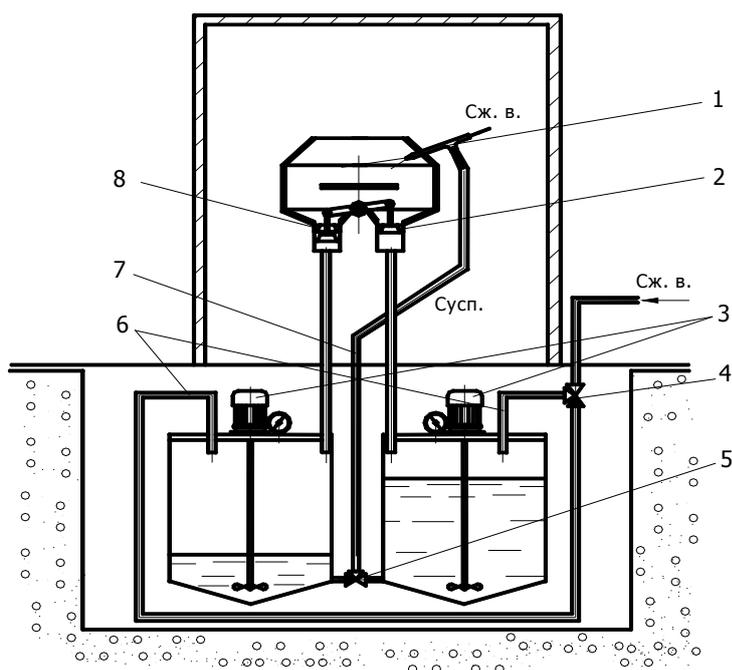


Рис. 1. Установка для струйно-абразивной обработки деталей с поочередно действующими вытеснительными баками: 1 – сопловой аппарат; 2, 8 – сливные клапаны; 3 – электродвигатели для перемешивания суспензии; 4 – распределитель сжатого воздуха; 5 – клапан поочередного забора суспензии; 6 – воздухопровод; 7 – трубопровод для подачи суспензии.

ботки на токарных автоматах), является не менее сложной и поэтому актуальной задачей для обеспечения высокой производительности механической обработки. По данным НИИАШ [2] более 80% трудоемкости финишных операций обработки лопаток и дисков паровых и газовых турбин выполняется вручную. Нормативы трудоемкости на скругление кромок на рабочих дисках турбин составляют в зависимости от размера деталей от 4 до 20 ч на один диск. Проблеме механизации операций удаления заусенцев и скругления кромок уделяется самое серьезное внимание в мировой практике. По данным проблемам созданы европейский и японский комитеты, в которые входит ряд машиностроительных фирм. По данным этих комитетов трудозатраты на удаление заусенцев составляют от 5 до 30% производственных затрат. Обследование около 400 машиностроительных фирм США (данные журнала «Production») показало, что затраты на удаление заусенцев и скругление кромок составляют от 10 до 40 % общей трудоемкости. Публикации последних лет указывают на неуклонно возрастающий интерес разработчиков новых технологий и оборудования к созданию методов отделочной обработки поверхностей деталей потоком свободного абразива. Особое место среди них занимает струйная обработка зернистыми материалами (абразив-

ботки на токарных автоматах), является не менее сложной и поэтому актуальной задачей для обеспечения высокой производительности механической обработки. По данным НИИАШ [2] более 80% трудоемкости финишных операций обработки лопаток и дисков паровых и газовых турбин выполняется вручную. Нормативы трудоемкости на скругление кромок на рабочих дисках турбин составляют в зависимости от размера деталей от 4 до 20 ч на один диск. Проблеме механизации операций удаления заусенцев и скругления кромок уделяется самое серьезное внимание в мировой практике. По данным проблемам созданы европейский и японский комитеты, в которые входит ряд машиностроительных фирм. По

ными частицами). Обработка деталей потоком абразивных частиц может достигаться несколькими путями. Среди них способ обработки абразивной суспензией, пневмоструйная и пневмо-гидро-пескоструйная обработка. Жидкостно-абразивные струйные установки можно классифицировать по величине рабочего давления, по способу подачи абразивного материала, а также по виду носителя абразивных частиц. По первому признаку различают установки двух типов: – использующие высокое давление – 1–10 МПа; и – низкое давление

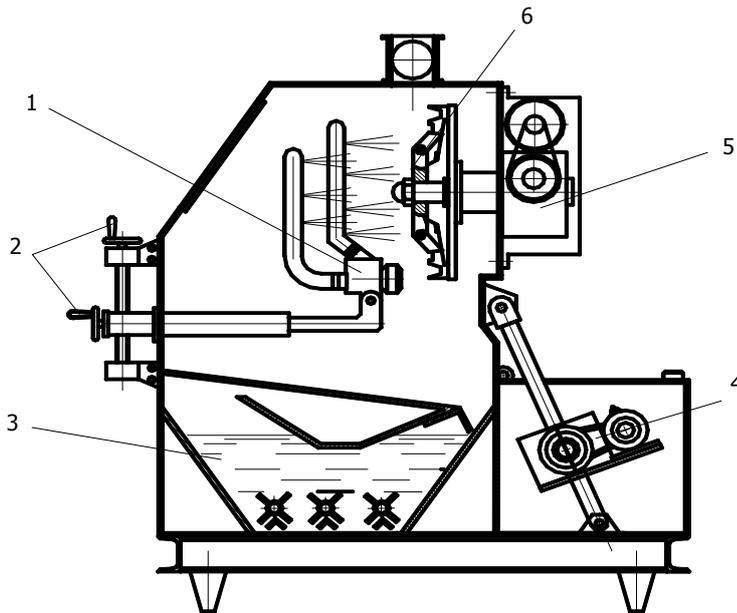


Рис. 2. Установка для струйно-абразивной обработки деталей: 1 – сопловой аппарат; 2 – устройство перемещения и фиксации струйного аппарата; 3 – бак с абразивной суспензией; 4 – механизм вывода обрабатываемой детали из зоны обработки; 5 – механизм вращения обрабатываемой детали; 6 – приспособление для закрепления обрабатываемой детали [2].

0,5–0,6 МПа. Установки высокого давления используются для предварительной обработки относительно крупных деталей и характеризуются большими габаритными размерами. Высокое давление обеспечивается специальным индивидуальным источником. Установки низкого давления используются для обработки деталей средних и относительно малых размеров. Как правило, установки содержат сопловой аппарат и стол для размещения обрабатываемых деталей. Питание осуществляется сжатым воздухом от промышленной пневмосети. Обработка деталей может осуществляться непрерывно. Установка снабжена двумя баками абразивной суспензии, благодаря чему обеспе-

чивается практически непрерывная обработка деталей, располагаемых на столе под сопловым аппаратом. При включении установки сжатый воздух подается в сопловой аппарат и к распределителю 4. Через распределитель 4 сжатый воздух подается в один из баков (по схеме на рис. 1 в правый бак). Одновременно клапан 5 включают для забора суспензии из правого бака, клапан 2 закрывают для создания избыточного давления в правом баке, а клапан 8 открывают для слива суспензии самотеком в левый бак, благодаря этому суспензия подается к сопловому аппарату и ускоряется потоком сжатого воздуха. По мнению авторов, устройство обеспечивает высокую производительность обработки и экономичность процесса. Однако нельзя не признать неизбежность потерь машинного времени на смену сопел, подвергающихся интенсивному износу прокачиваемой абразивной суспензией, а также расходов на изготовление сопел, являющихся быстроизнашиваемыми деталями.

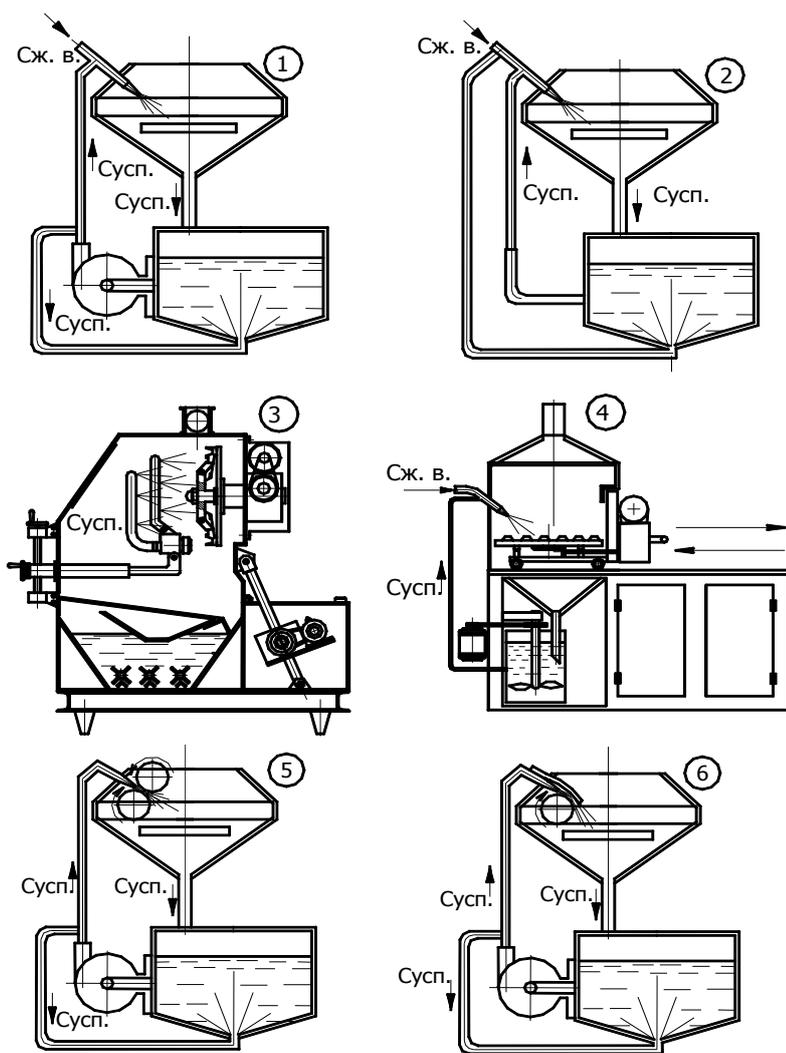


Рис. 3. Принципиальные схемы струйных установок для обработки абразивной суспензией, перемешиваемой барботированием: Сж. в. – подача сжатого воздуха; Сусп. – подача абразивной суспензии.

под давлением из емкости через сопла на обрабатываемые детали, и установки, в которых подача абразива из бака к соплу осуществляется за счет эжекции.

В настоящее время известны две разновидности энергоносителей, применяемых при струйной обработке – газообразные и жидкие. При обработке деталей с помощью сжатого воздуха на пескоструйных аппаратах достигается достаточное качество поверхности, однако обильное пылевыведение послужило причиной запрета на применение этого способа. В 1969–70 г. фирмой "Lockheed-California" была опробована обработка металлических изделий порошком из твердой углекислоты – «сухого льда», обладающего достаточной твердостью. При этом достигается не только очистка поверхностей металлических изделий, но и создание на поверхности алюминия требуемой шероховатости, обеспечивающей прочное сцепление с наносимым слоем защитного покрытия. Основным достоинством метода является исключение загрязнения окружающей среды и необходимости эвакуации отработанного песка или дроби. Однако

Установки низкого давления используются для обработки деталей средних и относительно малых размеров. Как правило, установки содержат сопловой аппарат и стол для размещения обрабатываемых деталей [3] (рис.2). Питание осуществляется сжатым воздухом от промышленной пневмосети.

На базе этой конструкции автором создана гамма установок, в число которых вошли модификации с самоочисткой суспензии (рис. 2), с механизированной загрузкой и съемом обрабатываемых деталей, а также установки, используемые для обработки прессформ. В зависимости от способа подачи абразива струйные установки, работающие под давлением до 0,6 МПа, могут быть разделены на две группы: установки, в которых суспензия подается

метод не нашел широкого применения в связи с тем, что для получения «сухого льда» необходима температура  $-18^{\circ}\text{C}$  и давление 2, 3 МПа.

Широкое применение в промышленности, как в Украине, так и за рубежом, находят установки для жидкостно-абразивной обработки, работающие на сжатом воздухе. Они выполняются в виде шкафов, часто оснащаются вспомогательными съемниками, транспортерами, приспособлениями для мойки и сушки.

На основании многолетней эксплуатации жидкостно-абразивных установок пришли к выводу о целесообразности обработки мелких деталей сложной формы струйными аппаратами с ручным управлением. Подобные установки выпускаются фирмами «Abrasive Developments» и «Filghments». Струйная обработка деталей, помещенных на поворотный стол, обеспечивается подвижным сопловым аппаратом, управляемым оператором вручную. Жидкостно-абразивные установки, как правило, снабжены баком для сбора и подготовки абразивной суспензии, которая транспортируется по трубопроводам к сопловому аппарату.

Принципиальные схемы существующих струйных установок для обработки деталей абразивной суспензией, перемешиваемой барботированием, представлены на рис. 3. Для наглядности здесь показаны лишь наиболее важные узлы и элементы. До подачи суспензии из сопла она проходит ряд этапов по следующим схемам: 1 – перемешивается суспензией, частично возвращаемой внутрь бака, подается к сопловому аппарату и инжектируется сжатым воздухом; 2 – перемешивается сжатым воздухом малого давления (0,2–0,5 МПа), подается к сопловому аппарату, а затем ускоряется потоком сжатого воздуха более высокого давления; 3 – перемешивается сжатым воздухом, и инжектируется потоком сжатого воздуха к сопловому аппарату, расположенному перед вращающимся вокруг горизонтальной оси столом с закрепленными обрабатываемыми деталями с возможностью поворота стола и вывода деталей из зоны обработки; 4 – перемешивается лопастями и инжектируется потоком сжатого воздуха к сопловому аппарату, расположенному перед вращающимся вокруг вертикальной оси столом с закрепленными обрабатываемыми деталями с возможностью перемещения из зоны обработки; 5 – перемешивается суспензией, частично возвращаемой внутрь бака, подается в сопловый аппарат, а затем ускоряется вращающимися валками; 6 – перемешивается суспензией, частично возвращаемой внутрь бака, подается в сопловый аппарат, а затем в промежуток между вращающимся валком и щитком.

Принципиальные схемы известных струйных установок для обработки деталей абразивной суспензией, перемешиваемой лопастями, представлены на рис. 4, где 1 – перемешивается лопастями и подается помпой без сжатого воздуха; 2 – перемешивается лопастями и периодически вытесняется сжатым воздухом из бака без эжекции; 3 – перемешивается лопастями, подается к сопловому аппарату насосом, а затем инжектируется потоком сжатого воздуха; 4 – перемешивается лопастями и инжектируется потоком сжатого воздуха; 5 – перемешивается лопастями и попеременно вытесняется сжатым воздухом из двух баков без эжекции; 6 – лопастями, подается к сопловому аппарату помпой, а затем ускоряется вращающейся крыльчаткой.

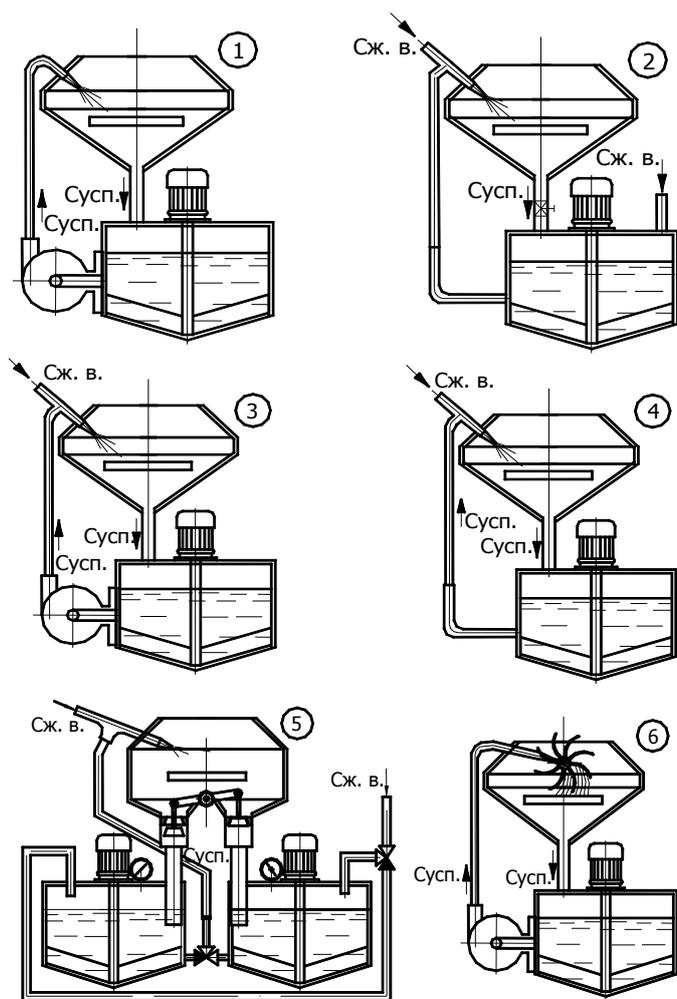


Рис. 4. Принципиальные схемы струйных установок для обработки абразивной суспензией, перемешиваемой лопастями: Сж. в. – подача сжатого воздуха; Сусп. – подача абразивной суспензии.

Установки, работающие по вышеперечисленным схемам, имеют различное целевое назначение. На установках, работающих по схемам (рис. 1– рис. 3), достигается наиболее интенсивная обработка, так как суспензия подается к соплу принудительно, а затем разгоняется струей сжатого воздуха давлением 0,5–0,6 МПа до скорости 50–180 м/с. Остальные установки используются в тех случаях, когда не требуется интенсивного съема металла. В целом струйная обработка обладает рядом достоинств, к числу которых следует отнести: низкий уровень шума (10–20 дБ); универсальность (возможность обработки различных деталей сложной конфигурации, а также деталей из различных материалов без переналадки); легкость плавной регулировки интенсивности процесса; низкие эксплуатационные расходы; совмещение удаления заусенцев с удалением смазки и загрязнения; возможность многократного использования абразива; возможность обработки деталей в труднодоступных местах.

Наряду с этим, все струйные установки характеризуются весьма существенным недостатком: вследствие подачи абразивной суспензии через сопла, являющиеся наиболее ответственными элементами, последние подвергаются интенсивному абразивному разрушению. Так, при обработке суспензией из кварцевого песка при давлении 0,5 МПа износ сопла диаметром 4 мм из стали У10А за три часа работы составил 1 мм. По данным ряда авторов стойкость сопел из стали У10А не превышает 8–10 часов, а стойкость сопел из белого чугуна составила 4–6 часов.

Установлено, что при обработке порошком карбида кремния зеленого (63<sup>0</sup>С) стойкость сопел, изготовленных из твердого сплава на основе карбида вольфрама, составляет 5–10 часов, из керамики – 3–5 часов, чугуна – 2–3 часа. Попытки применить сопла из резины, капрона, полиуретана не дали положительного результата. Экспериментальная отработка конструктивных параметров, за счет профилирования продольного сечения сопел, позволила повысить их стойкость в 2–2,5 раза. Однако при малой исходной стойкости это увеличение составляет всего 10–15 часов. Коренное изменение схемы струйной обработки позволило исключить существенный недостаток, связанный с низкой

стойкостью струйных аппаратов, открыло перспективу эффективного использования струйной обработки для отделки и зачистки деталей малой жесткости.

Метод основан на обработке деталей во вращающемся по сложной траектории жидкостно-абразивном потоке. Вращение жидкостно-абразивного потока осуществляется за счет струй сжатого воздуха, подаваемых через систему сопел завихрителя внутрь рабочей камеры. Сопла в завихрителе расположены по окружности, что обеспечивает образование замкнутого потока рабочей жидкости, способствующего транспортировке деталей и абразива от струи к струе.

В зонах срезов сопел зернистый абразив инжектируется из суспензии в струи сжатого воздуха; при этом непрерывное струйное течение воздуха исключает возможность попадания абразивных зерен внутрь сопел, исключая, тем самым, их износ. Кроме того, слой вращающейся жидкости предохраняет внутреннюю поверхность рабочей камеры от прямого воздействия воздушно-абразивных струй, препятствуя износу резиновой облицовки.

Абразив и детали, отличающиеся плотностью и лобовым сопротивлением, попадая в струю, приобретают разные скорости. Совместное динамическое воздействие высокоскоростных воздушных и жидкостных потоков, несущих абразивные частицы, обеспечивает обработку и интенсивное перемешивание деталей. Струйно-абразивный метод обработки затопленными струями [4] обладает рядом достоинств, среди которых: низкий уровень шумов; отсутствие агрессивной среды, движущихся частей оборудования; абразивного износа сопел; малое количество абразива, необходимого для обработки, а также избирательная способность процесса в случае обработки плоских деталей.

Основными параметрами обработки затопленными струями являются: количество, размеры, форма и направление воздушных сопел; форма и размеры рабочей камеры; давление сжатого воздуха, количество, физические и химические характеристики жидкости; количество, зернистость, геометрическая форма и физическая характеристика абразивного материала; количество, единичная масса, материал и конфигурация обрабатываемых деталей и время обработки.

В настоящей работе рассмотрены новые метод и оборудование для абразивной обработки затопленными струями деталей приборостроения, электронной техники, часовой промышленности и оптико-механического производства.

Основными отличительными особенностями данного процесса от известных процессов струйной обработки являются: незакрепленное (свободное) состояние деталей в моменты воздействия абразивных зерен; структура струйных образований, которые представляют собой смесь потоков воздуха, жидкости, абразива и деталей; присоединение абразива к струе после ее формирования, что исключает возможность износа каналов сопел; сочетание обработки и интенсивного перемешивания деталей. Данный метод обработки получил достаточно широкое применение.

**Список литературы:** 1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 277 с. 2. Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля: Методические рекомендации / З.И. Кремень, М.Л. Миссарский, В.З. Гузель. – М.: НИИмаш. – 1987. – 53 с. 3. Агранат Б.А. Ультразвуковая технология / Б.А. Агранат. – М., 1974. – 504 с. 4. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.

## ТЕМПЕРАТУРА И ГЛУБИНА ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

**Лищенко Н.В.**, канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

**Мочуляк А.В.** (ООО «Внешторг – Микрон», г. Одесса)

*A well-known equation for grinding temperature calculating is transformed by approximation method to determine explicitly the defect layer depth in grinding*

В технической литературе приводится решение одномерного дифференциального уравнения теплопроводности. Например, при граничных условиях второго рода получено решение [1]:

$$\begin{aligned} \Theta_1(X, H) &= 2\pi\sqrt{H}ierfc\frac{X}{2\sqrt{H}} = \\ &= 2\pi\sqrt{H} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{X^2}{2\sqrt{H}}\right) - \frac{X}{2\sqrt{H}} \cdot erfc\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right) \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $H = \frac{V \cdot h}{2a}$  – безразмерная полуширина теплового источника;  $X = \frac{V \cdot x}{2a}$  – безразмерная координата;  $V$  – скорость перемещения источника тепла (скорость детали), м/с;  $h$  – полуширина источника тепла ( $0 \leq h \leq h_{\max}$ ), например, при плоском шлифовании  $h_{\max} = \frac{\sqrt{D \cdot t}}{2}$ , м;  $x$  – размерная координата, направленная по глубине поверхностного слоя, м;  $D$  – диаметр шлифовального круга, м;  $t$  – глубина шлифования, м;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Проведем исследование функции  $f_1 = \frac{\Theta_1(X, H)}{2\pi\sqrt{H}} = ierfc\frac{X}{2\sqrt{H}}$ , содержащейся в уравнении (1), используя прикладной пакет MathCAD. Исследуемая функция имеет вид

$$f_1 = ierfc\frac{X}{2\sqrt{H}} = \left( \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{X^2}{2\sqrt{H}}\right) - \frac{X}{2\sqrt{H}} \cdot erfc\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right) \right). \quad (2)$$

Определим интервалы изменения безразмерной глубины  $X$  и аргумента  $\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)$  исследуемой функции. При определении интервалов учтём, что для различных схем шлифования параметр  $H$  изменяется в пределах  $4 \leq H \leq 20$  [1]. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо изучить интервал изменения  $H$ , который будет не меньше указанного. Примем, что глубина прогреваемого поверхностного слоя при шлифовании (размерная координата  $x$ ) изме-

няется в интервале  $0 \leq x \leq 1 \cdot 10^{-3}$  м. Для большого числа схем шлифования скорость перемещения источника тепла  $V$  (скорость детали) изменяется в интервале  $0,1 \leq V \leq 20$  м/мин. Коэффициент теплопроводности  $a$  машиностроительных сталей изменяется в интервале  $4 \cdot 10^{-6} \leq a \leq 10 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с для инструментальных, углеродистых, легированных и высоколегированных сталей [2]. С учетом указанных интервалов определим максимальное и минимальное значения безразмерного параметра  $X$ :  $X_{\min} = \frac{V_{\min} \cdot x_{\min}}{2 \cdot a_{\max}}$ ;  $X_{\max} = \frac{V_{\max} \cdot x_{\max}}{2 \cdot a_{\min}}$ .

Подставляя численные значения, получим

$$X_{\min} = \frac{0,1 \cdot 0}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0; \quad X_{\max} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 41,7.$$

Определим максимальное и минимальное значения параметра  $\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)$ ,

который является аргументом исследуемой функции  $f_1$ . Получаем

$$\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)_{\min} = \frac{X_{\min}}{2\sqrt{H_{\max}}} \quad \text{и} \quad \left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)_{\max} = \frac{X_{\max}}{2\sqrt{H_{\min}}}.$$

Аналогично определим минимальное и максимальное значения  $H$  и  $h$

$$H_{\min} = \frac{V_{\min} \cdot h_{\min}}{2 \cdot a_{\max}} \quad \text{и} \quad H_{\max} = \frac{V_{\max} \cdot h_{\max}}{2 \cdot a_{\min}}.$$

Подставляя численные значения переменных  $D$ ,  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ,  $a_{\min}$ ,  $a_{\max}$ ,  $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$ ,  $h_{\min}$ ,  $h_{\max}$ , получаем

$$h_{\min} = \frac{\sqrt{D \cdot t_{\min}}}{2} = \frac{\sqrt{250 \cdot 0,005 \cdot 10^{-6}}}{2} = 5,59 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$h_{\max} = \frac{\sqrt{D \cdot t_{\max}}}{2} = \frac{\sqrt{250 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}}{2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$H_{\min} = \frac{0,1 \cdot 5,59 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0,047 \quad \text{и} \quad H_{\max} = \frac{20 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 104,063;$$

$$\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)_{\min} = 0 \quad \text{и} \quad \left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)_{\max} = \frac{41,7}{2\sqrt{0,047}} = 96.$$

В интервале изменения аргумента  $0 < \left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right) < 96$  построим график (рис.1) по уравнению (2). Видно (рис.1), что теоретический интервал изменения аргумента исследуемой функции  $0 < \left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right) < 96$  фактически может быть заменён интервалом  $0 \leq \frac{X}{2\sqrt{H}} \leq 3,0$  или даже более узким интервалом  $0 \leq \frac{X}{2\sqrt{H}} \leq 2,0$ .

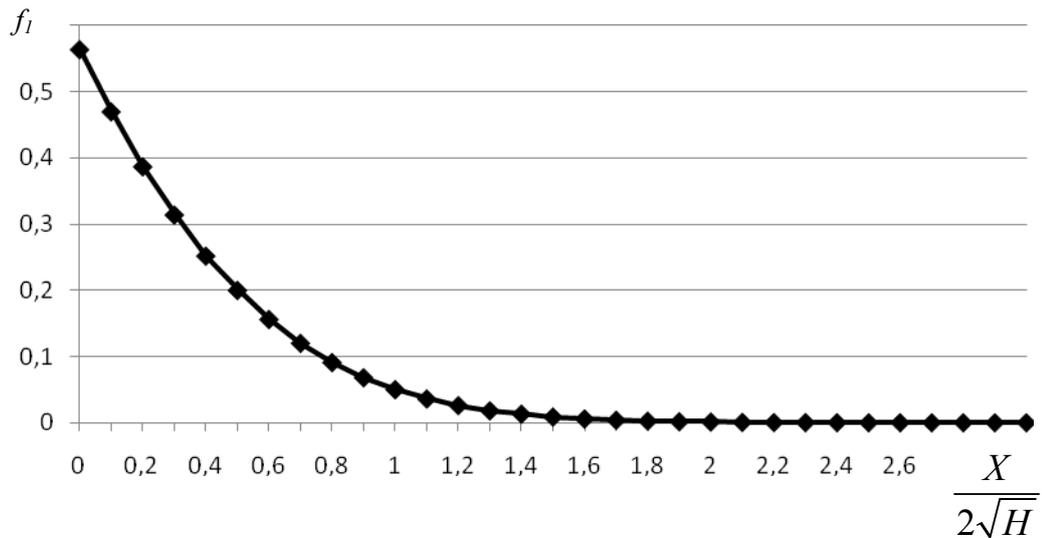


Рис.1. Функция  $f_1 = ierfc \frac{X}{2\sqrt{H}}$  в интервале  $0 \leq \frac{X}{2\sqrt{H}} \leq 3$ .

Видно, что характер изменения функции – затухающий, похожий на экспоненциальный закон изменения. Подберем параметры экспоненты  $\exp\left(-\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)$ , которая может заменить зависимость  $ierfc\left(\frac{X}{2\sqrt{H}}\right)$ . Для этого подберем коэффициенты  $A$  и  $B$  в следующей исследуемой функции

$$f_2 = A \exp\left(\frac{-B \cdot X}{2\sqrt{H}}\right).$$

Величину коэффициента  $A$  найдём из условия  $X=0$ . Получаем

$$ierfc \frac{0}{2\sqrt{H}} = \left( \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{0^2}{2\sqrt{H}}\right) - \frac{0}{2\sqrt{H}} \cdot erfc\left(\frac{0}{2\sqrt{H}}\right) \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \text{ или } A = \frac{1}{\sqrt{\pi}}.$$

Коэффициент  $B$  подберем из условия наименьшей среднеквадратической ошибки между функциями  $f_1$  и  $f_2$ . Получаем  $B = 2,3026 = \ln 10 = \frac{1}{\lg e}$ .

С учетом найденных значений коэффициентов  $A$  и  $B$ , получаем (рис.2)

$$f_2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-X}{2 \lg e \sqrt{H}}\right). \quad (3)$$

С учетом выражений (1) и (3) уравнение для определения безразмерной температуры принимает вид

$$\Theta_2(X, H) = 2\pi\sqrt{H} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-X}{2 \lg e \sqrt{H}}\right) = 2\sqrt{\pi \cdot H} \exp\left(\frac{-X}{2 \lg e \sqrt{H}}\right) \quad (4)$$

Из выражений (1) и (4) при  $X=0$  получаем одинаковые максимальные безразмерные температуры на поверхности

$$\Theta_{1\max} = \Theta_{2\max} = 2\pi\sqrt{H} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 2\sqrt{\pi \cdot H} \quad (5)$$

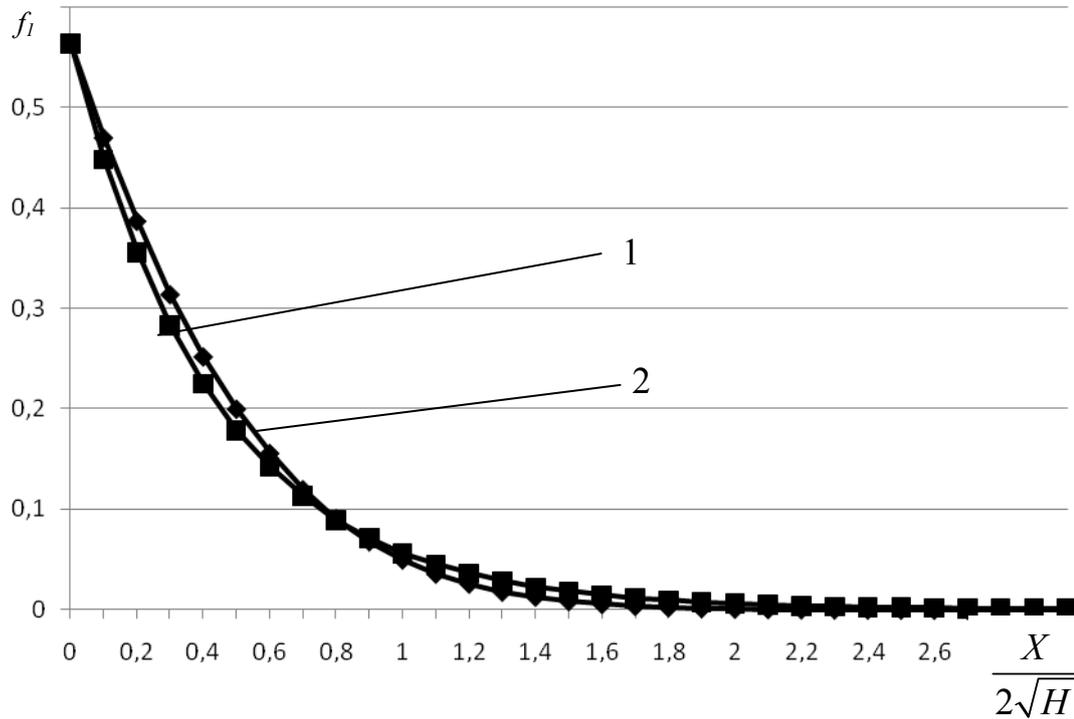


Рис.2. Функции  $f_1$  (кривая 1) и  $f_2$  (кривая 2) в интервале  $0 \leq \frac{X}{2\sqrt{H}} \leq 3$ .

Уравнение (4) характеризует температуру шлифования на этапе нагрева ( $H_{MAX} \geq H \geq 0$ ). На основе этого уравнения методом суперпозиции можно получить зависимость для расчета температуры шлифования на этапе охлаждения ( $\infty \geq H \geq H_{MAX}$ ). Вводя новое обозначение  $\Theta_2(X, H) = \Theta_{НАГР}(X, H)$ , получаем

$$\Theta_{НАГР}(X, H) = 2\sqrt{\pi H} \exp\left(\frac{-X}{2\lg e\sqrt{H}}\right), \quad H_{MAX} \geq H \geq 0, \quad (6)$$

$$\Theta_{охл}(X, H) = 2\sqrt{\pi H} \exp\left(\frac{-X}{2\lg e\sqrt{H}}\right) - 2\sqrt{\pi(H - H_{MAX})} \exp\left(\frac{-X}{2\lg e\sqrt{H - H_{MAX}}}\right), \quad \infty \geq H \geq H_{MAX}, \quad (7)$$

где  $H_{MAX}$  – безразмерная полуширина теплового источника, характеризующая половину времени действия теплового источника на этапе нагрева,

$$H_{MAX} = \frac{V \cdot h_{\max}}{2a}.$$

В выражениях (6) и (7) множитель  $\frac{1}{\lg e}$  может быть заменён на множитель  $\ln 10$ , т.к.  $\ln 10 = \frac{1}{\lg e}$ . Действительно, принимая  $e = 2,718282$ , получаем  $\lg e = 0,4342946$  и  $\ln 10 = \frac{1}{\lg e} = 2,3026$ .

Для получения размерной температуры необходимо умножить полученные выражения (6) и (7) на коэффициент  $2qa / \pi\lambda V$ , где  $q$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С). Например, при  $a = 8 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\lambda = 40 \dots 42$  Вт/(м·°С);  $q = 40 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> этот коэффициент составляет 150 °С при  $V = 2$  м/мин и 15 °С для  $V = 20$  м/мин. Т.е. в указанном интервале скоростей детали единице безразмерной температуры соответствует множитель  $2qa / \pi\lambda V$ , который изменяется в интервале 15...150 °С.

Известно, что максимальная температура шлифования имеет место в конце этапа нагрева на поверхности (при  $X = 0$ ) и в начальной зоне этапа охлаждения (при  $X \geq 0$ ). Введём понятие безразмерной критической температуры  $\Theta_{KP}$ , при которой в материале происходят структурно-фазовые превращения. Для определения глубины  $X_{KP}$  проникновения критической температуры в поверхностный слой обрабатываемого материала рассмотрим выражение (6), в котором левую часть приравняем критической температуре  $\Theta_{KP}$ . Учтём, что при этом должны выполняться условия  $H = H_{MAX}$  и  $X = X_{KP}$ . Получаем

$$\Theta_{KP}(X_{KP}, H_{KP}) = 2\sqrt{\pi H_{MAX}} \exp\left(\frac{-X_{KP}}{2 \lg e \sqrt{H_{MAX}}}\right). \quad (8)$$

Из выражения (6) следует, что максимальная безразмерная температура имеет место при  $X = 0$  и  $H = H_{MAX}$ , т.е.

$$\Theta_{MAX}(0, H_{MAX}) = \Theta_{MAX} = 2\sqrt{\pi H_{MAX}}. \quad (9)$$

Выражение (8) с учётом (9) можно записать в виде

$$\Theta_{KP}(X_{KP}, H_{KP}) = \Theta_{KP} = \Theta_{MAX} \cdot \exp\left(\frac{-X_{KP}}{2 \lg e \sqrt{H_{MAX}}}\right). \quad (10)$$

После логарифмирования выражения (10) получаем

$$\ln \Theta_{KP} = \ln \Theta_{MAX} \cdot \exp\left(\frac{-X_{KP}}{2 \lg e \sqrt{H_{MAX}}}\right). \quad (11)$$

Или

$$X_{KP} = 2 \lg e \sqrt{H_{MAX}} \cdot \ln \frac{\Theta_{MAX}}{\Theta_{KP}}. \quad (12)$$

Так как  $\ln \frac{\Theta_{MAX}}{\Theta_{KP}} = \frac{1}{\lg e} \lg \frac{\Theta_{MAX}}{\Theta_{KP}}$ , то выражение (12) принимает вид

$$X_{KP} = 2\sqrt{H_{MAX}} \cdot \lg \frac{\Theta_{MAX}}{\Theta_{KP}}. \quad (13)$$

Переходя к размерным температурам, получаем размерную глубину дефектного слоя

$$x_{kp} = 2\sqrt{a \cdot \tau_{max}} \cdot \lg \frac{T_{max}}{T_{kp}}, \quad (14)$$

где  $T_{max}$ ,  $T_{kp}$  – максимальная (на поверхности) и критическая (на глубине) размерные температуры шлифования,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau_{max}$  – максимальное время воздействия теплового источника на этапе нагрева, с.

Например, для схемы плоского шлифования  $\tau_{max} = \frac{2h}{V} = \frac{\sqrt{Dt}}{V}$ .

В свою очередь с учётом выражения (9) получаем

$$T_{max} = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}}. \quad (15)$$

Следовательно,

$$x_{kp} = 2\sqrt{a \cdot \tau_{max}} \cdot \lg \frac{2q}{\lambda T_{kp}} \sqrt{\frac{a\tau_{max}}{\pi}}. \quad (16)$$

Прежде, чем определять глубину дефектного слоя  $x_{kp}$ , необходимо проверить условие бездефектной обработки  $T_{max} \leq T_{kp}$ . Если это условие нарушается, тогда можно определять глубину дефектного слоя  $x_{kp}$ .

Оценим погрешность определения безразмерной глубины слоя  $X_{KP}$ , на которую распространяется фиксированная температура (в том числе  $\Theta_{KP}$ ) по двум приведенным ниже уравнениям (приближённому и точному):

$$X_{KP} = 2\sqrt{H_{MAX}} \cdot \lg \frac{\Theta_{MAX}}{\Theta_{KP}}, \quad (17)$$

$$\Theta_{KP}(X_{KP}, H_{KP}) = 2\pi\sqrt{H_{MAX}} \operatorname{ierfc} \frac{X_{KP}}{2\sqrt{H_{MAX}}}. \quad (18)$$

Для этого примем в качестве критической температуры  $\Theta_{KP}$  температуру вдвое меньшую, чем максимальная температура на поверхности, т.е.  $\Theta_{KP} = \Theta_{MAX} / 2$ . В этом случае выражения (17) и (18) с учётом (9) принимают вид

$$X_{KP} = 2\sqrt{H_{MAX}} \cdot \lg 2; \quad (19)$$

$$\frac{1}{2\sqrt{\pi}} = \operatorname{ierfc} \frac{X_{KP}}{2\sqrt{H_{MAX}}}. \quad (20)$$

Приведем график изменения параметра  $X_{KP}$  в наиболее характерном для шлифования интервале  $4 \leq H_{MAX} \leq 20$  (рис.3).

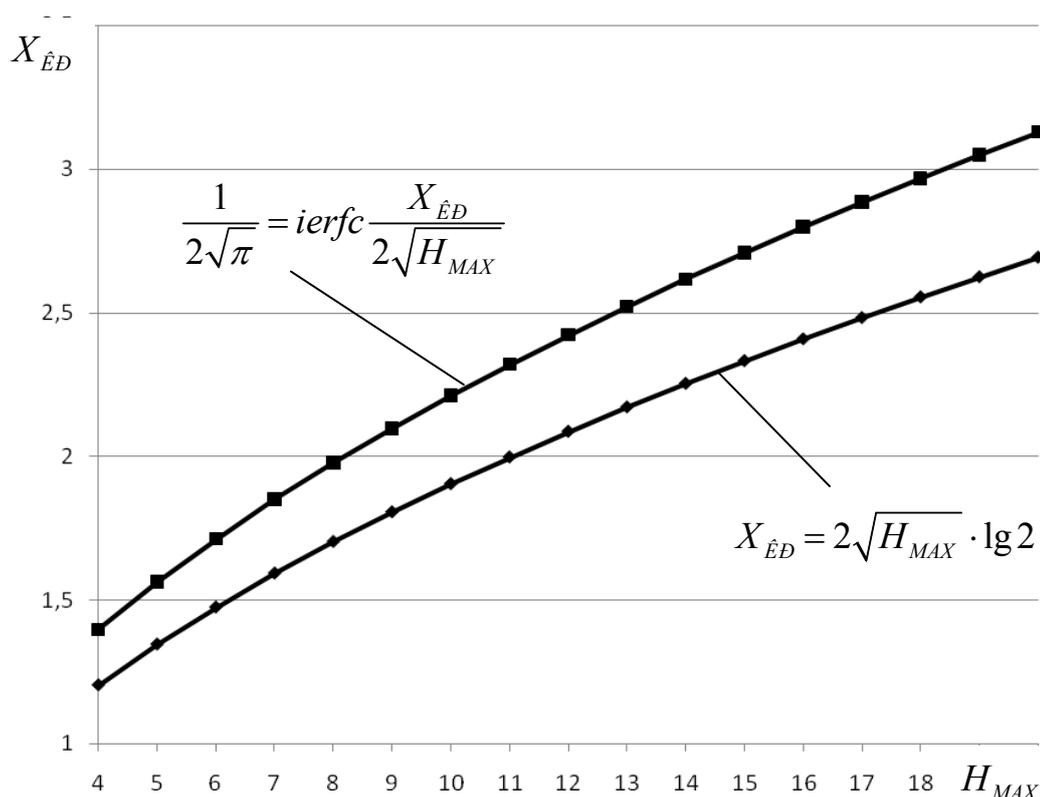


Рис. 3. Глубина  $X_{KP}$  проникновения критической температуры  $\Theta_{KP} = \Theta_{MAX} / 2$ , рассчитанная по уравнениям (19) и (20), в зависимости от  $H_{MAX}$ .

Из анализа приведенных графиков (рис.3) видно, что характер кривых идентичный и различие между расчётными значениями  $X_{ED}$  по уравнениям (17) и (18) в среднем составляет 25 % и может быть устранено путем дополнительной коррекции уравнения (17).

#### Выводы.

1. Методом аппроксимации получено уравнение (4) для определения температуры шлифования на поверхности и по глубине поверхностного слоя.

2. Структура уравнения (4) позволила выразить в явном виде (в безразмерном и размерном) глубину проникновения критической температуры, приводящей к структурно-фазовым превращениям в обрабатываемом материале: формулы (13) и (14), соответственно.

**Список литературы:** 1. Ларшин В.П. Применение решений теплофизических задач к расчету температуры и глубины дефектного слоя при шлифовании // Межвузовский сборник научных трудов / В.П. Ларшин, Е.Н. Ковальчук, А.В. Якимов. – Пермь: Изд. ППИ, 1986. – С.9-16. 2. Якимов А.В. Расчет глубины дефектного слоя при шлифовании / А.В. Якимов, В.П. Ларшин, А.М Скляр, Е.Н. Ковальчук // Станки и инструмент. – № 9, 1986. – С. 26-27. 3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с. 4. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.

## ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ С УЧЁТОМ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ СОЖ

**Лищенко Н.В.**, канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

**Мочуляк А.В.** (ООО «Внешторг – Микрон», г. Одесса)

**Ларшин В.П.**, докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

*On the common base, with and without grinding fluid cooling effect two heat conduction models of grinding process are studied and compared*

### Часть 1. Шлифование без СОЖ

Причиной появления в поверхностных слоях деталей структур вторичной закалки или отпуска при шлифовании является высокая температура в зоне контакта круга с изделием. Для управления свойствами поверхностного слоя при шлифовании необходимо иметь математическую модель процесса, позволяющую установить влияние отдельных его параметров на температурное поле в зоне обработки и за её пределами. Теплофизика технологических процессов развивается в двух направлениях: решение задач без теплообмена с окружающей средой (шлифование «всухую») и с теплообменом (обработанный участок поверхности охлаждается за счёт СОЖ). В данной статье с единых позиций рассматриваются оба направления. Особенностью первого направления является возможность использования принципа суперпозиции температурных полей от действия разных тепловых источников. В тоже время при шлифовании с охлаждением этот принцип не действует.

Моделирование температурного поля обычно производят на основе теплофизической схемы теплового процесса. Наиболее распространённая теплофизическая схема – подвижный полосовой источник теплоты (рис.1,а).

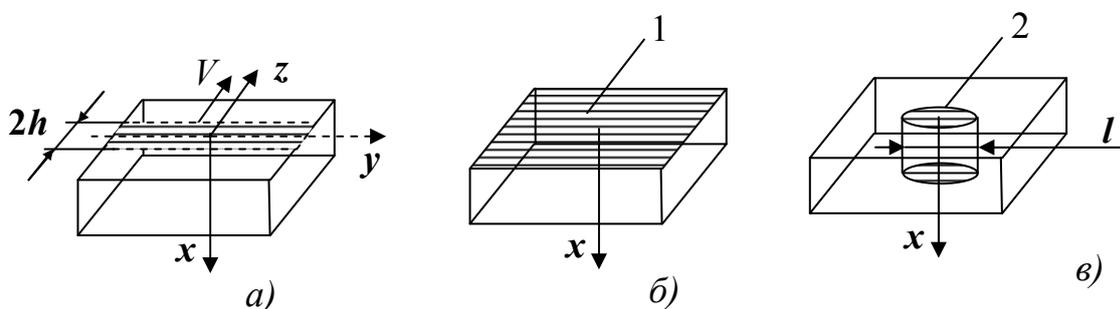


Рис.1. Схема подвижного (а) и неподвижного (б, в) теплового источника (в заштрихованной зоне имеют место ГУ второго рода): 1,2 - плоские торцы полуограниченного в направлении оси  $x$  тела и тонкого адиабатического стержня, соответственно.

По адиабатической поверхности  $x=0$  полубесконечного тела в направлении оси  $z$  движется со скоростью  $V$  бесконечно длинный (по оси  $y$ ) полосовой источник тепла шириной  $2h$ . Плотность теплового потока в пределах теплового источника принимают, равной постоянной величине  $q$ . Теплообмен адиабатической поверхности с окружающей средой отсутствует. Передача тепловой энергии в направлении координат  $x$  (глубинные слои) и  $z$  (в направлении движения источника) осуществляется за счёт теплопроводности и конвекции, соответственно, т.е. теплообмен с окружающей средой отсутствует. Решение тепловой задачи для данной теплофизической схемы впервые получил [John Conrad Jaeger](#) применительно к «скользящему контакту», представляющему собой «полосовой источник тепла» [1]. Применительно к шлифованию эта модель была адаптирована в работах Якимова А.В. [2] и Сипайлова В.А. [3]. Результатом решения этой теплофизической задачи является следующее уравнение, описывающее температурное поле  $T(Z, X, H)$  от подвижного полосового источника [3]:

$$T(Z, X, H) = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) K_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) d\xi, \quad (1)$$

$$\xi = \frac{V(z-z')}{2a}; \quad X = \frac{V \cdot x}{2a}; \quad Z = \frac{V \cdot z}{2a}; \quad H = \frac{V \cdot h}{2a}.$$

где  $q$  – интенсивность (плотность) теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);  $V$  – скорость движения источника в направлении оси  $z$  (рис.1,а), м/с;  $K_0$  – модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка;  $H$  – безразмерная полуширина теплового источника;  $X$  – безразмерная координата;  $h$  – полуширина источника тепла ( $0 \leq h \leq h_{\max}$ ), м;  $x$  – размерная координата, направленная по глубине поверхностного слоя, м.

В уравнении (1) закон движения источника тепла задан в виде  $z = z' - V\tau'$ , где  $z'$  – дополнительная переменная;  $\tau'$  – время, определяющее координату  $z$  в квазиустановившемся температурном процессе.

Разделив обе части уравнения (1) на множитель  $\frac{2qa}{\pi\lambda V}$  получим решение в безразмерном виде

$$\Theta(Z, X, H) = \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) K_0\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) d\xi. \quad (2)$$

Ближайшим аналогом рассмотренной двумерной теплофизической модели является одномерная теплофизическая модель процесса (рис.1, б), в соответствии с которой тепловой поток  $q$  действует на плоской граничной поверхности полубесконечного тела в течение ограниченного времени  $\tau = \frac{2h}{V}$ . Это время

точно равно времени прохождения «теплосоздающей» полосы шириной  $2h$  со скоростью  $V$  над исследуемой точкой шлифуемой поверхности. Особенностью

этой задачи является возможность замены ограниченного по площади плоского полосового источника тепла (рис.1, а) плоским торцом полубесконечного твёрдого тела (рис.1, б). Причём, площадь плоского торца может быть либо не ограничена (заштрихованная зона 1 на рис.1, б), либо ограничена площадью плоского торца вертикального стержня (заштрихованная зона 2 на рис.1, в). Габаритный размер  $l$  этого стержня (рис.1, в) при любой конфигурации его торца может быть, каким угодно малым. Причём, в направлении оси  $x$  стержня направлен «линейный» тепловой поток  $q$ . Слово «линейный» означает, что вектор  $q$  теплового потока в любой точке стержня параллелен оси  $x$ . Предполагается, что площадь зоны 2 с габаритным размером  $l$  составляет меньшую часть площади зоны 1. Причём такую часть, при которой искажение «линейности» теплового потока отсутствует (линии теплового потока перпендикулярны торцу и параллельны оси  $x$ ).

Уравнение, описывающее одномерное температурное поле  $T(X, H)$  от неподвижного источника тепла, эквивалентное на этапе нагрева рассмотренному выше уравнению (2) для подвижного полосового источника, в обозначениях принятых для полосового источника имеет вид [4]:

$$\Theta(X, H) = 2\pi\sqrt{H}ierfc\frac{X}{2\sqrt{H}}. \quad (3)$$

Анализ литературы показывает, что одномерная теплофизическая модель на основе уравнения (3) до сих пор не нашла должного применения для изучения процесса шлифования и управления им.

Для того, чтобы с помощью одномерного решения (3) описать температурное поле на интервале времени охлаждения ( $\tau_{\max} \leq \tau < \infty$ ) применим принцип суперпозиции (сложения) двух температурных полей от действия двух тепловых источников.

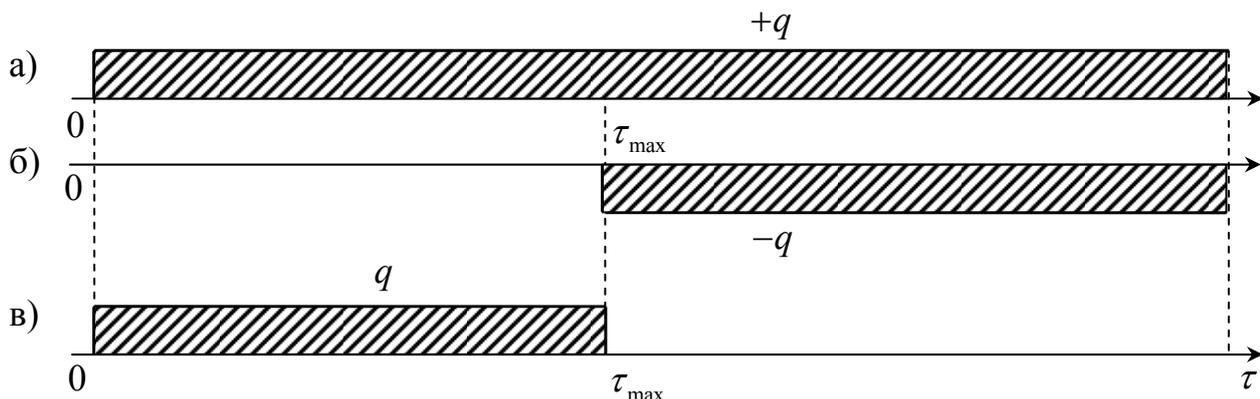


Рис.2. Представление линейного теплового потока  $q$  (в) на ограниченном интервале времени  $0 \leq \tau \leq \tau_{\max}$  в виде суммы тепловых потоков  $+q$  (а) и  $-q$  (б).

Первый тепловой источник с положительной плотностью теплового потока ( $+q$ ) действует в интервале времени  $0 \leq \tau \leq \infty$  (рис.2, а), а второй – с отрицательной плотностью теплового потока ( $-q$ ) действует в интервале времени

$\tau_{\max} \leq \tau < \infty$  (рис.2, б). Суперпозиция двух тепловых полей (от действия указанных тепловых источников) равносильна действию одного ограниченного по времени импульса теплового потока на участке  $0 \leq \tau \leq \tau_{\max}$ .

Для безразмерной температуры указанные интервалы безразмерного времени составляют, соответственно,  $0 \leq H \leq H_{MAX}$  и  $H_{MAX} \leq H < \infty$ . Расчет температуры на участке действия теплового потока  $q$  производят по уравнению (3), а на участке, где тепловой поток отсутствует ( $H_{MAX} \leq H < \infty$ ), расчет производят по формуле

$$\Theta'(X, H) = \Theta(X, H) - \Theta(X, H - H_{MAX}). \quad (4)$$

Таким образом, одна двумерная математическая модель (2) идентична совокупности двух одномерных математических моделей (3) и (4). Отличие вызвано только количеством пространственных координат. Установлено [4], что на этапе нагрева в интервале  $4 \leq H \leq 20$ , двумерная модель (2), с одной стороны, и одномерная модель (3) и (4) – с другой, при расчете максимальных температур на поверхности и по глубине двукратного падения температуры, дают результаты, отличающиеся не более чем на 5 %.

## Часть 2. Шлифование с принудительным охлаждением

Уравнения (1) и (2) не учитывают охлаждающего влияния СОЖ на температуру шлифования и её распределение по глубине поверхностного слоя. Попытка учесть это влияние, предпринятая, например Сипайловым В.А. [3] и Паршаковым А.Н. [5], позволила получить только приближенное решение. Сложность задачи обусловлена необходимостью учесть одновременно граничные условия второго и третьего рода: в зоне контакта действует граничное условие второго рода, а за пределами этой зоны (куда попадает СОЖ) – граничное условие третьего рода. Как следствие, тепловая задача характеризуется разрывными (неоднородными) граничными условиями, для учета которых необходимо применять специальные математические приемы [3, 4]. Полученное при этом решение (в данной статье не приводится) имеет ряд недостатков: не оценена погрешность принятых допущений, не учитывается влияние температуры СОЖ на температуру шлифования. Так в решении, например, Сипайлова В.А. [3], охлаждающее действие СОЖ учитывается только через коэффициент теплообмена ( $\alpha$ ). В аналогичном решении Паршакова А.Н. [5] температура СОЖ была принята равной нулю на этапе постановки задачи.

В данной статье предлагается новый подход к определению температуры шлифования на поверхности и по глубине поверхностного слоя. Сущность этого подхода заключается в следующем. Температурный цикл шлифования разбивается на два последовательных этапа во времени, как это в действительности и имеет место. На первом этапе происходит нагрев обрабатываемой поверхности в течение времени воздействия источника тепла с плотностью теплового потока  $q$ . На втором этапе, начальные условия для которого создаются на этапе нагрева, происходит охлаждение обработанной поверхности в условиях ее теплообмена с СОЖ. Температурное поле на этапе нагрева описывается ма-

тематической зависимостью, представляющей собой решение одномерного дифференциального уравнения теплопроводности [4]. Эта зависимость с учётом выражения (3) и принятых ранее обозначений имеет вид

$$T_{НАГР}(x, t_H) \approx 2\pi\sqrt{H}ierfc \frac{X}{2\sqrt{H}} \cdot \frac{2q \cdot a}{\pi \cdot \lambda \cdot V} = \frac{2q}{\lambda} \cdot ierfc \frac{x}{2\sqrt{a \cdot t_H}}, \quad (5)$$

где  $t_H$  – время нагрева,  $t_H = \frac{2h}{V}$ , с.

Очевидно, что распределение температуры по глубине поверхностного слоя в конце этапа нагрева является начальным условием для определения температурного поля на этапе охлаждения. Анализ работы [6] позволил установить, что для определения температуры шлифования  $T_{ОХЛ}(x, t)$  на этапе охлаждения (с начальными условиями, полученными на этапе нагрева) можно использовать следующее уравнение

$$\begin{aligned} T_{ОХЛ}(x, t) = & \int_0^{\infty} \left[ \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot a \cdot t}} \left\{ \exp\left(\frac{(x-x')^2}{4at}\right) + \exp\left(\frac{(x+x')^2}{4at}\right) \right\} - \right. \\ & \left. - A \exp(atA^2 + A(x+x')) \cdot erfc\left(\frac{(x+x')}{2\sqrt{at}} + A\sqrt{at}\right) \right] \cdot f(x)' dx' + \\ & + a \cdot A \int_0^t \left[ \frac{\exp\left(-\frac{x^2}{4a(t-\tau)}\right)}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot (t-\tau)}} - A \exp(a \cdot A^2(t-\tau) + A \cdot x) \times \right. \\ & \left. \times erfc\left(\frac{x}{2\sqrt{a(t-\tau)}} + A\sqrt{a(t-\tau)}\right) \right] \varphi(\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

Причём

$$f(x') = \frac{2q\sqrt{at_1}}{\lambda} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x'^2}{4a \cdot t_H}\right) - \frac{x'}{2\sqrt{a \cdot t_H}} erfc\left(\frac{x'}{2\sqrt{at_H}}\right) \right] + T_0,$$

где  $t$  – время охлаждения, с;  $A = \frac{\alpha}{a}$  – приведенный коэффициент теплообмена;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $T_0$  – исходная температура обрабатываемого материала, °С.

Совокупность уравнений (5) и (6) описывает температурное поле при шлифовании на этапах нагрева и охлаждения обрабатываемой поверхности, соответственно, причём уравнение (6) учитывает охлаждающее действие СОЖ. Единство задачи температурного цикла шлифования обеспечивается тем, что температура любой точки поверхности и поверхностного слоя в конце времен-

ного этапа нагрева равна соответствующей температуре в начале временного этапа охлаждения.

В технической литературе по шлифованию до сих пор нет исследований температурного поля по уравнению (6), которое имеет ряд важных особенностей. Это уравнение позволяет учесть не только охлаждающие свойства СОЖ, но также её температуру  $\varphi(\tau)$ , которая может быть постоянной и переменной во времени.

Исследование уравнения (6) проводили в среде MathCAD при следующих исходных данных, характеризующих процесс шлифования:  $a = 8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda = 42 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $q = 40 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;  $\alpha = 10\,000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $\varphi(\tau) = 20^\circ\text{C}$ . Время нагрева ( $t_H$ ) и охлаждения ( $t$ ) на соответствующих этапах шлифования меняли в одинаковых интервалах:  $0 \leq t_H \leq 0,1$   $0 \leq t_i \leq 0,1$  с и  $0 \leq t \leq 0,1$  с (рис.3).

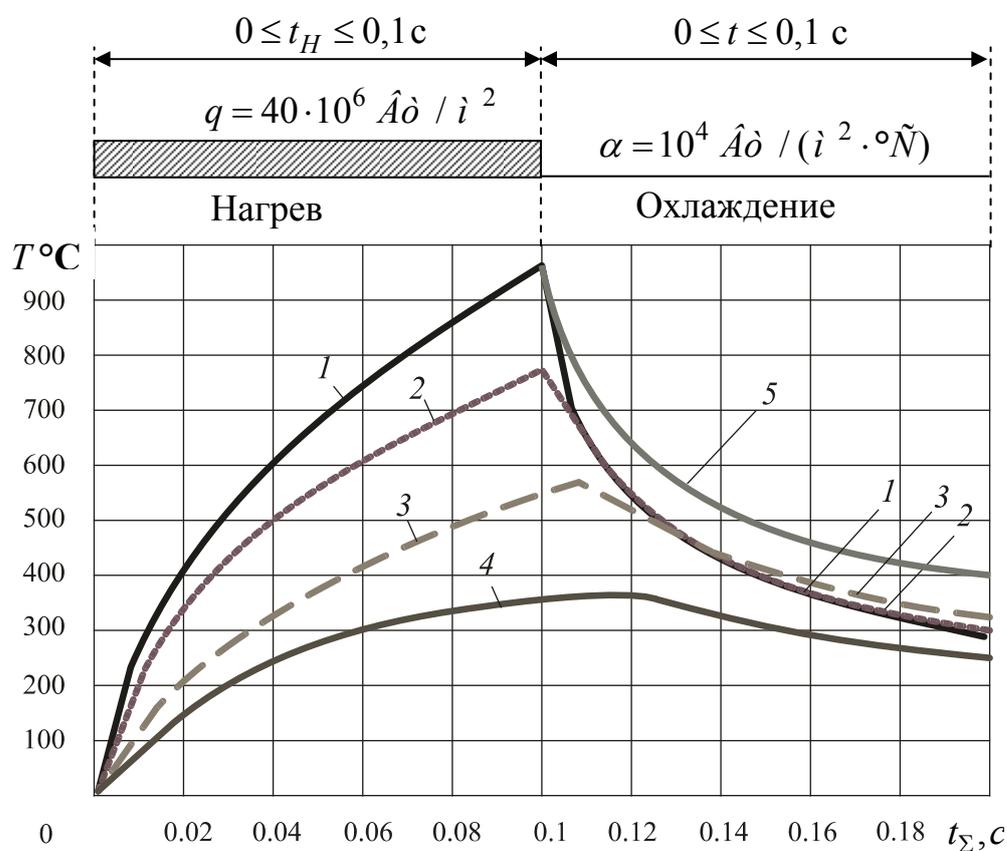


Рис.3. Изменение температуры шлифования  $T^\circ\text{C}$  во времени ( $0 \leq t_\Sigma \leq 0,2 \text{ c}$ ) на этапах нагрева ( $0 \leq t_\Sigma \leq 0,1 \text{ c}$ ) и охлаждения ( $0,1 \leq t_\Sigma \leq 0,2$ ): 1, 2, 3, 4 –  $x = 0, 200, 500, 1000 \text{ мкм}$  при  $\alpha = 10^4 \hat{A}\delta / (i^2 \cdot \tilde{N})$ ; 5 –  $x = 0$  при  $\alpha = 0$ .

Видно, что при  $x = 500 \text{ мкм}$  и при  $x = 1000 \text{ мкм}$  температура шлифования продолжает увеличиваться даже на этапе охлаждения, достигает максимального значения ( $571^\circ\text{C}$  и  $346^\circ\text{C}$ ), а затем уменьшается.

Возрастание температуры в глубинных слоях материала на этапе охлаждения (т.е. на участке  $0,1 \leq t_\Sigma \leq 0,2 \text{ c}$ ) в технической литературе известно. Это описано, например, в работе [7] при анализе двумерного решения Сипайло-

ва В.А., учитывающего теплообмен. Сходство результатов расчёта по уравнению (6) и по более сложной методике Сипайлова В.А. подтверждает правомерность уравнения (6) для описания температурного поля на этапе охлаждения при наличии теплообмена.

Выводы. 1. Предложена новая методика определения температуры шлифования, в соответствии с которой температуру находят последовательно на этапе нагрева и охлаждения по уравнениям (5) и (6), соответственно.

2. Предложено уравнение (6) для определения температуры шлифования во времени и по глубине поверхностного слоя на этапе охлаждения, позволяющее установить влияние постоянной и переменной температуры СОЖ на температурное поле при шлифовании.

**Список литературы:** 1. Jaeger, J.C. "Moving Sources of Heat and Temperature at Sliding Contact", Proc. Roy. Soc. of New South Wales, Vol.76, 1942, pp. 203-224. 2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов . – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с. 3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. –167 с. 4. Ларшин В.П. Применение решений теплофизических задач к расчету температуры и глубины дефектного слоя при шлифовании // Межвузовский сборник научных трудов / В.П. Ларшин, Е.Н. Ковальчук, А.В. Якимов. – Пермь: Изд. ППИ, 1986. – С.9-16. 5. Аналитические методы исследования тепловых явлений при шлифовании. Учебное пособие. / А.Н. Паршаков, Ю.А. Напарьин, В.И. Потемкин, Н.А. Ярмонов. – Пермь: Изд. ПГУ, 1977. – 72 с. 6. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. — М.: Наука, 1964. – 487 с. 7. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов.: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 128 с.

УДК 62-83 (075)

## **БЕССТУПЕНЧАТЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ**

**Рыбалко А.П.**, канд. техн. наук (ООО «Станкоцентр», г. Москва)

**Ларшин В.П.**, докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

**Лищенко Н.В.**, канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

**Рябенков И.А.**, канд. техн. наук (ГП ХМЗ «ФЭД», г. Харьков)

*The stages of becoming and perfection of automatic electric drive are described for metal-cutting machine tools with ЧПУ, features of асин-хронного of vectorial electromechanic and his application in the contour of adaptive control by machine-tools*

Электромеханический электропривод (ЭП) для металлорежущих станков прошёл следующие этапы своего развития: система генератор-двигатель, привод на основе электромашинного усилителя, регулируемый вентильный электропривод постоянного тока (на основе управляемого выпрямителя), асинхронный частотный электропривод со скалярным регулированием частоты и напря-

жения, асинхронный частотный электропривод с векторным управлением и диапазоном регулирования 10...50 тысяч и более. При этом достижения на предыдущих этапах развития не терялись, а воспроизводились на новом более высоком уровне. Так произошло, например, с асинхронным электроприводом, который вначале использовался как нерегулируемый, в технологических приложениях типа «включить-выключить» (релейно-контакторное управление), затем наступил этап частотного управления асинхронным электродвигателем (АД). Асинхронный электропривод на основе преобразователя частоты является до сих пор наиболее распространённым. Различные фирмы (ООО «Станкоцентр», Siemens, Schneider Electric и другие) производят преобразователи частоты различной мощности, которые можно применять совместно с датчиками обратной связи по скорости (замкнутая система) и без этих датчиков (разомкнутая система). Однако для станков с ЧПУ требуется обеспечить не только прецизионную скорость перемещения рабочего органа, но также его точное пространственное положение. Поэтому система векторного управления АД строится по принципу вложенных замкнутых контуров с подчинённым регулированием координат, т.е. аналогично соответствующему электроприводу постоянного тока [1]. Особенностью этих систем является иерархический принцип их построения по соответствующим регулируемым координатам: ток (нижний уровень иерархии), скорость (средний уровень), положение (верхний уровень).

Асинхронный электродвигатель относится к числу сложных объектов управления и только в последние годы высококачественный асинхронный векторный электропривод (АВП) нашёл повсеместное применение в станках с ЧПУ. Это стало возможным благодаря развитию быстродействующей микроэлектроники, способной реализовать сложные алгоритмы управления, а также благодаря развитию силовой электроники.

Подготовительным этапом для АВП явилось разработка универсальной векторно-матричной математической модели обобщённой электрической машины в 20-40-е годы XX века. Эта модель позволила описывать электромагнитные процессы в идеализированной электрической машине с помощью аппарата линейной алгебры. Это позволило получить в качестве независимых входных переменных системы величины, входящие в уравнение электромагнитного момента (ЭМ). Поэтому этот принцип называется также "прямое управление моментом". Кроме того, для упрощения задачи в векторной модели АД использовалась система координат, ориентированная по одному из векторов, входящих в уравнение ЭМ, что существенно упрощало передаточные функции системы и позволяло определить ЭМ двумя независимыми переменными, т.е. аналогично тому, как это имеет место в двигателях постоянного тока.

Таким образом, принципиальные основы регулирования частоты вращения ЭП остаются одинаковыми для ЭП постоянного (DC) и переменного (AC) тока. При определённых допущениях любая машина независимо от числа фаз на статоре и роторе приводится к идеализированной модели двухфазной машины, получившей название обобщённой электрической машины. Динамика обобщённой машины описывается уравнениями электрического равновесия в цепях её обмоток

и уравнением электромеханического преобразования, которое выражает ЭМ машины как функцию электрических и механических координат системы [2]. Указанные уравнения совместно образуют систему, описывающую процессы преобразования энергии во вращающейся электрической машине с использованием действительных переменных двухфазной модели. Таким образом, при работе асинхронного ЭП в системе происходит измерение и регулирование «виртуального» электрического тока якоря эквивалентного двигателя постоянного тока.

Важнейшим достоинством АВП является возможность контроля фактической нагрузки на валу АД по величине регулируемого тока во внутреннем контуре системы (характеризует крутящий момент на шпинделе), что может быть использовано для технологической диагностики процессов обработки деталей машин на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах. Степень загрузки привода позволяет обеспечить выполнение эксплуатационных требований к оборудованию, характеризует величину упругих деформаций в технологической системе (точность обработки) и может быть использована для диагностики состояния режущего инструмента, а также для адаптивного управления станками по технологическим критериям. Указанный подход реализован, например, в системе ЧПУ «Flex NC» (ООО «Станкоцентр», г. Москва), которая имеет следующую структуру [3]. Основой системы ЧПУ является управляющее устройство, выполненное на базе DSP (Digital Signal Processor) процессора. Это устройство включает в себя: 1) систему ЧПУ, 2) контроллер электроавтоматики, 3) управляющую часть привода. Совмещение на одном процессоре трех различных функций приводит к тому, что указанные устройства могут взаимодействовать друг с другом не только через ЧПУ, а непосредственно между собой. Появляется возможность уменьшить аппаратную часть, адаптировать весь комплекс под требования технологического процесса, контролировать технологические параметры. Информация о силовых и температурных параметрах может быть использована для улучшения качества технологического процесса, диагностики технологической системы, повышения производительности обработки.

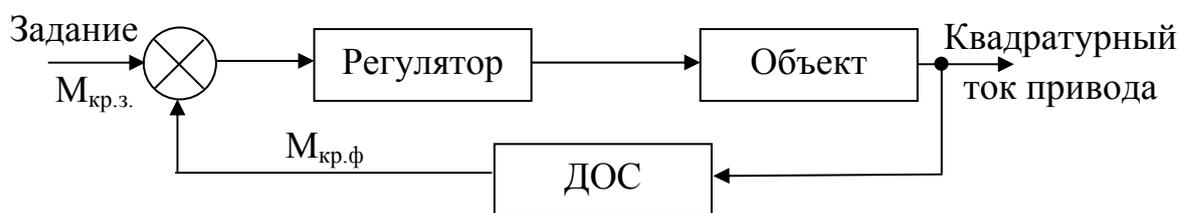


Рис. 1. Структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования крутящего момента на шпинделе:  $M_{кр.з.}$ ,  $M_{кр.ф}$  – заданный и фактический крутящие моменты, соответственно; ДЭС – датчик обратной связи.

Так, квадратурный ток электропривода, используемый в контуре автоматического регулирования привода главного движения координатно-расточного станка, характеризует крутящий момент на шпинделе, например, при фрезеровании плоскости концевой фрезой (рис. 1). Стабилизируя величину этого тока,

можно автоматически выбирать величину продольной подачи, например, на координатно-расточном станке мод.24К40СФ4 (рис.2).

Переключение с рабочей подачи на ускоренную и обратно в автоматическом режиме позволяет сократить время непроизводительных перебегов инструмента за пределами детали и упростить управляющую программу ЧПУ. Кроме того, задание в системе ЧПУ необходимого уровня квадратурного тока позволяет автоматически найти величину подачи, которая обеспечивает этот уровень, и, следовательно, нет необходимости программировать подачу. Это позволяет автоматизировать выбор режимов резания (в данном случае подачи). Настройка параметров регулятора производится таким образом, чтобы устранить перерегулирование при врезании и обеспечить требуемое качество автоматического регулирования.

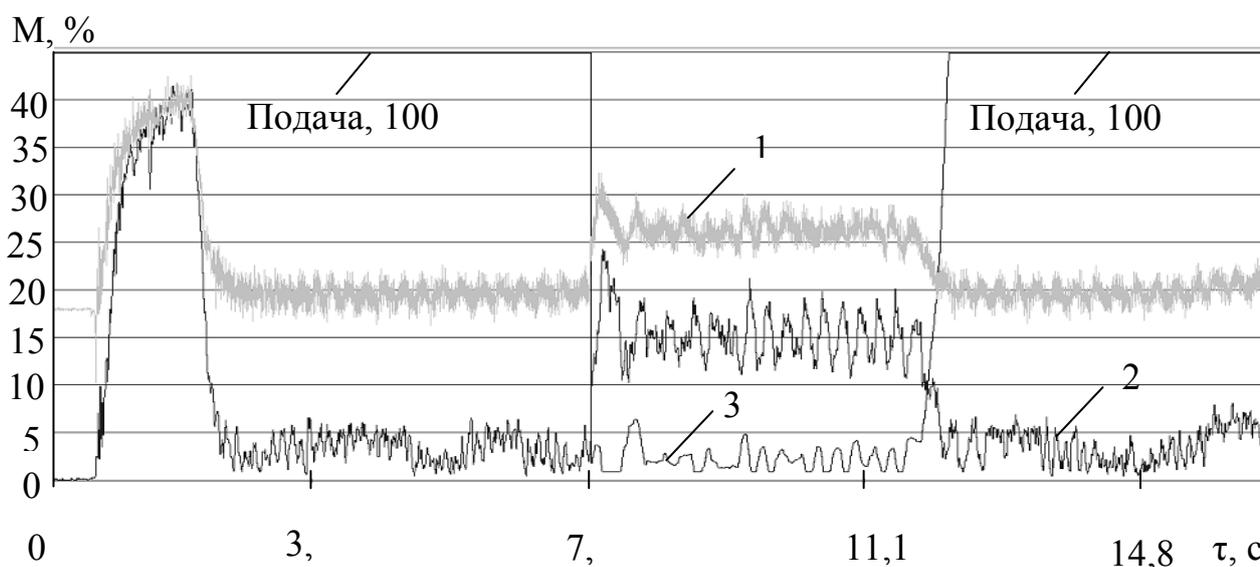


Рис. 2. Диаграммы регулируемого (кривые 1 и 2) и регулирующего (кривая 3) сигналов: 1, 2 – крутящий момент на шпинделе (%) до и после фильтрации, соответственно; 3 – продольная подача.

Подпрограмма адаптивной системы работает следующим образом. Началом резания считается появление момента, равного 8% от максимального значения. При этом моменте начинается регулирование, т.е. поддержание постоянного момента на уровне 15% (рис.2). При врезании в момент времени 7,4 с подача падает (от 3000 мм/мин до 65...70 мм/мин), обеспечивая поддержание момента на уровне 15% (100 % крутящего момента соответствует 2,7 Н·м). Все изменения момента выше 15 % + 2 % = 17 % приводят к уменьшению подачи, а ниже 15 % - 2 % = 13 % - к увеличению подачи. Диапазон изменения подачи составляет 50: от 60 мм/мин до 3000 мм/мин. Частота измерений определяется величиной коэффициента k программным путем по соотношению  $2250/k$ , в котором 2250 Гц - максимальная частота считывания данных. Например, при  $k=10$  получаем  $2250/10=225$  Гц.

Высокоскоростными электроприводами фирмы ООО «Станкоцентр» и системами ЧПУ «Flex NC» оснащаются современные металлорежущие станки токарной, фрезерной, сверлильной групп, а также обрабатывающие центры как

при производстве новых станков (на Савеловском машиностроительном заводе, г. Кимры, Россия), так и при их модернизации.

ЧПУ “Flex NC” – отечественная разработка с использованием современной элементной базы с открытой архитектурой класса “PC-based”. Это современное точное устройство программного управления всеми типами технологического оборудования в 3-х, 4-х и 5-ти координатном исполнении, разработанное на базе контроллера движения.

**Список литературы:** 1. Радимов С.Н. Системы управления с подчинённым регулированием координат электропривода. Учеб. пособие / С.Н. Радимов. – Одесса: ОПИ, 1983. – 83 с. 2. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. – СПб: СПГИТМО, 2002. – 15 с. (Режим доступа к учебному пособию: [http://ets.ifmo.ru/usolzev/posobie1/vect\\_upr.htm](http://ets.ifmo.ru/usolzev/posobie1/vect_upr.htm)). 3. Рыбалко А.П. Адаптивное управление подачей на координатно-расточном станке с ЧПУ “FLEX NC” / А.П. Рыбалко, В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф. – Киев: АТМ Украины, 2010. – С. 63-66.

**УДК 621.923**

## **ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ**

**Иванов Е.И.**, канд. техн. наук, доц.

(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь)

*The problems of treatment of opening of large-break are in-process considered in крупногабаритных cabinet-type details*

При изготовлении корпусных деталей тяжелых машин наибольший удельный вес в общей трудоемкости составляют операции, связанные с обработкой основных отверстий, т.е. отверстий весьма большого диаметра. В качестве заготовок корпусных деталей обычно используют стальные либо чугунные отливки. В ряде случаев применяют сварные стальные заготовки, которые при прочих равных условиях отличаются значительно меньшим весом по сравнению с литыми заготовками. Для сварных заготовок используется прокат, либо они выполняются как сварно-литые или сварно-кованные конструкции.

Обобщая статистические данные о размерах и точности выполнения основных отверстий в корпусных деталях тяжелого машиностроения, можно сделать вывод, что наиболее часто встречающиеся диаметры отверстий находятся в диапазоне 280-550 мм. Точность выполнения этих диаметров – в пределах 6-8 качества, овальность и конусность – от половины до целого поля допуска в зависимости от типа подшипника, допуски расположения поверхностей 6-8 степени точности, шероховатость поверхности отверстий в корпусных деталях соответствует  $R_z=10-20$  мкм. Данные о характеристике рассеивания размеров при изготовлении отверстий, полученные по ряду заводов тяжелого машиностроения, приведены в табл. 1.

Данные таблицы получены при использовании методики статистических исследований НИИПТМАШ. В табл. 1

$$k = \frac{\Delta_{\delta}}{\Delta_{\zeta}},$$

где  $k$  – приведенный коэффициент отклонения;  $\Delta_{\delta}$  – фактическое отклонение параметра качества;  $\Delta_{\zeta}$  – заданное отклонение по чертежу;  $\alpha$  – коэффициент относительной асимметрии.

При  $0 < k \leq 1$  параметры качества считаются выполненными. Если  $k > 1$  ( $\Delta_{\delta} > \Delta_{\zeta}$ ) – параметры качества не выдерживаются.

Таблица 1

Статистические характеристики рассеивания размеров и формы отверстий

Параметры качества	Коэффициенты	
	$k$	$\alpha$
Распределение погрешностей размеров отверстий	1,9	0,10
Овальность, конусообразность	1,56	0,34

Из табл. 1 следует, что основные параметры качества изготовления отверстий, как правило, не выдерживаются. Об этом же говорят и кривые распределения (рис. 1), приведенные в работе [1]. Примерно такие же результаты были получены и нами при проведении аналогичных исследований на ОАО “Азовмаш”.

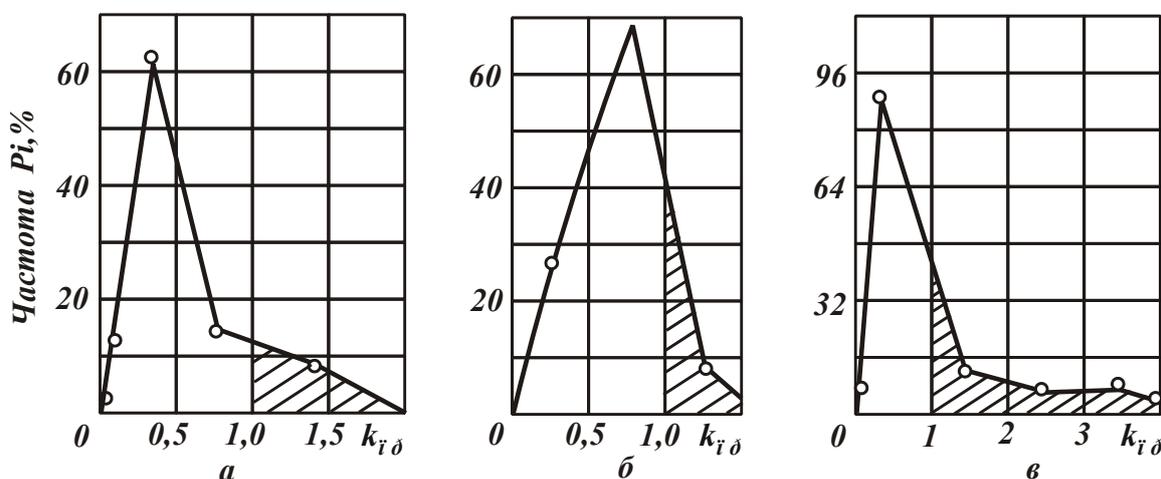


Рис. 1. Распределение погрешностей формы и размеров отверстий в корпусных деталях: а – размеров; б – овальности; в – конусообразности.

Несоблюдение основных параметров точности при обработке отверстий под опоры валов приводит к снижению качества собранных редукторов и к значительному повышению трудоемкости сборочных работ. Для этого, чтобы произвести установку опор при наличии таких погрешностей как конусообразность, овальность, причем выходящих за установленные пределы, приходится прибегать к расшлифовке поверхностей ручными машинками, что не способствует повыше-

нию точности редуктора, а лишь делает возможным осуществление его сборки. Таким образом, задача повышения качества тяжелых редукторов должна, прежде всего, решаться за счет повышения точности обработки основных отверстий. На основании изложенного можно считать, что в первую очередь должны быть решены проблемы повышения точности диаметральных размеров и точности геометрической формы отверстий в продольном и поперечном направлениях.

Основные положения точности обработки, весьма детально разработанные для условий общего машиностроения, в принципе могут быть использованы и в условиях тяжелого машиностроения с учетом тех специфических особенностей, которые характерны именно для этой отрасли машиностроения.

Обеспечение высокой точности при обработке крупных отверстий в значительной мере осложняется тем, что изменение размеров, связанных с тепловыми деформациями деталей в процессе резания, становятся соизмеримыми с допуском на размер. Большой съём металла в процессе обработки, отсутствие СОЖ и концентрация операций обуславливают повышение температуры детали до  $6^{\circ}$  и более. С целью учета температурных деформаций технологическая лаборатория УЗТМ рекомендует смещать настроечный размер. Величина смещения определяется по таблицам для условий обработки некоторых групп технологически подобных деталей. Применение этих рекомендаций позволяет в большинстве случаев исключить трудоемкую операцию по расшамровке отверстий [2].

В работе [3] предпринята попытка определить погрешности растачиваемых отверстий вследствие температурных деформаций заготовок расчетно-аналитическим путем. Результаты расчетов по разработанным методикам имеют вполне удовлетворительную сходимость с фактическими значениями измеренных погрешностей. В результате большого съема металла в процессе механической обработки происходит перераспределение остаточных напряжений в материале деталей, вследствие чего обработанные поверхности деформируются, нарушая точность обработки. Установлено [4], что в процессе пролеживания форма отверстий изменяется: в горизонтальной плоскости размеры уменьшаются, а в вертикальной – увеличиваются. Наиболее интенсивное коробление отверстий наблюдается у сварно-литых корпусов (0,03 – 0,05 мм), наименьшее – у чугуновых (0,01-0,015 мм). На первых проходах наибольшая часть погрешностей растачивания вызвана нестабильностью величины припуска и твердости заготовки. Изменение величины припуска при обработке отверстий диаметром 300-500 мм в крупногабаритных корпусах составляет 20 – 25 мм на сторону и изменение твердости заготовки до 60 – 80% не только от изделия к изделию, но и в пределах длины обработки одного отверстия.

Погрешность формы отверстия в продольном сечении из-за нестабильности величины припуска, твердости и изменения податливости шпинделя по мере его выдвижения составляет 80 – 90% общей погрешности обработки. Это приводит к необходимости увеличения количества предварительных проходов.

Колебания припуска и твердости в процессе обработки снижают точность обработки, долговечность, надежность технологической системы и заставляют производить черновое растачивание на значительно заниженных режимах, выбранных ис-

ходя из худших условий обработки, что приводит к снижению производительности. При больших габаритах и массе деталей усложняется процесс установки, выверки и закрепления их на станках. Для уменьшения доли вспомогательного времени добиваются максимальной концентрации операций технологического процесса и при одном установе выполняют наибольшее число переходов. Большие габаритные размеры и масса основных деталей соответственно отражаются и на структуре оборудования. Известно, что станки для обработки тяжелых деталей являются уникальными, дорогостоящими, и здесь особое значение приобретают вопросы рационального использования их по мощности и времени.

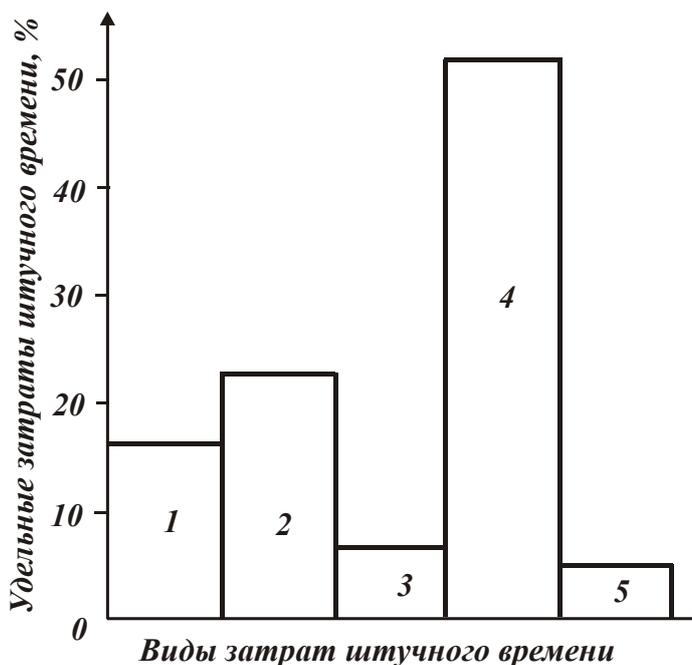


Рис. 2. Диаграмма распределения затрат штучного времени при обработке на крупных горизонтально-расточных станках: 1 – установка, выверка и закрепление детали; 2 – смена и регулировка инструмента, взятие пробных стружек и промеры; 3 – управление станком; 4 – основное время; 5 – сдача отдела технического контроля, съем детали.

Они позволяют повысить производительность за счет автоматического установления рациональных в данных условиях режимов обработки, повысить точность обработки и исключить случайные поломки инструмента.

Для определения направления наиболее эффективного использования крупных горизонтально-расточных станков рассмотрим распределение затрат времени при обработке на данных станках, рис. 2 [5]. Как видно, наиболее существенными технологическими резервами повышения производительности обработки на крупных горизонтально-расточных станках являются: сокращение основного времени (52%) и сокращение времени на смену и регулирование режущего инструмента (22,5%). Только комплексное использование этих резервов повышения производительности обработки может привести к значительному повышению эффективности использования тяжелых горизонтально-расточных станков. Как нами установлено, важнейшим направлением в этом является оснащение станков системами адаптивного управления (по мощности резания).

**Список литературы:** 1. Койре В.Е. Чистовая обработка крупногабаритных деталей / В.Е. Койре. – М.: Машиностроение, 1976. – 119 с. 2. Технология тяжелого машиностроения / С.И. Самойлов, В.М. Горелов, В.М. Брославский и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 595 с. 3. Жабин А.И. Влияние тепловых деформаций на точность обработки крупных деталей / А.И. Жабин и др. // Механообработка, надежность машин. – Краматорск. – Вып. 11. – 1971. – С. 10-20. 4. Койре В.Е. Влияние внутренних напряжений на точность обработки крупногабаритных деталей / В.Е. Койре, С.П. Гинкул // Труды НИИПТМАШ. – Краматорск, 1968. – С. 15-20. 5. Некоторые вопросы технологии тяжелого машиностроения. – М.: Машгиз, 1960. – 67 с.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СБОРКА ИЗДЕЛИЙ (НА ПРИМЕРЕ КОНИЧЕСКОГО РОЛИКОВОГО ПОДШИПНИКА)

**Баланюк А.В.**, магистр, **Гусарев В.С.**, канд. техн. наук, доц.,

**Наддачин В.Б.**, канд. техн. наук, доц.

(Одесский национальный политехнический университет)

*Considered possibility of automated build conical roller bearing in devices, periodic and continuous action. See home map. Earl-schema Assembly and some schema assembly devices*

Автоматическая сборка изделия сравнительно мало распространена в машиностроении. Это определяется рядом причин. Одна из главных – связана с конструкцией изделия. Изделие, как правило, спроектировано без учета особых специальных требований автоматической сборки. Большинство изделий в машиностроения спроектированы под так называемую "ручную – отвёрточную" сборку. Участие рабочего сборщика в технологическом процессе подразумевается "само – собой".

Опыт технологов по механической обработке, которая по своей сути связана с обязательным использованием в процессе механизмов, станков и т.п., невозможно использовать в процессах механизированной и тем более, автоматической сборки. Так, например, принцип постоянства баз в механической обработке совершенно не соответствует сборке, где каждая операция выполняется с других баз. Принцип последовательного снятия припуска с целью повышения качества, в сборке не имеет аналогии, так как детали не подвергаются обработке. Хотя принципы формирования размерных цепей имеют много общего. Автоматическая сборка должна обеспечивать правильное функционирование собираемого изделия (качества) при исключении труда человека.

Исследуя особенности процесса сборки с помощью механизмов и машин-автоматов, можно указать на следующие требования к изделию:

- простота конструкции;
- полная взаимозаменяемость;
- массовый выпуск.

Рассмотрим эти требования к изделию подробно. Простота конструкции – это в первую очередь расположение собираемых деталей вдоль одной или максимум двух координатных осей. Примером расположений элементов изделия по одной оси является подшипник (рис. 1).

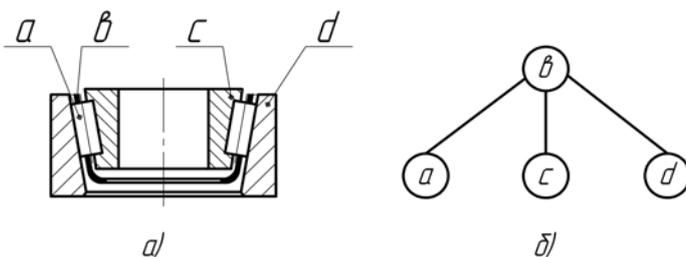


Рис. 1. Конический роликовый подшипник: а – общий вид подшипника; б – граф изделия (подшипник в сборе).

В подшипнике выполняются и два других требования: полная взаимозаменяемость и массовый выпуск.

Существуют требования к процессу сборки:

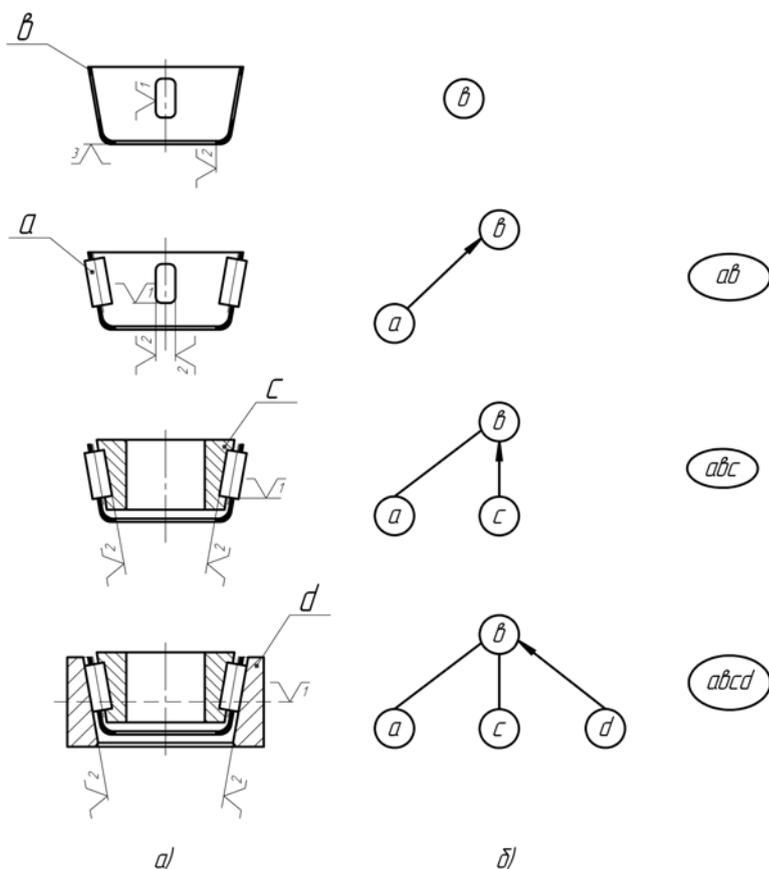


Рис. 2. Сборка конического роликового подшипника: *а* – последовательность сопряжения; *б* – граф сопряжения элементов изделия.

который находится в середине изделия. На второй операции заводится ему в сопряжение ролики (*а*), базирование которых происходит по окнам сепаратора. Третья операция, установка внутреннего кольца (*с*), с базированием по роликам. Наконец, четвертая операция сопряжение собранного комплекта с наружным кольцом (*д*). На рис. 2 показан граф сопряжения (стягивания) сборочных элементов в изделие.

Изделие и процесс позволяют выполнять указанные требования, т.к. изделие чрезвычайно технологично, а процесс отвечает всем требованиям автоматизации сборки.

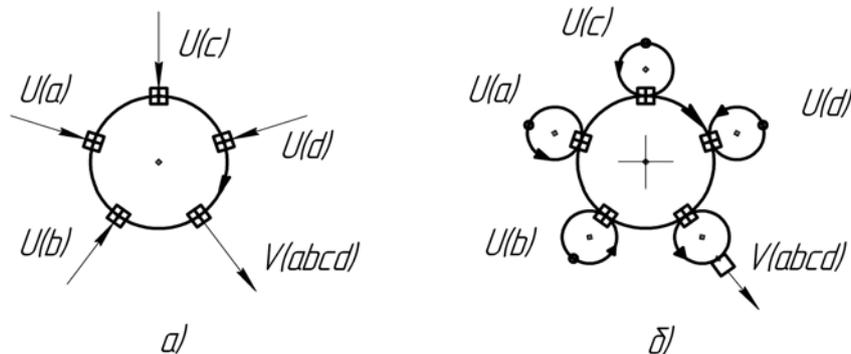


Рис. 3. Схема машины – автомата периодического действия; *а* – с линейной; *б* – с круговой подачей изделия.

- контактная доступность к элементам сборки;
- строгий переход от одного сборочного элемента к другому, со строгим выполнением базирования;
- при сопряжении элементов изделия, оно не должно "распасться" в процессе сборки.

Целесообразно в автоматической сборке реализовать принцип "конфетной" сборки: сначала собираются внутренние элементы, а затем они соединяются с наружными.

Примером реализации упомянутых требований и принципов является процесс сборки конического роликового подшипника. Демонстрация принципа "конфетной" сборки: от середины к краям представлена на рис. 2.

На первой операции заводится сепаратор (*в*) элемент, который находится в середине изделия. На второй операции заводится ему в сопряжение ролики (*а*), базирование которых происходит по окнам сепаратора. Третья операция, установка внутреннего кольца (*с*), с базированием по роликам. Наконец, четвертая операция сопряжение собранного комплекта с наружным кольцом (*д*). На рис. 2 показан граф сопряжения (стягивания) сборочных элементов в изделие.

Изделие и процесс позволяют выполнять указанные требования, т.к. изделие чрезвычайно технологично, а процесс отвечает всем требованиям автоматизации сборки. Реализация процесса автоматической сборки может выполняться различными видами оборудования. Арсенал технологического оборудования для сборки может быть реализован двумя принципиально раз-

ными схемами машин автоматического действия. Первые – периодического действия, вторые – непрерывного. В устройствах периодического действия элементы, собираемого изделия, поступают в сборочные устройства периодически во время остановки транспортного движения общего транспортера, который используется для перемещения изделия по позициям сборки. Перемещение изделия по позициям чаще всего осуществляется круговым (орбитальным) транспортером, а подача сборочного элемента может происходить линейными или круговыми подающими механизмами. На рис. 3, представлены схемы в вариантах: с линейной (а) и круговой (б) подачей изделий.

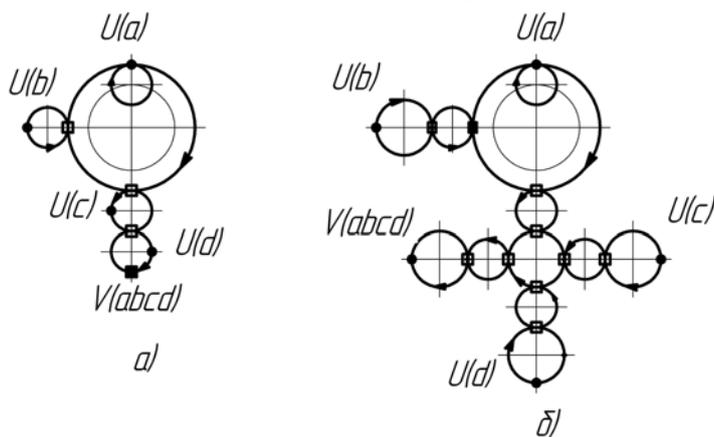


Рис. 4. Схема машины – автомата непрерывного действия: а – без промежуточных транспортных роторов; б – с использованием промежуточных роторов.

а схема (б) с использованием промежуточных транспортных роторов (Кошкин).

Роторные схемы построения сборочных машин – автоматов определенно кинематически сложнее автоматов периодического действия, однако их эффективность определяется чрезвычайно высокой производительностью. Последнее связано с непрерывным движением рабочих и транспортных органов автоматов.

Рассмотренные требования к конструкции изделия и процессу автоматической сборки реализуется не только в сборке подшипников качения, но и многих других изделиях. Эти принципы реализуются в сборке, а точнее в монтаже изделий общебытового назначения (сборка изделий во: флаконах, трубках, цилиндрических контейнерах, бутылках и т.д.), используется в изготовлении кондитерской, парфюмерной и химической продукции. В этих производствах превалирует принцип сборки из середины наружу.

**Список литературы:** 1. Спришевский А.И. Подшипники качения. – М.: Машиностроение, 1969. – 632 с. 2. Божко А.Н. Моделирование механических связей // Наука и образование. – 03.03.2011. 3. Автоматические линии в машиностроении: Справочник – Том 3: Комплексные автоматические линии и участки / Под ред. А.И. Дашенко и Г.А. Навроцкого. – М. Машиностроение, 1985. – 480 с. 4. Клусов И.А. Технологические системы роторных машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 232 с. 5. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные машины. – М.: Машиностроение, 1982. – 336 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Полянский В.И. (ООО "Империя Металлов", г. Харьков)

*The terms of increase of exactness and productivity of tooling are in-process certain on finish operations*

Повышение точности и производительности обработки является важнейшим условием совершенствования операций финишной обработки высокоточных деталей гидроаппаратуры и других ответственных деталей [1, 2, 3]. Данная проблема в настоящее время успешно решается применением современных металлорежущих станков и инструментов, обладающих высокими технологическими возможностями. Это относится и к лезвийной, и к абразивной обработке. Вместе с тем, при использовании новых станков и инструментов важно правильно производить выбор оптимальных условий обработки, в максимальной степени использующих их потенциальные возможности. В связи с этим, актуальны вопросы обоснования технологических закономерностей формирования точности и качества обрабатываемых поверхностей и повышения эффективности обработки. Несмотря на большое количество опубликованных работ, данный вопрос в полной мере не решен [4, 5]. Это требует разработки новых теоретических подходов к анализу технологических возможностей финишной механической обработки. Цель работы – определение условий повышения точности и производительности механической обработки на финишных операциях.

Важным, но не изученным, является вопрос определения оптимального количества проходов инструмента как при лезвийной, так и при абразивной обработке. Поэтому произведем оценку влияния количества проходов инструмента  $n$  на величину упругого перемещения  $y$  при условии обеспечения одинаковой производительности обработки при съеме заданного припуска  $P$ . Для этого рассмотрим теоретическое решение, приведенное в работе [6], согласно которому величина упругого перемещения  $y$  в условиях многопроходного шлифования по жесткой схеме определяется зависимостью

$$y = B_1 \cdot t \cdot (1 - \varepsilon^{-n}) = B_1 \cdot t \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{B_1}\right)^n} \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon = 1 + \frac{1}{B_1}$  – уточнение на проходе;  $B_1 = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$  – безразмерный параметр;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup> (энергоемкость обработки,

Дж/м<sup>3</sup>);  $D_{дет}$  – диаметр отверстия в детали, м;  $S_{прод}$  – скорость продольной подачи, м/с;  $t$  – номинальная глубина шлифования, м;  $c$  – жесткость технологической системы, Н/м;  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;  $P_z, P_y$  – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с;  $\dot{I}$  – снимаемый припуск, м;  $n$  – количество проходов инструмента.

Из зависимости (1) следует, что с увеличением  $n$  величина  $y$  непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к значению  $B_1 \cdot t$ , при котором фактическая глубина шлифования  $t_{ф}$  равна номинальной глубине шлифования  $t$ .

Преобразуем зависимость (1) с учетом  $t = \Pi / n$ . Номинальную производительность обработки  $Q_{ном}$  представим в виде  $Q_{ном} = \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод} \cdot t$ . Тогда, для обеспечения заданной  $Q_{ном}$  скорость продольной подачи  $S_{прод}$  с увеличением  $n$  должна пропорционально увеличиваться по зависимости

$$S_{прод} = \frac{Q_{ном} \cdot n}{\pi \cdot D_{дет} \cdot \Pi}, \quad (2)$$

а  $t$ , наоборот, пропорционально уменьшаться в соответствии с зависимостью  $t = \Pi / n$ . С учетом сказанного, безразмерный параметр  $B_1$  опишется

$$B_1 = \frac{\sigma \cdot Q_{ном} \cdot n}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi}. \quad (3)$$

Подставляя зависимость (3) в (1), получим

$$y = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\left( 1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi}{\sigma \cdot Q_{ном} \cdot n} \right)^n} \right]. \quad (4)$$

Из зависимости (4) вытекает неоднозначное влияние количества проходов круга  $n$  на величину упругого перемещения  $y$ . В связи с этим произведем количественную оценку влияния  $n$  на величину  $y$  для заданной  $Q_{ном}$ . Для

удобства расчетов представим  $B_{1_{баз}} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi}$ , где  $B_{1_{баз}}$  – базовое значение безразмерного параметра  $B_1$ . Тогда зависимость (4) примет вид

$$y = B_{1_{баз}} \cdot \Pi \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\left( 1 + \frac{1}{B_{1_{баз}} \cdot n} \right)^n} \right]. \quad (5)$$

Безразмерный параметр  $B_{1_{баз}}$ , также как и безразмерный параметр  $B_1$ , может изменяться в широких пределах:  $0 < B_{1_{баз}} < \infty$ . Поэтому рассмотрим три

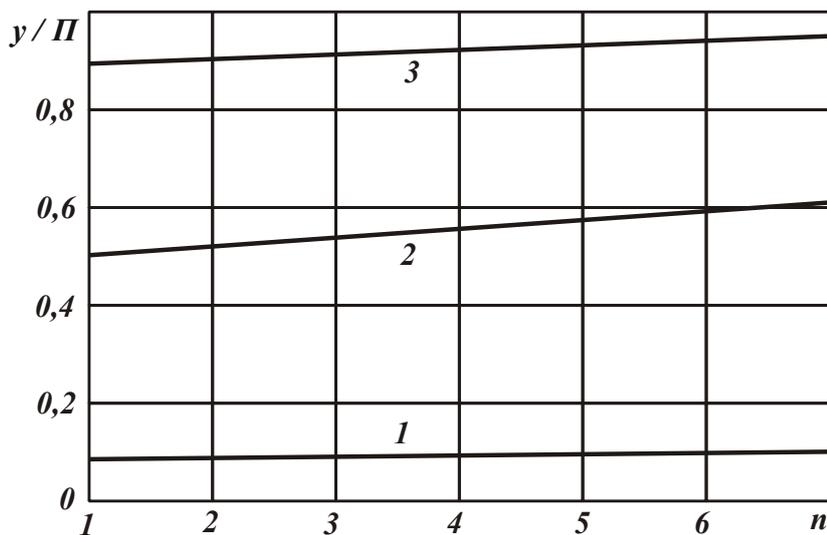


Рис. 1. Зависимость относительной величины  $y/P$  от количества проходов круга  $n$ :

1 –  $B_{1\bar{b}аз} = 0,1$ ; 2 –  $B_{1\bar{b}аз} = 1$ ; 3 –  $B_{1\bar{b}аз} = 10$ .

$B_{1\bar{b}аз}$ ) увеличивается, однако не существенно. При  $n \geq 4$  относительная величина  $y/P$  почти не изменяется. Следовательно, наименьшее значение  $y/P$  при заданной номинальной производительности обработки  $Q_{ном}$  можно достичь при съеме припуска  $\Pi$  за один проход круга ( $n=1$ ). Однако, фактически с одинаковой эффективностью (точностью и производительностью обработки) съем заданного припуска  $\Pi$  можно производить и за большее количество проходов круга, т.е. схемы многопроходного и однопроходного шлифования в данном случае практически равнозначны.

Из двух входящих в зависимость (5) переменных параметров  $B_{1\bar{b}аз}$  и  $n$ , основное влияние на относительную величину  $y/P$  оказывает параметр  $B_{1\bar{b}аз}$ . С его изменением относительная величина  $y/P$  может изменяться в широких пределах (рис. 1). Чем меньше безразмерный параметр  $B_{1\bar{b}аз}$ , тем меньше относительная величина  $y/P$ . При  $B_{1\bar{b}аз} = 10$  относительная величина  $y/P$  приближается к единице, т.е. справедливо условие  $y \rightarrow \Pi$ .

Учитывая эффективность съема припуска за один проход круга (с точки зрения повышения точности и производительности обработки), проведем анализ зависимости (5), которая равносильна зависимости (1), для случая  $n=1$  с учетом  $B_{1\bar{b}аз} = B_1$ :

$$y = \frac{\Pi}{\left(1 + \frac{1}{B_1}\right)} = \frac{\Pi}{\varepsilon} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\Pi} + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot Q_{ном}}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\Pi} + \frac{1}{y_{уст}}\right)}, \quad (6)$$

где  $y_{уст} = B_1 \cdot \Pi = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ .

принципиальных случая: 1)  $0 < B_{1\bar{b}аз} < 1$ ; 2)  $B_{1\bar{b}аз} = 1$ ; 3)  $B_{1\bar{b}аз} > 1$ . На рис. 1 приведены рассчитанные по зависимости (5) значения относительной величины  $y/P$  в зависимости от количества проходов круга  $n$  для разных значений  $B_{1\bar{b}аз}$ .

Как следует из рис. 1, с увеличением количества проходов круга  $n$  относительная величина  $y/P$  (независимо от безразмерного параметра

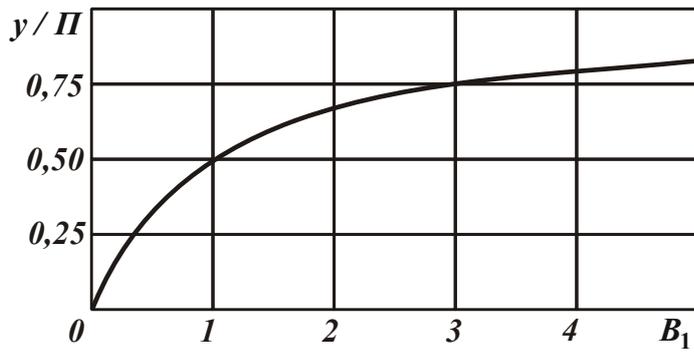


Рис. 2. Зависимость относительной величины  $y/P$  от безразмерного параметра  $B_1$ .

На рис. 2 приведены рассчитанные по зависимости (6) значения относительной величины  $y/P$  с изменением безразмерного параметра  $B_1$ . Как видно, с увеличением  $B_1$  относительная величина  $y/P$  непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. Это свидетельствует о том, что с увеличением  $B_1$  уменьшается съем материала.

Очевидно, начиная с определенного значения  $B_1$ , съем материала практически прекратится. Следовательно, целесообразно обработку производить при небольших значениях  $B_1 \rightarrow 0$ . В этом случае можно обеспечить требуемое значение  $y/P$ . При невыполнении данного условия необходимо уменьшать безразмерный

параметр  $B_1 = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$  за счет изменения величин, входящих в зависи-

мость для его определения. Основной варьируемой величиной в данной зависимости следует рассматривать скорость продольной подачи  $S_{прод}$ , уменьшая которую можно всегда добиться требуемого значения  $B_1$  и соответственно значения  $y/P$ , т.е. требуемую точность обработки при съеме заданного припуска  $P$ . Однако, уменьшение скорости продольной подачи  $S_{прод}$  ведет к снижению номинальной производительности обработки  $Q_{ном}$ , что не всегда целесообразно. Поэтому в зависимости для определения безразмерного параметра  $B_1$  необходимо в первую очередь изменять все другие параметры и, лишь в крайнем случае, уменьшать  $S_{прод}$ . Исходя из этого, задавая значения  $B_1$ , установим характер изменения скорости продольной подачи  $S_{прод}$  от основных параметров шлифования:

$$S_{прод} = \frac{B_1 \cdot c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\pi \cdot D_{дет} \cdot \sigma} \quad (7)$$

Как видно, скорость продольной подачи  $S_{прод}$  тем больше, чем больше параметры  $c$ ,  $V_{кр}$  и меньше  $\sigma/K_{ш}$  и  $D_{дет}$ . Необходимо отметить, что уменьшение скорости продольной подачи  $S_{прод}$  в связи с увеличением диаметра детали  $D_{дет}$  не приводит к снижению номинальной производительности обработки  $Q_{ном} = \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод} \cdot t$ . Во всех остальных случаях (связанных с уменьшением параметров  $c$ ,  $V_{кр}$  и увеличением отношения  $\sigma/K_{ш}$ ) уменьшение  $S_{прод}$  предполагает уменьшение  $Q_{ном}$ .

При съеме припуска за один проход безразмерный параметр  $B_1$  можно представить зависимостью  $B_1 = y_{уст}/P$ . Следовательно, уменьшение  $B_1$  пред-

полагает уменьшение величины  $y_{уст}$ . Для эффективного ведения процесса шлифования, как показано выше, должно выполняться условие  $0 < B_1 < 1$  или  $0 < y_{уст} / \Pi < 1$ . Из этого вытекает, что величина  $y_{уст}$  должна быть значительно меньше величины снимаемого припуска  $\Pi$ .

Зависимость (6) можно представить в виде

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{\Pi} + \frac{1}{y_{уст}} \quad \text{или} \quad (7)$$

$$y = y_{уст} \cdot \frac{1}{(1 + B_1)}. \quad (8)$$

Из зависимости (6) вытекает, что уменьшить величину упругого перемещения  $y$  однозначно можно уменьшением параметров  $\Pi$  и  $y_{уст}$ . При этом характер изменения зависимости (6) определяется соотношением параметров  $\Pi$  и  $y_{уст}$ . В случае  $\Pi \gg y_{уст}$  зависимость (6) приближенно может быть описана

$$y \approx y_{уст}. \quad (9)$$

Тогда справедливо условие  $t_\phi \approx t = \Pi$ , а  $B_1 \rightarrow 0$ , что имеет место при высокой жесткости технологической системы и небольших значениях  $\sigma / K_{ин}$  (высокой режущей способности круга).

Необходимо отметить, что полученное теоретическое решение, описываемое зависимостью (5), справедливо и при лезвийной обработке, т.е. и в этом случае с точки зрения повышения точности и производительности обработки целесообразно сьем припуска производить за один проход инструмента. При  $n=1$  и  $t = \Pi$  зависимость (5) применительно к лезвийной обработке упрощается и описывается

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{1}{B_1}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{t} + \frac{1}{y_{уст}}\right)}, \quad (10)$$

где  $y_{уст} = B_1 \cdot t = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{рез} \cdot V}$  – установившееся значение упругого перемещения,

м;  $K_{рез} = P_z / P_y$ ;  $Q_{ном} = S_{прод} \cdot t \cdot V$  – номинальная производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;  $V$  – скорость резания (скорость вращения детали), м/с.

Зависимость (10) можно также представить в виде

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{t} + \frac{1}{y_{уст}} \quad \text{или} \quad (11)$$

$$y = y_{уст} \cdot \frac{1}{(1 + B_1)}. \quad (12)$$

Как отмечалось выше, в общем случае безразмерный параметр  $B_1$  может изменяться в широких пределах. В случае  $B_1 < 1$ , согласно зависимости  $y = B_1 \cdot t_\phi$ , справедливо соотношение  $y < t_\phi$ , а при  $B_1 > 1$  – соотношение  $y > t_\phi$ . Очевидно, для нормального протекания процесса обработки и более полного

использования потенциальных возможностей режущего инструмента необходимо стремиться к реализации условия  $B_1 < 1$ . В этом случае, исходя из зависимости (12), отношение  $y / y_{уст}$  может изменяться в пределах  $0,5 \dots 1$ . Причем, с уменьшением безразмерного параметра  $B_1 \rightarrow 0$  будет выполняться условие  $y \rightarrow y_{уст}$ . Следовательно, при заданной номинальной производительности обработки  $Q_{ном}$  величина упругого перемещения  $y$  фактически не будет зависеть от номинальной глубины резания  $t$ , т.е. с одинаковой эффективностью можно производить съём припуска различной величины  $\Pi$ .

Из зависимости (10) следует, что уменьшить величину  $y$  можно различными путями: уменьшением отношения  $\sigma / K_{рез}$ , номинальной производительности обработки  $Q_{ном}$  и увеличением параметров  $c$  и  $V$ . Несомненно, более эффективным путем является уменьшение отношения  $\sigma / K_{рез}$  и увеличение параметров  $c$  и  $V$ . Уменьшать  $Q_{ном}$  следует в том случае, когда все резервы, связанные с уменьшением отношения  $\sigma / K_{рез}$  и увеличением параметров  $c$  и  $V$ , исчерпаны.

Полученное теоретическое решение имеет исключительно важное значение для понимания физической сути процессов механической обработки. Это связано с тем, что, несмотря на многообразие методов механической обработки и конструкций режущих инструментов, за счет уменьшения скорости продольной подачи  $S_{прод}$  практически во всех случаях можно уменьшить безразмерный параметр  $B_1$  до необходимого значения и обеспечить требуемое значение  $y / \Pi$ . Иными словами, какой бы несовершенной была конструкция режущего инструмента с точки зрения его режущей способности (определяемой высокими значениями  $\sigma / K_{рез}$ ), уменьшая  $S_{прод}$ , мы уменьшаем безразмерный параметр  $B_1$  до необходимого значения. Точно также недостаток жесткости технологической системы можно с избытком компенсировать уменьшением  $S_{прод}$ . Именно этим обстоятельством можно объяснить возможность реализации на практике режущих свойств различных лезвийных и абразивных инструментов.

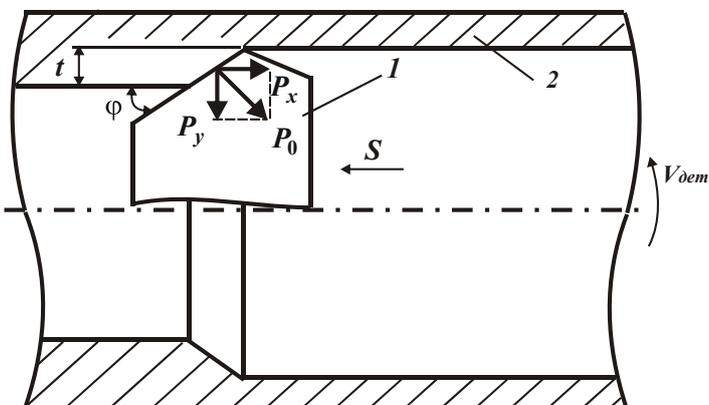


Рис. 3. Расчетная схема параметров процесса растачивания отверстия: 1 – резец; 2 – обрабатываемая деталь.

Рассмотрим закономерности формирования погрешностей при механической обработке отверстий. Первоначально проанализируем процесс растачивания отверстия при съеме припуска за один проход инструмента (рис. 3 [4]). Величина упругого перемещения  $y$ , как и в предыдущих случаях, определяется зависимостью  $y = P_y / c$ , где  $P_y = P \cdot \cos \phi$  – радиальная составляющая силы резания, Н;  $P$  – сила резания, возник-

кающая в плоскости резания, Н;  $\varphi$  – угол резца в плане.

Увеличение угла резца в плане  $\varphi$  приводит к увеличению осевой составляющей силы резания  $P_x = P \cdot \sin \varphi$  (рис. 3), т.е. имеет место перераспределение составляющих силы резания  $P_y$  и  $P_x$ . Уменьшая  $P_y$  за счет увеличения угла резца в плане  $\varphi$ , мы увеличиваем  $P_x$ , т.к. суммарная сила резания  $P$ , возникающая в плоскости резания, остается постоянной.

При условии  $B_1 < 1$  зависимость (12), описывающая величину упругого перемещения  $y$  при однопроходной обработке, упрощается и принимает вид

$$y \approx y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{рез} \cdot V}, \quad (13)$$

где  $K_{рез} = P_z / P$ ;  $Q_{ном} = S_{прод} \cdot t \cdot V$ .

Соответствующая этой величине  $y$  сила резания  $P$  выразится

$$P = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{рез} \cdot V}. \quad (14)$$

Тогда радиальная составляющая силы резания  $P_y$  и величина упругого перемещения  $y$  опишутся зависимостями

$$P_y = \frac{\sigma \cdot Q_{ном} \cdot \cos \varphi}{K_{рез} \cdot V}, \quad (15)$$

$$y = \frac{\sigma \cdot Q_{ном} \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез} \cdot V}. \quad (16)$$

Полученная зависимость (16) согласуется с аналогичной зависимостью для определения величины упругого перемещения  $y$ , установленной в работе [1] другим методом расчета.

В зависимость (16), в отличие от зависимости (12), входит угол резца в плане  $\varphi$ , с увеличением которого ( $\varphi \rightarrow 90^\circ$ ) величина упругого перемещения  $y$  существенно уменьшается, повышая тем самым точность обработки. Следовательно, угол  $\varphi$  является дополнительным важным фактором повышения точности и производительности обработки при окончательном растачивании отверстий.

При предварительной обработке угол  $\varphi$ , наоборот, необходимо уменьшать с целью увеличения ширины среза  $b$  и уменьшения толщины среза  $a$  при заданной производительности обработки  $Q_{ном} = a \cdot b \cdot V$ . Это позволит уменьшить интенсивность износа режущего инструмента и соответственно повысить его стойкость.

Уменьшение интенсивности износа режущего инструмента важно также и при окончательной обработке отверстий, например, при их зенкерование и развертывании. Этим можно объяснить то, что угол  $\varphi$  (угол заборной части) у зенкеров и разверток устанавливается небольшим.

Необходимо отметить, что в данном случае обработка производится несколькими лезвиями инструмента и технологическая система в радиальном направлении уравнивается двумя одинаковыми по величине, но разными

по знаку силами  $P_y$  (рис. 3). Вследствие этого результирующая сила  $\Delta P_y$ , также как и величина упругого перемещения  $y$ , равна нулю и погрешности обработки, связанные с упругими перемещениями в технологической системе, не образуются. Следовательно, угол  $\varphi$ , согласно зависимости (16), не будет влиять на величину  $y$ . Собственно этим и объясняется возможность существенного уменьшения угла  $\varphi$  у зенкеров и разверток.

В случае обработки отверстия со съемом неравномерного припуска результирующая сила  $\Delta P_y$  и соответственно величина  $y$  не будут равны нулю. Это приведет к образованию погрешностей обработки отверстия (в виде эллипсности и конусности). Величина  $y$ , определяемая зависимостью (16), примет вид

$$y = \frac{\sigma \cdot (Q_{ном1} - Q_{ном2}) \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез} \cdot V} = \frac{\sigma \cdot S_{прод} \cdot (t_1 - t_2) \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}}, \quad (17)$$

где  $Q_{ном1} = S_{прод} \cdot t_1 \cdot V$ ;  $Q_{ном2} = S_{прод} \cdot t_2 \cdot V$ ;  $t_1, t_2$  – наибольшая и наименьшая глубины резания, м.

Как видно, величина  $y$  тем больше, чем больше разность глубин резания  $t_1 - t_2$ , т.е. чем больше неравномерность снимаемого припуска. В этом случае уменьшение угла  $\varphi$  ведет к увеличению величины  $y$ . Поэтому основным условием ее уменьшения является увеличение количества лезвий инструмента и соответственно уменьшение разности глубин резания  $t_1 - t_2$  и сил резания, действующих на каждое лезвие инструмента.

Данная закономерность справедлива и при рассверливании отверстий (рис. 3). При условии  $t_1 = t_2$  (т.е. при съеме равномерного припуска) величина упругого перемещения  $y=0$ , и может быть достигнута высокая точность обработки отверстия.

При условии  $t_1 > t_2$  (т.е. при съеме неравномерного припуска) величина упругого перемещения  $y > 0$ , что приведет к образованию погрешностей обработки отверстия. В отличие от зенкера и развертки, сверло, как правило, имеет два лезвия. Поэтому уменьшить величину  $y$  в этом случае можно увеличением угла сверла в плане  $2\varphi$ . Как показывает практика, угол  $\varphi$  у сверла может быть равен  $60^\circ$  и более, т.е. значительно превышает угол  $\varphi$  у зенкеров и разверток.

Сравним значения величины упругого перемещения  $y$ , возникающей в технологической системе при растачивании и рассверливании отверстия и описываемой соответственно зависимостями (16) и (17). Очевидно, при рассверливании разность глубин резания  $t_1 - t_2$  меньше глубины резания  $t$  при растачивании отверстия. Поэтому, на первый взгляд, может показаться, что величина  $y$  при рассверливании меньше. Однако следует учитывать то, что энергоемкость обработки  $\sigma$  при рассверливании больше в связи с худшими условиями стружкообразования при резании. Кроме того, при рассверливании скорость резания  $V$  значительно меньше. В связи с этим, при заданной производительности обработки величина  $y$  при рассверливании будет больше, чем при растачивании отверстия, что соб-

ственно и предопределяет широкое применение растачивания на практике на операциях финишной обработки отверстий. С этих позиций рассверливание эффективно использовать как предварительную обработку отверстий.

**Список литературы:** 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 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.7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 3. Лурье Г.Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования / Г.Б. Лурье. – Л.: Машиностроение, 1984. – 103 с. 4. Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / І.О. Рябенков. – Одеса, 2009. – 21 с. 5. Ковальчук А.Н. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования ответственных валов приводов шахтных конвейеров: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 "Технология машиностроения" / А.Н. Ковальчук. – Одесса, 2008. – 21 с. 6. Новиков Ф.В. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования плоских и внутренних цилиндрических поверхностей деталей / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 101. – С. 28-39.

**УДК 620.199; 539.388.1**

## **ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ НАГРЕВА СТАЛИ ШХ 15 ПРИ УСТАЛОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ**

**Вакуленко К.В.**, канд техн. наук, **Казак И.Б.**, канд. техн. наук,  
**Полищук О.Ф.**, канд. техн. наук, **Пучков С.Ю.**, **Ярещенко В.Г.**, канд. техн. наук  
(ИПМаш им. А.Н. Подгорнова НАН Украины, г. Харьков)

*Investigatin on heating of samples of steel ShCh 15 under cyclic loading. Established nonmonotonic heating. It was found that the heating time to a fixed temperature with each cycle of loading is reduced*

Проведение высокочастотных циклических испытаний (300 Гц и выше) нередко сопровождается разогревом испытываемых образцов [1], что обычно связывают с внутренним трением, которое характеризует способность металлов необратимо поглощать сообщаемую им энергию механического воздействия и переводить ее в тепловую. Одними из причин внутреннего трения являются дефекты кристаллического строения (точечные, линейные и объемные), а также нарушения сплошности материала (поры, трещины).

В большинстве случаев для ликвидации разогрева используют принудительное охлаждение образцов – обдув воздушным потоком, охлаждение различными жидкостями. При этом применение охлаждения может значительно исказить результаты испытаний [2]. Нами было высказано предположение [3], что эффект разогрева образцов при усталостных испытаниях может быть ис-

пользован как самостоятельный фактор, позволяющий по поведению температуры поверхности образца при испытаниях в конкретных условиях нагружения судить о накоплении в металле усталостных повреждений.

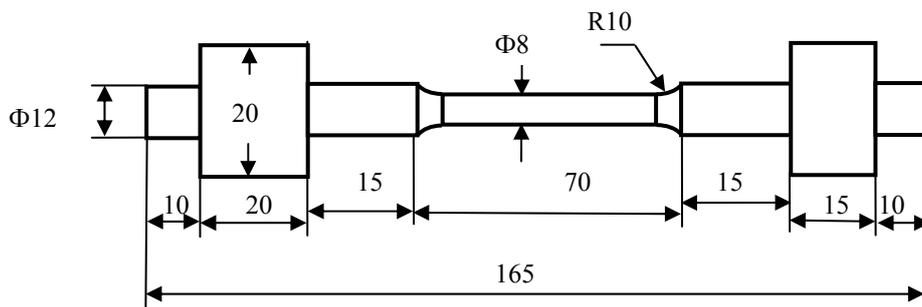


Рис. 1. Эскиз образца для циклических испытаний.

Для подтверждения высказанных предположений была проведена серия испытаний на круглых образцах (рис. 1) из стали ШХ 15 после нормализации, заключающиеся в их циклическом растяжении-сжатии при определенной амплитуде нагружения с резонансной частотой 450 Гц на вибростенде ВДЭС-400. Схема нагружения приведена на рис. 2. Для измерения температуры поверхности образцов в течение всего времени испытаний применялся инфракрасный пирометр MS6540B с погрешностью измерений  $\pm 1,5\%$ .

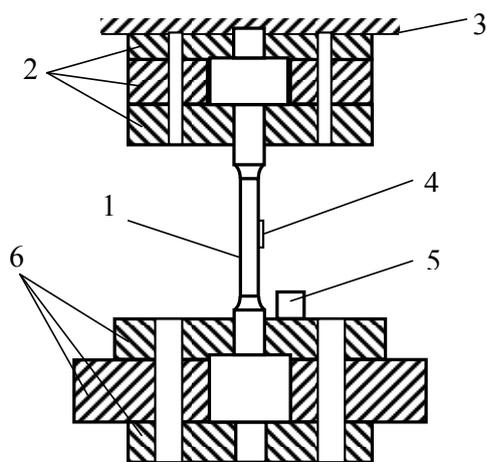


Рис. 2. Схема циклического нагружения: 1 – образец; 2 – крепежные пластины; 3 – основание; 4 – тензодатчик; 5 – акселерометр; 6 – груз.

Перед проведением испытаний для получения заданных амплитуд нагружений проводилась тарировка стенда. Для этого необходимо привести в соответствие показания деформаций тарировочной балки и ускорения, измеренные датчиком на вибростенде. Выполняли тарировку следующим образом. Сначала задавался прогиб тарировочной балки 1,5 мм, что соответствует деформации 900 единиц относительной деформации (ЕОД) и напряжениям 189 МПа. Измеряли разбаланс моста при помощи тензостанции и цифрового вольтметра, включенного на постоянный режим. Затем балку разгружали. Задавали ряд ускорений на вибростенде и измеряли напряжение разбаланса при помощи цифрового вольтметра, включенного на переменный режим. Далее находили соответствие между статическим прогибом

балки и динамическим нагружением образца и составляли таблицу соответствия амплитуд нагружения образца ускорениям вибростенда.

Испытания проводили следующим образом. Задавалось конкретное значение амплитуды нагружения  $\sigma_a = const$ . Нагружение образцов осуществляли до того момента, когда температура их поверхности достигала  $70^\circ\text{C}$  (температура образцов до испытаний составляла  $13^\circ\text{C}$ ) и фиксировали время нагрева, после чего стенд выключали. Далее следили за снижением температуры образца при его

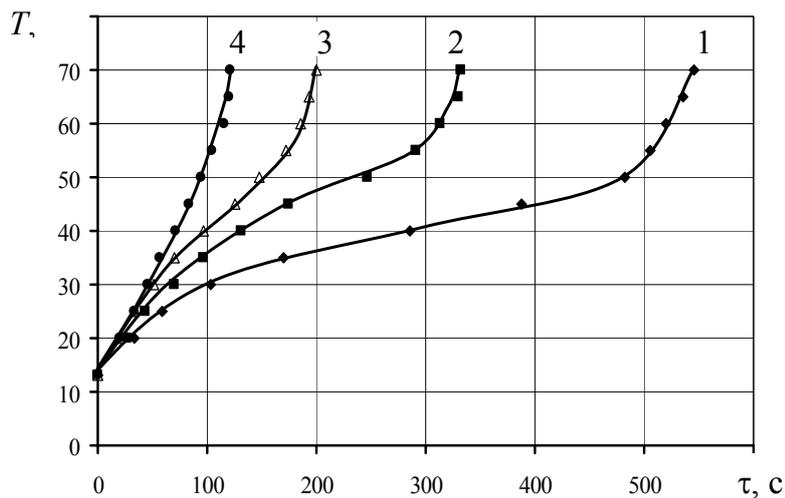


Рис. 3. Температура рабочей поверхности образца при  $\sigma_a=210$  МПа в зависимости от времени нагружения, при циклах нагружения: 1 – первом; 2 – втором; 3 – третьем; 4 – четвертом.

нагружения подобны. Однако следует отметить, что время подъема температуры до  $70^{\circ}\text{C}$  с каждым последующим циклом уменьшается. Если при первом нагружении оно составляло 546 с, то при втором 332 с, при третьем – 200 с, а при четвертом уже 122 с. То есть время подъема температуры при втором нагружении уменьшается сильно, а при последующих нагружениях продолжает уменьшаться, но уже медленнее.

В описанном эксперименте температура  $70^{\circ}\text{C}$  выбрана с одной стороны достаточно высокой для того, чтобы за одно включение стенда можно было бы набрать заметное количество циклов нагружения, а с другой стороны, – весьма низкой, для того чтобы иметь уверенность, что в формирующейся структуре металла при испытаниях нагрев играет ничтожно малую роль.

Кроме этого образцы испытывали в течение  $10^4$  циклов нагружения при разных значениях амплитуды нагружения  $\sigma_a$ , начиная с 100 МПа, и измеряли максимальную температуру поверхности образца. Такая схема проведения испытаний показывает, что при малых значениях амплитуды нагружения, измеряемая температура остается практически неизменной. Начиная с 180 МПа происходит резкое возрастание температуры, что в конечном итоге приводит к температурному скачку и хрупкому разрушению образцов.

Если высказать предположение, что скорость повышения температуры металла зависит от концентрации дефектов, которые участвуют в рассеянии механической энергии, подводимой к образцу то, следовательно, можно признать, что концентрация указанных дефектов растет с увеличением времени нагружения. Причем каждый последующий цикл нагружения повышает эту концентрацию, поскольку с каждым новым включением скорость подъема температуры возрастает.

Таким образом, в результате проведенного анализа разогрева образцов из стали ШХ 15 после нормализации при циклическом их нагружении с частотой  $\sim 450$  Гц на вибростенде при постоянном значении амплитуды нагружения  $\sigma_a$

остывании до комнатной температуры, после чего стенд снова включали при той же амплитуде нагружения и снова фиксировали зависимость температуры образца от времени испытаний. Описанный цикл повторяли несколько раз.

На рис. 3 представлены 4 из проведенных таким образом циклов нагружения и разгрузки при  $\sigma_a=210$  МПа. Из рис. 3 следует, что кривые изменения температуры поверхности образца для всех представленных циклов

установлено, что при каждом последующем нагружении образца нагрев идет с быстро увеличивающейся скоростью. Изменение температуры поверхности образцов также существенно зависит от амплитуды нагружения. Чем меньше амплитуда нагружения, тем дольше образцы не греются вовсе, чем амплитуда нагружения выше, тем быстрее и интенсивнее происходит нагрев образца, вплоть до его разрушения. То есть имеет место немонотонный характер нагрева.

Есть основания считать, что быстрый нагрев начинается в тот момент, когда в образцах появляются дефекты сплошности (субмикropoppy, субмикротрещины), что усиливает рассеяние механической энергии, подводимой к образцу при испытаниях, и проявляется в резком ускорении нагрева.

**Список литературы:** 1. Матохнюк Л.Е. Ускоренные усталостные испытания высокочастотным нагружением / Л.Е. Матохнюк – Киев: Наук. думка, 1988. – 200 с. 2. Кузьменко В.А. Влияние частоты нагружения, температуры и асимметрии цикла на выносливость теплостойких сталей 1X2M и X18H9 / В.А. Кузьменко, И.И. Ищенко, И.А. Троян и др. // Проблемы прочности. – 1980. – № 4. – С. 35-40; 1981. – № 2. – С. 30-36. 3. Мацевитый В.М., Казак И.Б., Вакуленко К.В., Полищук О.Ф. Некоторые аспекты разогрева металла в условиях циклического нагружения // Проблемы машиностроения. – 2011. – Т.14, №1.

УДК 621.92

## НАГРЕВ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Сизый Ю.А., докт. техн. наук, Ушаков А.Н., канд. техн. наук (НТУ «ХПИ»)

*A calculation and analysis of temperature of heating of surface of detail is produced at polishing*

В статьях [1,2] представлена разработка конечно-разностной модели нагрева поверхности обрабатываемой шлифованием. При этом обрабатываемая поверхность представляется как набор тонких адиабатических стержней. Недостатком разработанной достаточно сложной модели является необходимость ее полного перестроения при изменении условий шлифования, что значительно затрудняет исследовать их влияние на нагрев обрабатываемой поверхности. Поэтому в настоящей работе предлагается аналитическая модель нагрева поверхности при шлифовании как результат последовательного резания абразивными зернами след в след друг другу. В отличие от конечно-разностной модели аналитическая не учитывает влияние температуры на теплофизические параметры обрабатываемой поверхности. Однако это влияние может быть косвенно оценено сравнением результатов расчета для одинаковых условий шлифования по конечно-разностной и аналитической моделям.

Адиабатические стержни, из которых «состоит» поверхность заготовки, проходя через зону контакта круга с заготовкой периодически перерезаемая зернами, следующими друг за другом. Температура нагрева стержня при резании  $i$ -тым зерном рассчитывается следующим образом:

$$T_i(x_i, \tau) = \frac{q_p}{2 \cdot c \rho \sqrt{\pi} \cdot a} \int_{x_{i1}}^{x_{i2}} \frac{dt}{\sqrt{\tau-t}} \exp \frac{-(x_i)^2}{4 \cdot a(\tau-t)} + \frac{q_{tp}}{2 \cdot c \rho \sqrt{\pi} \cdot a} \int_{x_{i1}}^{x_{i2}+\pi} \frac{dt}{\sqrt{\tau-t}} \exp \frac{-(x_i)^2}{4 \cdot a(\tau-t)}. \quad (1)$$

где  $T_i(\tau)$  – температура стержня в момент времени наблюдения  $\tau$  для координаты  $x_i$  на стержне;  $q_p$  – тепловой поток от работы деформации на плоскости сдвига;  $\tau_{di}$ ,  $\tau_{hi}$  – время начала и конца работы деформации при резании  $i$ -тым зерном;  $x_i$  – расстояние от места приложения тепловых потоков до рассматриваемой координаты поверхности детали;  $q_{tr}$ ,  $\tau_p$  – тепловой поток от работы трения на задней поверхности (площадке износа) зерна и время его действия;  $C_p$ ,  $a$  – теплоемкость и температуропроводность материала заготовки (детали).

Общую картину нагрева и охлаждения детали получим суммированием (1):

$$T(\tau) = \sum_{i=0}^n T_i(x_i, \tau). \quad (2)$$

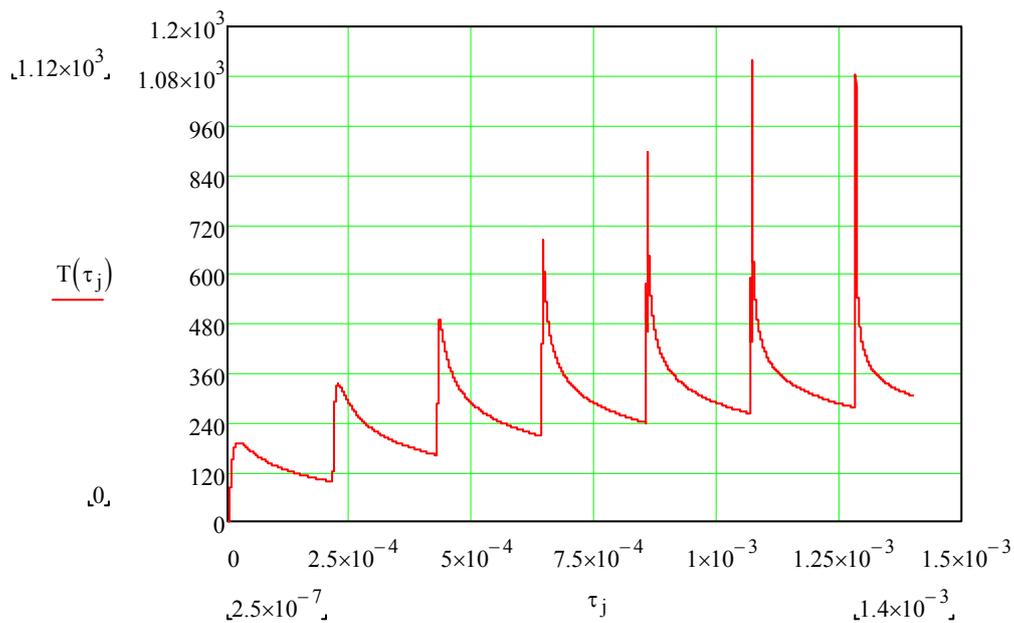


Рис. 1. Температура на поверхности шлифуемой детали.

Расчет всех параметров резания единичными зернами след в след ведется по формулам и алгоритмам, приведенным в [3], а расчет тепловых потоков  $q_p$  и  $q_{tr}$  в [4]. На рис.1 приведен результат расчета температуры на поверхности детали, которая подвергается семи резам абразивными зернами из электрокорунда при следующих условиях круглого наружного врезного шлифования: радиус круга 375 мм, радиус шлифуемой детали 50 мм, скорость резания 50 м/с, скорость окружной подачи 833 мм/с, глубина шлифования 0,02 мм, максимальная толщина среза всеми зернами 0,005 мм, материал заготовки сталь X18H10T.

Разработанная аналитическая модель (уравнения (1), (2)) позволяет достаточно просто менять условия шлифования и анализировать их влияние на температуру шлифуемой поверхности. Из рис. 1 видно, что самоподогрев поверхности заготовки от резания предыдущим зерном невелик (не выше  $300\text{C}^0$ ), что значительно отличается от ее значений полученных Корчаком С.Н. [4] и Островским В.И. [5].

**Список литературы:** 1. Сизый Ю.А., Чайка Э.Г., Ушаков А.Н., Сталинский Д.В. Температура поверхности обработанной шлифованием как результат последовательного резания единичными абразивными зернами. Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ"ХПИ", 2010. – Вып. 78. – С. 140-156. 2. Си-

зый Ю.А., Сталинский Д.В., Ушаков А.Н. Теплофизика массового резания абразивными зернами шлифовального круга // Вестник национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – 2010. – №41 . – С. 46-70. 3. Сизый Ю.А., Сталинский Д.В., Ушаков А.Н. Расчет параметров процесса резания единичными абразивными зернами шлифовального круга при стержневой модели обрабатываемой поверхности // Вестник национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – 2010. – №25. – С. 59-66. 4. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 5. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1981. – 141 с.

УДК 621.923

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОАППАРАТУРЫ

**Жовтобрюх В.А.**, Генеральный директор  
(ООО Технический Центр "ВариУс", Днепропетровск)

*Examples of development and effective introduction of modern technologies of tooling of details of гидроаппаратуры, and also technologies of the high-performance by volume milling, are in-process made*

Обеспечение высоких требований к точности и качеству изготовления деталей гидроаппаратуры предполагает применение износостойких, обладающих высокой режущей способностью инструментов и высокоточных станков. Это, например, стало решающим фактором в решении проблемы высокоточного экономичного изготовления деталей гидроаппаратуры, выпускаемых на заводе "Гидросила" (г. Кировоград). На рис. 1 показаны три типовые изготавливаемые детали (3Dmodel).

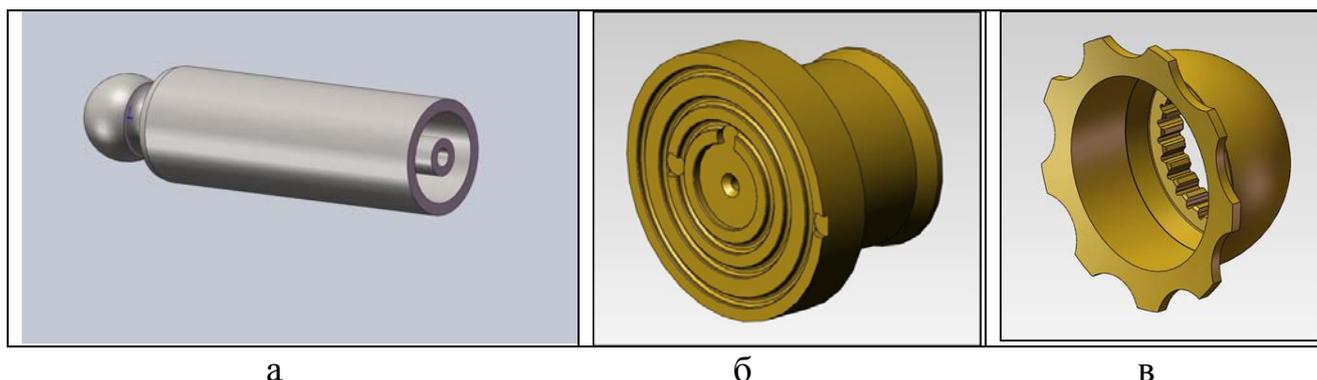


Рис. 1. Изготавливаемые детали гидроаппаратуры: а – плунжер; б – пята; в – втулка.

Обработка указанных деталей (более 10 разновидностей и типоразмеров деталей) производится на высокопроизводительном двухшпиндельном токарном обрабатывающем центре PUMA 2100MS с приводным фрезерным инструментом (ось С) и контр-шпинделем ("DOOSAN", Южная Корея), оснащенный револьверной головкой для смены инструмента и системой управления (ЧПУ) Fanuc Oi-TD. Для каждого изделия был изготовлен отдельный комплект зажимной оснастки, а

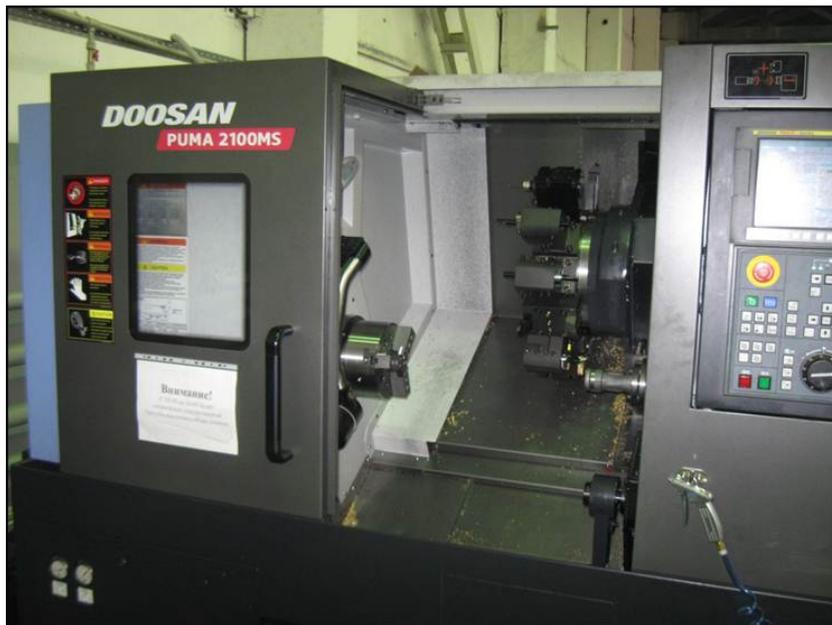


Рис. 2. Высокопроизводительный двухшпиндельный токарный обрабатывающий центр PUMA 2100MS с приводным фрезерным инструментом (ось С) и контр-шпинделем (“DOOSAN”).

для операций кольцевого фрезерования и глубокого сверления станок комплектовался мощной гидростанцией на 70 бар.

В работе был сделан основной упор на момент экономичности, связанный, с одной стороны, с повышением производительности, а с другой стороны, с универсализацией оборудования с ЧПУ путем применения нестандартных режущих инструментов и специальной оснастки.

Расчет средней себестоимости машино-

строительной продукции показывает, что лишь 3% от общей стоимости металлообработки составляют затраты на режущий инструмент (рис. 3). Однако фактическое влияние правильности выбора инструмента на снижение себестоимости готовой продукции гораздо выше. При выборе инструмента необходимо учитывать оптимальное соотношение его цены, стойкости и производительности.

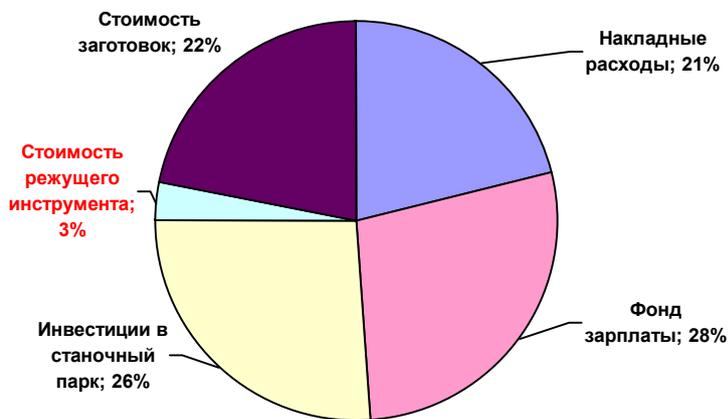


Рис.3. Распределение затрат на металлообработку.

Поэтому рассмотрим влияние каждого из этих показателей на себестоимость продукции.

Снижение **цены** режущего инструмента:

– снижение на 20% соответствует снижению общей себестоимости изделия на

$3\% \cdot (-20\%) = -0,6\%$ ;

– дополнительная 33% скидка на инструмент предыдущего поколения позволяет экономить  $3\% \cdot (-33\%) = -1,0\%$ .

Повышение **стойкости** режущего инструмента:

– увеличение в два раза срока службы соответствует снижению себестоимости на  $3\% : 2 = -1,5\%$ .

Увеличение **производительности** (скорость/подача) режущего инструмента:

– увеличение производительности на 20% соответствует снижению затрат на (накладные расходы + фонд зарплаты + инвестиции в станочный парк)  $\times (-20\%) = (21\% + 28\% + 26\%) \cdot (-20\%) = 75\% \cdot (-20\%) = -15\%$ . Даже если при этом расходы на инструмент возрастают, например, в полтора раза, т.е. часть его стоимости в себестоимости возрастает до  $3\% + 1,5\% = 4,5\%$ , то общее снижение себестоимости изделия будет составлять  $-15\% + 1,5\% = -13,5\%$ .

Таким образом, очевидно, что увеличение скорости обработки и усовершенствование технологического процесса способствуют значительному снижению себестоимости единицы готовой продукции (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1

Эффективность влияния режущего инструмента на себестоимость продукции

Цена	Стойкость	Скорость резания и совершенствование технологического процесса
-1%	-1,5%	-15%



Рис. 4. Сектор в сборе

Внедрение современного инструмента и оборудования позволило решить проблему создания сложнопрофильных рабочих поверхностей сектора (элемента) пресс-формы для шины диаметром 2200 мм для Днепрполимермаш (рис. 4, рис. 5). По действующей технологии обработка производилась в течение 180 часов. Внедрение новой

технологии позволило исключительно за счет увеличения режимов резания и уменьшения количества проходов сократить машинное время до 15,5 часов. В результате достигнуто уменьшение машинного времени в 11,5 раза, что дало возможность предприятию выиграть тендер на поставку изделий, стоимостью в миллионы долларов. Эффект обусловлен применением новых режущих инструментов производства Taegutec Ю. Корея: торцевой фрезы  $\varnothing 100$  Taegu Tec с механическим креплением пластин SCRM90TN 6100-32R-22 (рис. 6,а); концевой фрезы  $\varnothing 32$  Taegu Tec с механическим креплением пластин TE90AP 332-32-17-L (рис. 6,б); сферической фрезы  $\varnothing 25$  Taegu Tec с механическим креплением пластины TBN 250-32M (рис. 6,в).

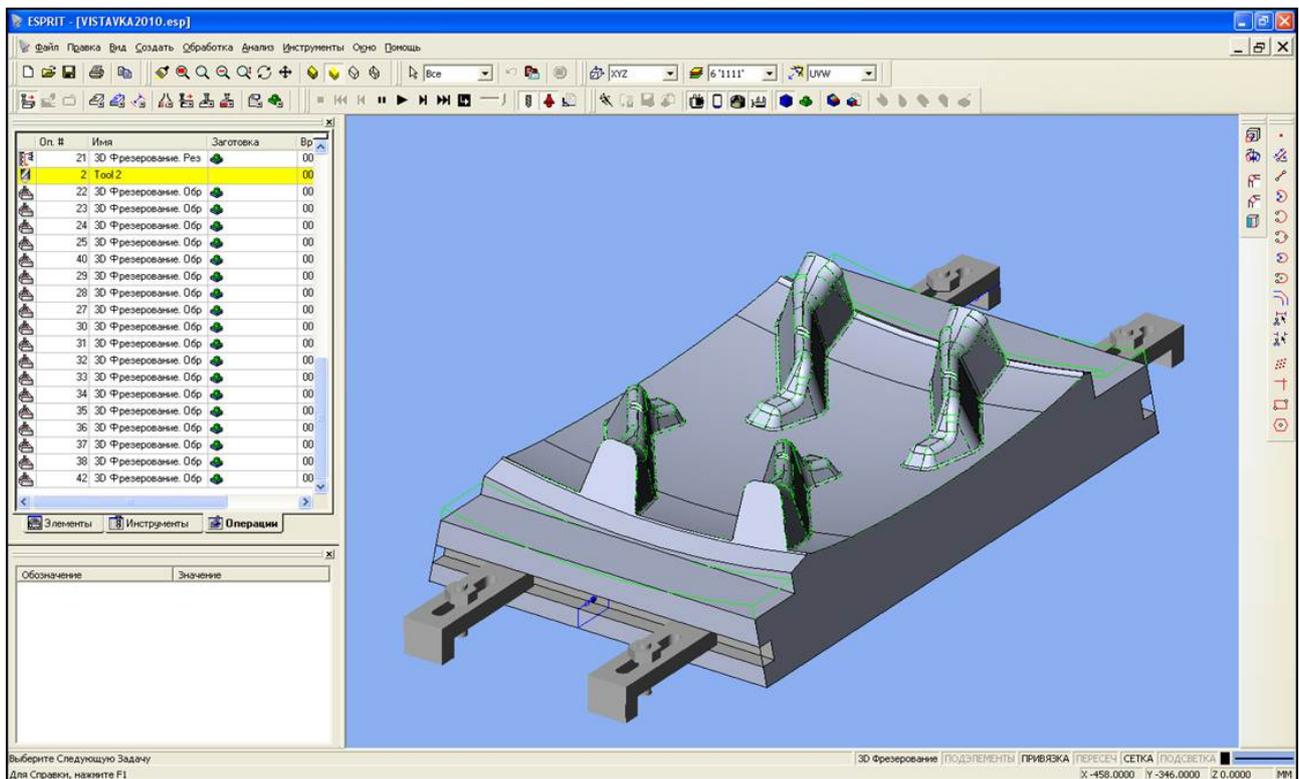


Рис. 5. Траектории инструмента в САМ системе Esprit.

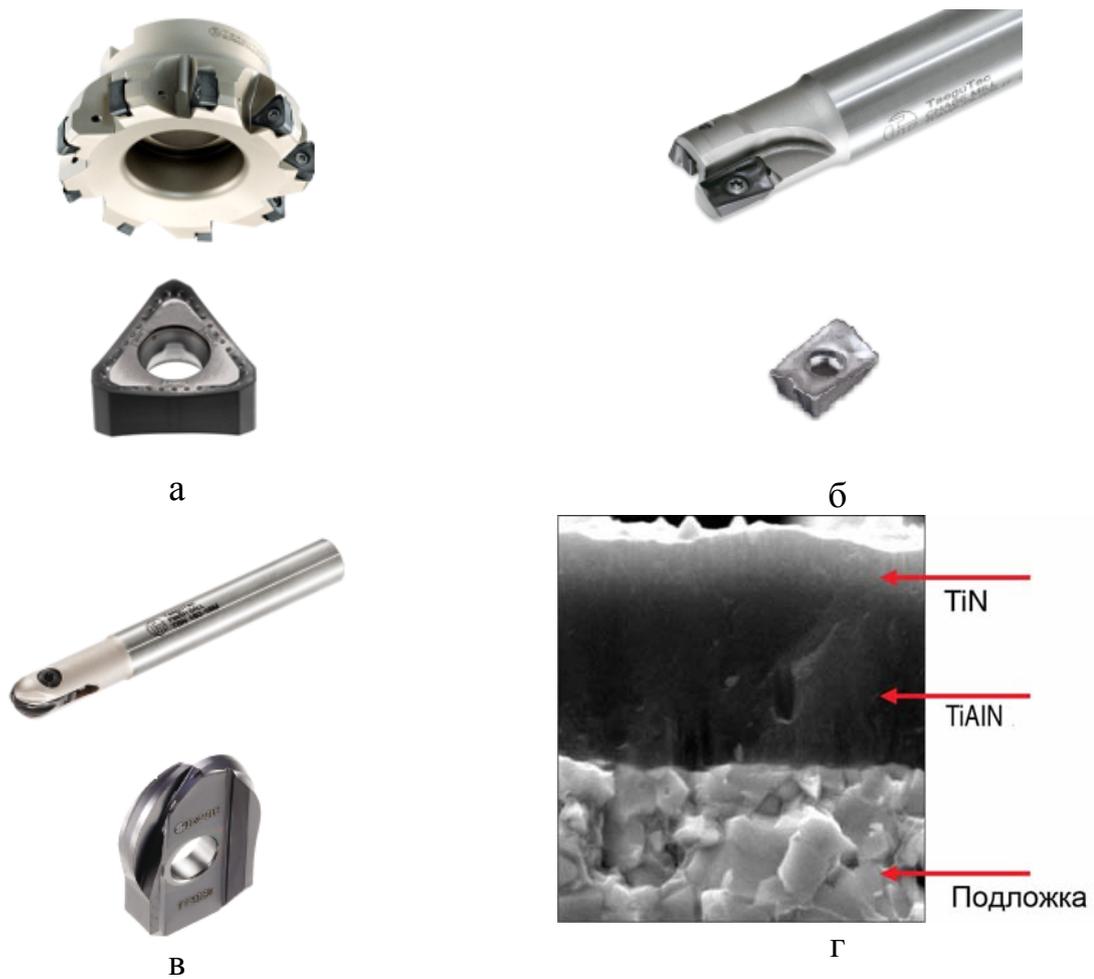


Рис. 6. Применяемые режущие инструменты (а, б, в) и структура сплава ТТ9080 (г)

Используются пластины с износостойкими покрытиями (сплав ТТ9080, рис. 6,г), обеспечивающими высокую стойкость режущих инструментов.

Черновая обработка производится торцевой фрезой Ø100 Taegu Tec с режимом резания: скорость резания  $V=140$  м/мин; подача на зуб  $F_Z=0,11$  мм/зуб; обороты шпинделя  $S=440$  об/мин; подача стола  $F=300$  мм/мин; глубина – 6 мм; ширина – 70 мм.

Получистовая обработка производится концевой фрезой Ø32 Taegu Tec с режимом резания: скорость резания  $V=170$  м/мин; подача на зуб  $F_Z=0,2$  мм/зуб; обороты шпинделя  $S=1700$  об/мин; подача стола  $F=1000$  мм/мин; глубина – 1 мм; ширина – 23 мм.

Чистовая обработка производится концевой фрезой Ø21 Taegu Tec с режимом резания: скорость резания  $V=330$  м/мин; подача на зуб  $F_Z=0,4$  мм/зуб; обороты шпинделя  $S=5000$  об/мин; подача стола  $F=3900$  мм/мин; глубина – 0,3 мм; ширина – 0,5 мм.

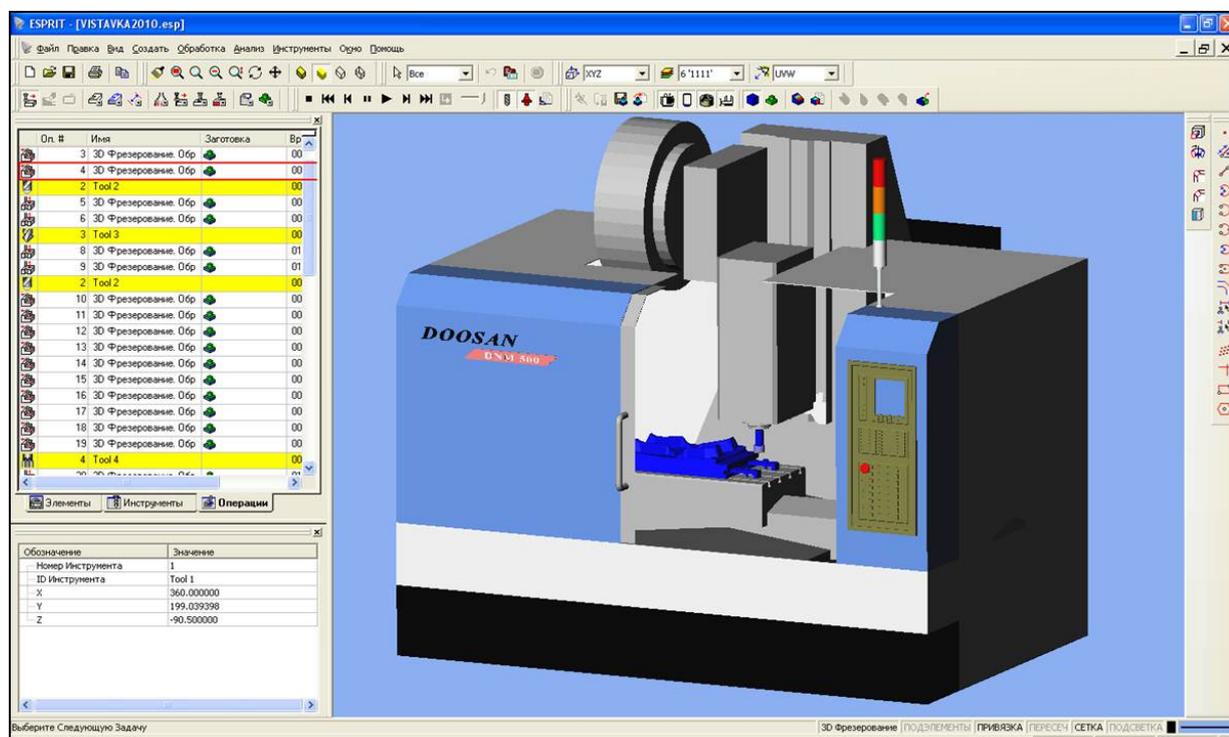


Рис. 7. Контроль и симуляция обработки в САМ системе Esprit.

Чистовая обработка также производится и с применением сферической фрезы Ø25 Taegu Tec с режимом резания: скорость резания  $V=390$  м/мин; подача на зуб  $F_Z=0,3$  мм/зуб; обороты шпинделя  $S=5000$  об/мин; подача стола  $F=3000$  мм/мин; глубина – 1 мм; ширина – 0,35 мм.

В работе применены нестандартные подходы к контролю качества – внедрены САМ системы ESPRIT (рис. 7 [1]). Применение данного программного средства позволяет исключить необходимость промежуточных замеров в процессе обработки детали, что позволяет дополнительно повысить производительность труда.

Таким образом, приведенные примеры наглядно показывают, что применение современного оборудования и режущих инструментов открывает новые технологические возможности в интенсификации процессов механической обработки ответственных деталей. В результате достигается многократное увеличение производительности и снижение себестоимости обработки при обеспечении высоких требований по точности и качеству обрабатываемых поверхностей.

Список литературы: 1. <http://varius.com.ua/esprit.html>

УДК 621.923

## СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРЕВРАЩЕНИЮ ОДНИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДРУГИЕ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

**Борисевич В.К.**, докт. техн. наук, **Сабакарь А.И.**, **Третьяк В.В.**  
(Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)

*The analysis of the state of researches is conducted on converting of one elements into other by means of energy of explosion*

Как сообщается в некоторых изданиях [1, 2, 3] и др., в настоящее время проблеме получения новых материалов уделяется большое внимание.

Мы считаем, что проблема получения новых материалов из существующих является уже реальной. На предыдущей конференции в докладе Борисевича В.К. уже говорилось об этом [4]. В течение 2011 года авторы совместно с ОАО «Мотор-Сич» провели ряд экспериментов, которые это подтверждают.

Нами уже доказано в первом приближении, что управляемая атомная перестройка веществ не только возможна, но и технически относительно несложная. Объектом исследования был ряд элементов (медь, цинк, алюминий свинец и др.). На объекты исследования направлялись кумулятивные струи от взрыва различных ВВ, в результате воздействия которых друг на друга получались новые элементы (табл. 1 – табл. 4).

Таблица 1

Состав исходного материала, %	Полученный материал, %
Cu – 99,9; Si – 0,1	Cu – 1,1; C – 69,66; B – 21,1; Fe – 2,03; Si – 1,9; O – 1,78; Al – 1,74; Cl – 0,25; Ca – 0,25; S – 0,2

При других условиях взрыва (на том же «свидетеле») получилось:

Таблица 2

Состав исходного материала, %	Полученный материал, %
Cu – 99,9; Si – 0,1	Cu – 8,53; B – 86,6; Fe – 2,56; Ni – 1,25; Si – 0,27; Al – 0,19; Cl – 0,15; S – 0,15; K – 0,14; Ca – 0,09; P – 0,07

Таблица 3

Состав исходного материала, %	Полученный материал, %
Al – 97,28; Si – 1,10; Fe – 0,93; Mg – 0,69	Al – 36,77; Ca – 22,84; Fe – 10,63; Cl – 10,36; O – 6,88; Ti – 6,37; Si – 6,14

При других условиях взрыва:

Таблица 4

Состав исходного материала, %	Полученный материал, %
Al – 97,28; Si – 1,10; Fe – 0,93; Mg – 0,69	Al – 64,07; O – 15,35; Fe – 14,68; Ca – 2,5; Si – 2,16; Ti – 0,66; Cl – 0,58

Мы специально приводим данные по разложению (например, Cu) и по синтезу (например, Al), говоря при этом, что таким способом можно осуществлять и разложение и синтез вещества. На базе проведенных экспериментов, и тех, которые мы в максимальном объеме можем осуществить, будет строиться новая молекулярно-кинетическая теория взрывных превращений в твердых телах со свободной поверхностью в условиях большого одноосного давления и деформации сдвига (подтверждение эффекта Бриджмана во взрывных технологиях).

Предусматривается, что за счет превращения физико-химических свойств новые материалы будут иметь значительно улучшенные свойства, за счет получения плотно-упакованных структур (см. материалы Санкт-Петербургского физико-технического института им. Иоффе) на базе современных материалов, либо перестройки существующих за счет изменения на другое количество элементарных частиц, которые есть в атомах этих материалов (элементов).

Необходимо, в последующем, выполнить проект, который предоставит возможность разработать новую концепцию использования взрывной технологии для получения новых материалов. Проект предоставит возможность получить комплекс новых знаний для экспериментального подтверждения существующих положений о строении вещества и об их перестройке. На базе этого проекта может появиться возможность достаточно простого получения новых материалов со значительно улучшенными свойствами, что позволит провести перестройку существующей аэрокосмической техники с учетом новых полученных достижений (при увеличенных внешних параметрах: скорость, возможные уменьшения затрат на строительство и материалы, сроки эксплуатации и т.д.). В этих научных достижениях нельзя выбрасывать и возможность получения новыми способами большой энергии, которая выделяется при синтезе материалов, что в перспективе может заменить энергию, полученную в атомных электростанциях.

**Список литературы:** 1. Леонов В.С. Холодный синтез в эффекте Ушеренко и его применение в энергетике. – М.: Агроект, 2001. – 6 с. 2. Асланов С.К., Каим Я.С., Каим С.Д. О механизме взрывного образования наночастиц // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – Т.5. – №3. – 2007. – С. 811-831. 3. Болотов Б.В. Здоровье человека в нездоровом обществе. – М., С.-П., Киев: Изд. «Питер», 2009. – 720 с. 4. Борисевич В.К. Импульсные технологии обработки металлов методами пластического деформирования // Физические и компьютерные технологии. – Труды 16-й Междунар. научн.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2010.

## ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПАР ТРЕНИЯ В АГРЕГАТАХ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Рябенков И.А., канд. техн. наук, Дерябин В.С., канд. техн. наук  
(ГП Харьковский машиностроительный завод “ФЭД”)

*The terms of increase of exactness and quality of treatment of spherical pairs of friction are in-process reasonable in the aggregates of fuel apparatus*

Синхронизация оборотов двух турбовинтовых двигателей типа ТВ-3-117 ВМ в пределах 1-2% обеспечивается насосами регуляторами с помощью узла регулятора оборотов. При разборке узла оборотов периодически выявляется нехарактерная приработка по сопрягаемым сферам R2 иглы и опоры. Величина износа сфер может достигать 0,1 мм. Одной из причин повышенного износа сферических пар трения является попадание микрочастиц в зазор между сопрягаемыми сферами и неточность их изготовления. Поэтому технологии изготовления сопрягаемых сферических поверхностей и их контролю на производстве уделяется большое внимание. Цель работы – определение условий повышения эффективности изготовления сферических пар трения в агрегатах топливной аппаратуры.

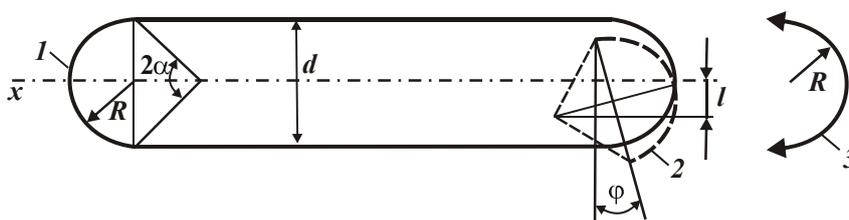


Рис. 1. Расчетная схема параметров иглы: 1 – теоретически правильная форма сферы; 2 – измененная форма сферы; 3 – обкатка по радиусу сферы.

Рассмотрим технологию изготовления сферических поверхностей, предварительно исследуя причины образования неравномерности припуска под доводку. К примеру, неравномерность распределения припуска по боковым

поверхностям зубьев зубчатого колеса от кинематического и геометрического эксцентриситетов рассматривалось в работе [1]. Аналогичный механизм формирования припуска происходит и при шлифовании или обработке сфер другими методами. На рис. 1 и рис. 2 изображены детали (игла и опора), образующие в узле насоса пары трения из материала 95X18 твердостью HRC  $\geq 60$ . Неравномерность припуска под доводку сферы R2 образуется за счет кинематического эксцентриситета  $l$  и угла поворота  $\varphi$  хорды сферы, а также за счет отклонения от сферичности.

Максимальная величина радиального биения  $\Delta R$  на диаметре  $d = R$ :

$$\Delta R = l \cdot \sin \alpha + \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} \cdot \sin \varphi + \Delta \Phi, \quad (1)$$

где  $\Delta \Phi$  – погрешность формы обрабатываемой поверхности.

В формуле (1) первые два слагаемые, связанные с эксцентриситетом и поворотом сферы относительно оси  $x$ , определяют кинематическую погреш-

ность, а третье слагаемое – геометрическую погрешность. Сфера иглы при шлифовании образуется за счет двух движений: вращательного относительно оси  $x$  и обкатывания в горизонтальной плоскости по радиусу  $R$ . Погрешность базирования детали по диаметру  $d$  в приспособлении и биение наружной поверхности являются причиной образования  $l$  и  $\varphi$ , а плохозаправленный круг и его износ формируют погрешность формы  $\Delta\Phi$ .

При  $l=0,1$  мм,  $\varphi=2^0$ ,  $\alpha=30^0$ ,  $\Delta\Phi=0,02$  мм, имеем  $\Delta R=0,085+0,02=0,105$  мм.

Доводка сферы алмазной пастой АСМ 10/7 улучшает шероховатость (с  $R_a=1,25$  мм до  $R_a=0,16$  мм), уменьшает радиальное биение с 0,105 мм до 0,01 мм.

Сферичность проверяется на микроскопе, а отсутствие твердых включений – посредством трения о плоскую закаленную стальную пластину, при этом наличие царапин не допускается.

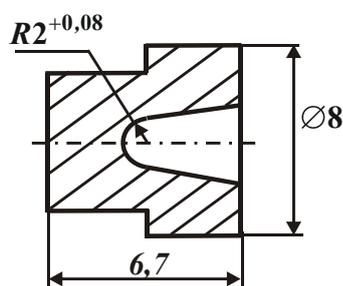


Рис. 2. Эскиз опо-

технология изготовления опор состоит в следующем. В заготовке из материала В2Ж (твердостью  $HRC \geq 58$ ) с помощью электрохимической обработки формируется внутренняя сфера. На электроде величина сферы должна быть  $R 1,8_{-0,015}$ , а зазор при настройке между электродом и деталью – 0,3...1,5 мм. Используемый электролит –  $KNO_3$  10...20%; сила электрического тока – 220...240А; напряжение – 8...24В; давление в электролите – 5...15 кГс/см<sup>2</sup>; подача – до 10 мм/мин. В

дальнейшем после механической обработки и получения готового контура детали (рис. 2), сфера доводится чугуновым сферическим притиром с алмазной пастой АСМ 10/7 и окончательно полируется в размер  $R 2^{+0,08}$ .

Сферичность проверяется набором сферических калибров по прилеганию на краску. Разрыв краски по окружности при проверке сферы не допускается. На микроскопе МПБ-2 при 25-ти кратном увеличении контролируется отсутствие на сфере трещин, раковин, выкрашиваний и других возможных повреждений, не устраненных доводкой. Формула (1) остается справедливой и для внутренних сфер. В зависимости от величин геометрического и кинематического эксцентриситетов, неравномерность снимаемого припуска, согласно формуле (1), может изменяться в пределах от 0,05 мм до 0,12 мм. Эту неравномерность необходимо исправлять на окончательных операциях доводки сфер. Снимаемый припуск при этом колеблется в пределах от 0,08 мм до 0,15 мм, шероховатость поверхности равна  $R_a=0,32$  мм.

Равномерность припуска под доводку достигается с помощью повышения точности изготовления приспособлений и специальных наладок, позволяющих минимизировать погрешность  $\Delta R$ . Рассмотренные выше условия образования неравномерности припуска при шлифовании и электрохимической обработке могут возникнуть и в других (отличающихся по форме) парах трения. Например, цилиндрических, конических, эвольвентных и эпициклоидальных парах трения.

**Список литературы:** 1. Якимов А.А. Определение неравномерности снимаемого припуска при шлифовании зубчатого колеса / А.А. Якимов // Физические и компьютерные технологии. – Труды 14-й Междунар. научн.-техн. конф., 24-25 сентября 2008г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2008. – С. 34-38.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОРШНЕЙ

**Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет)

**Медведев А.В.**, главный технолог

(Харьковский завод “Поршень” ПАО “Автрамат”)

*In theory and the terms of increase of effektivnosti of tooling of outward surface of piston are experimentally grounded*

ПАО “Автрамат” более 80 лет занимается производством деталей цилиндрично-поршневой группы для автомобилей, тракторов и сельхозтехники, тепловозов, компрессоров и других машин, в которых используется поршневой двигатель с кривошипно-шатунным механизмом. Как известно, в двигателе поршень работает в самых тяжелых условиях. Во время работы он подвергается высоким циклическим, механическим и тепловым нагрузкам, которые повторяются тысячи раз в минуту (максимальное ускорение поршня во время работы современного ДВС достигает величин  $15000 \dots 20000 \text{ м/с}^2$ , что соответствует перегрузке  $1500 \dots 2000g$ ) [1]. Это вызывает значительные механические напряжения с опасностью усталостного разрушения поршня и требует разработки конструкций, обеспечивающих безопасное распределение напряжений в поршне, а также применения материалов с высокими механическими характеристиками [2]. Установлено, что температура газов в процессе сгорания может достигать  $1800\text{--}2600^\circ\text{C}$ . Эта температура значительно превышает точку плавления поршневого сплава и, чтобы не плавиться, поршень должен эффективно передавать тепло сгорания стенке цилиндра и охлаждающей жидкости. Чтобы исключить усталостное разрушение поршня в связи с высокими термическими напряжениями, а также исключить расширение (сжатие) поршня, вероятность его заклинивания, необходимо обеспечить достаточную теплопередачу, использовать бочкообразную форму поршня и изготавливать его из сплавов с высокой теплопроводностью. При этом важно снизить интенсивность трения между поршнем, поршневыми кольцами и стенкой цилиндра при скольжении, и тем самым уменьшить поверхностный износ и расход масла. Это достигается созданием поверхностей с низким коэффициентом трения, заданным распределением давления боковой поверхности поршня на стенку цилиндра и антифрикционным покрытием юбки поршня.

Материалы, из которых изготавливаются поршни, должны обладать высокой механической прочностью и хорошей обрабатываемостью; низкой плотностью для уменьшения инерционных сил, вызванных возвратно-поступательным движением и переходными режимами; высокой теплопроводностью; коэффициенты теплового расширения материала поршня и стенки цилиндра должны быть близки по значению для уменьшения зазора; материал

должен обладать высокими антифрикционными свойствами для предотвращения заедания и снижения потерь на трение и высокой износостойкостью. Сплавы алюминия с некоторым количеством легирующих элементов (кремний, медь, магний, никель и др.) удовлетворяют вышеперечисленным требованиям. Кремний в количестве 5–22% придает сплаву жаропрочность, уменьшает коэффициент теплового расширения, улучшает литейные свойства, но при этом «охрупчивает» сплав и ухудшает обрабатываемость. Медь в количестве 1–8% улучшает механические свойства материала. Магний (0,8–1,3%) придает сплаву высокие механические характеристики, повышая предел прочности. Никель (0,5–2%) придает сплаву жаропрочность и жаростойкость. Титан (0,05–2%) улучшает механические свойства материала, за счет создания с алюминием интерметаллидных соединений уменьшает ползучесть. Различают три типа алюминиевых сплавов, применяемых в производстве поршней, которые отличаются главным образом содержанием кремния: 1) доэвтектические сплавы (содержание кремния ниже, чем в точке эвтектики – обычно около 9%, а для сплавов алюминий-кремний точка эвтектики 11–13%); 2) эвтектические сплавы (содержание кремния составляет 11–13% – в зависимости от количества других легирующих элементов); 3) заэвтектические сплавы, в них содержится значительное количество нерастворенного кремния в алюминии, что обеспечивает повышение износостойкости, но ухудшает технологические свойства (содержание кремния может колебаться от 13 до 25%). Основным сплавом, применяемым в ОАО «Автрамат»

для производства поршней, является эвтектический сплав АК12М2MgH(АЛ25). В некоторых дизельных двигателях большой мощности используются чугунные (стальные) поршни или составные поршни с головкой из стали (чугуна) в тех случаях, когда термические и механические нагрузки слишком велики для алюминия.

Типовой технологический процесс производства поршней (рис. 1) включает: заливку в кокиль; термообработку; черновую механическую



Рис. 1. Изготавливаемые поршни.

обработку наружных поверхностей; черновую обработку отверстия под поршневой палец, чистовую обработку по наружной поверхности с приданием ей овально-бочкообразной формы и точением канавок под поршневые кольца,

расточку канавок под стопорные кольца в отверстии под поршневой палец, обработку камеры сгорания (для поршней дизельных двигателей), чистовую обработку пальцевого отверстия; нанесение покрытий.

В настоящее время, благодаря многолетнему опыту технологический процесс изготовления поршня фактически доведен до совершенства, осуществляется с применением современного оборудования и режущих инструментов. Вместе с тем, имеет место и ряд нерешенных проблем, связанных главным образом с механической обработкой, в частности, с обработкой наружной поверхности поршня. С целью снижения стоимости и повышения ресурса работы поршней современных ДВС мировые тенденции привели к уходу от нанесения антифрикционных покрытий и замене их на микрорельеф на наружной поверхности поршня и соответственно на внутренней стороне цилиндра ДВС. Микрорельеф представляет собой винтовую линию по наружной поверхности поршня с глубиной профиля порядка  $0,014$  мм, шагом  $0,3$  мм и углом раскрытия  $170^\circ$  (рис. 2).

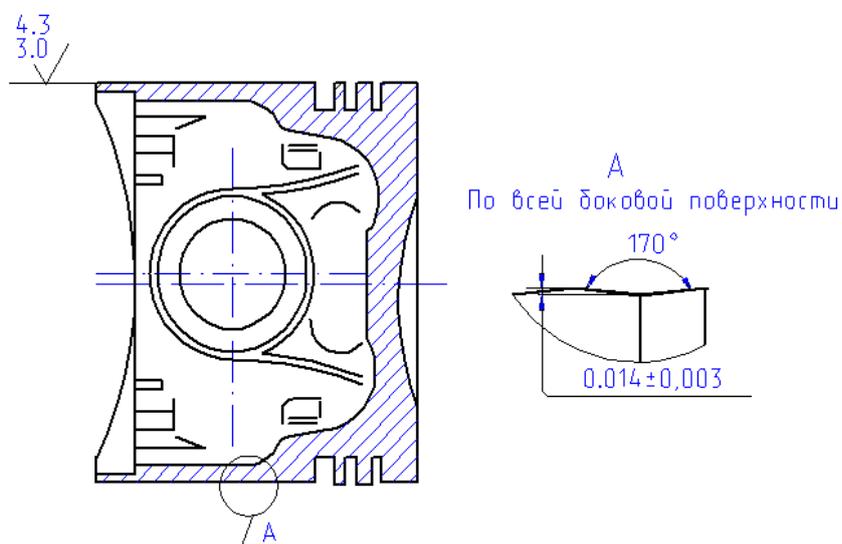


Рис. 2. Эскиз микрорельефа на наружной поверхности поршня.

В отличие от антифрикционных покрытий, которые предотвращают пару цилиндр-поршень от задиров лишь в относительно короткий период времени (при обкатке двигателя), данный микрорельеф работает на протяжении всего жизненного цикла пары. В результате микрочастички масла, попадая вовнутрь микрорельефа поверхности, обеспечивают

“жидкое трение” в паре цилиндр-поршень, увеличивая тем самым ресурс работы двигателя. Вполне очевидно, что данное решение является важнейшим резервом повышения эффективности ДВС. Однако, реализация его на практике представляет значительные сложности. Подтверждением тому является относительно низкая отражательная способность обработанной наружной поверхности поршня, что связано со сложностью обеспечения оптимального соотношения параметров шероховатости поверхности  $R_a / R_{max}$ . Согласно работе [3], существенно повысить отражательную способность обработанной поверхности можно при значениях  $R_a / R_{max} = 0 \dots 0,29$ . Поэтому реализация данных значений  $R_a / R_{max}$  при обработке наружной поверхности поршня представляется важной и актуальной задачей, направленной на повышение эксплуатационных свойств обработанной поверхности и на обеспечение требуемого товарного вида изготавливаемого поршня. В связи с этим был проведен комплекс эксперименталь-

ных и теоретических исследований по технологическому обеспечению высокой отражательной способности наружной поверхности поршня на основе установления ее связи с микрошероховатостью поверхности. Экспериментально установлено, что чем больше высота микронеровностей обработанной поверхности, тем ниже ее отражательная способность. Например, приведенная на рис. 3,а профилограмма обработанной поверхности соответствует ее высокой отражательной способности, тогда как для профилограммы, показанной на рис. 3,б, характерна “матовость” поверхности, что свидетельствует о ее высокой светорассеивающей способности. Этим доказано, что повысить отражательную способность поверхности можно уменьшением высоты микронеровностей профиля.

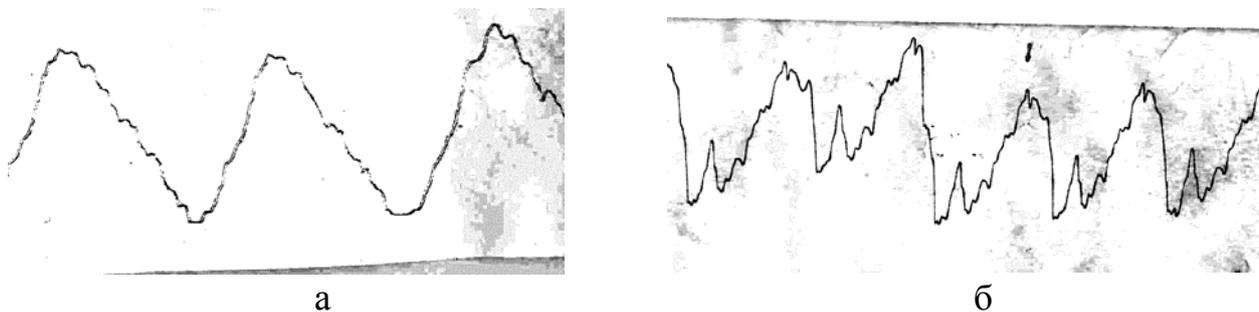


Рис. 3. Профилограммы обработанной поверхности.

К сожалению, реализовать на практике профиль поверхности, показанный на рис. 3,а, сложно. Как правило, имеет место профиль поверхности, показанный на рис. 3,б. Это может быть связано с износом лезвия резца и образованием на нем значительных микронеровностей, возникновением вибраций в процессе резания, особенностью обработки юбки поршня по копиру (т.е. обработки сложнопрофильной поверхности), а также прерывистым характером процесса резания, обусловленным наличием на обрабатываемой поверхности отверстия под поршневой палец. Очевидно, все указанные причины связаны с силовым фактором процесса резания и поэтому основным путем повышения эффективности в данном случае необходимо рассматривать снижение сил резания и повышение износостойкости инструмента.

В связи с этим, в настоящее время вместо резцов из твердого сплава типа ВК6 при окончательной обработке наружной поверхности поршня используются алмазные резцы [4, 5] из поликристаллических алмазов типа АТП, РСД, РКД, обладающие более высокой режущей способностью и повышенной износостойкостью. Экспериментальные исследования показали, что при обработке алмазным резцом (рис. 4) на сплошной наружной поверхности поршня может быть достигнута требуемая микрошероховатость поверхности и соответственно ее высокая отражательная способность. При обработке участка поверхности, на котором расположено отверстие под поршневой палец, в силу прерывистости процесса резания отражательная способность обработанной поверхности ниже. Следовательно, в этом случае в связи с ударным характером взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью происходит повышенный износ и затупление инструмента, в технологической системе возникают вибрации, что собственно и приводит к ухудшению микроше-

роховатости поверхности (увеличению отношения  $R_a / R_{max} > 0,29$ ) и снижению ее отражательной способности. Установлено также, что после определенной приработки алмазного резца, когда его режущее лезвие принимает устойчивую (износостойкую) форму, микрошероховатость обработанной поверхности уменьшается, что ведет к повышению ее отражательной способности. При этом установлено, что скорость процесса приработки тем выше, чем меньше зернистость исходного порошка, из которого запекался алмаз. Оптимальная зернистость исходного порошка должна быть не более 1...1,5 мкм, т.к. зернистость существенно влияет на остроту режущей кромки инструмента (рис. 4) при его заточке.

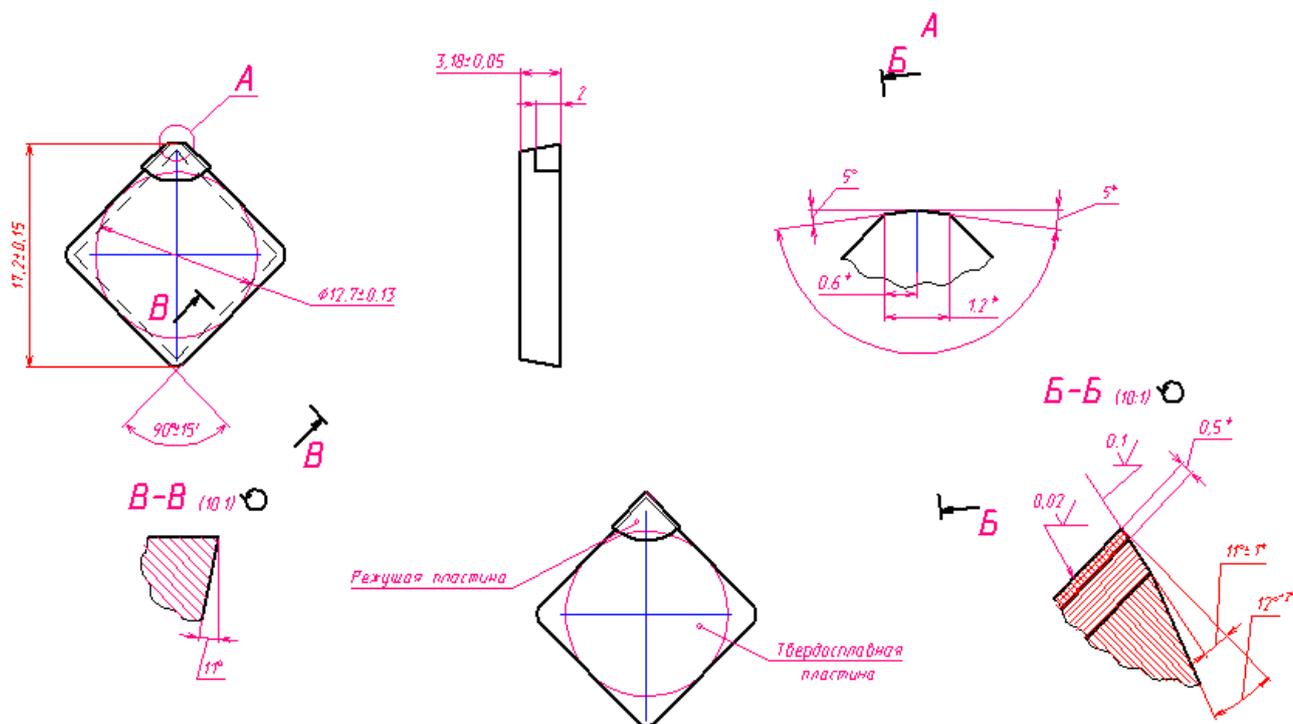


Рис. 4. Геометрические параметры резца.

С целью поиска наиболее эффективного решения проведены стойкостные испытания алмазных резцов различных производителей (Украина, Россия, ЕЭС, Корея и Япония). Была поставлена задача установления наилучшего соотношения параметров цена/качество, т.к. стоимость подобного инструмента различных производителей колеблется в очень широких пределах и, зачастую, отличается до 10 раз. Как следует из табл. 1, наилучшие результаты по периоду стойкости получены при обработке резцом производителя ЕЭС №2. Однако, соотношение параметров цена/качество лучше у резцов производства Украины. Установлено, что чем меньше зернистость исходного порошка, из которого изготовлен режущий инструмент, тем выше отражательная способность обработанной поверхности. Таким образом, выявлена четкая взаимосвязь между стойкостью резца, микрошероховатостью и отражательной способностью обработанной поверхности. Чем выше стойкость резца, тем выше качество обработки с точки зрения обеспечения микрошероховатости и отражательной способности поверхности.

Таблица 1

Экспериментальные значения стойкости резцов различных производителей и шероховатости обработанной поверхности (обрабатываемый материал – Алюминиевый сплав АК10М2Н; режим резания:  $t = 0,1$  мм;  $V = 257,5$  м/мин;  $S = 0,32$  мм/об; геометрические параметры резца:  $\alpha=11^\circ$ ;  $\gamma=0^\circ$ ;  $\phi=\phi_1=5^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ )

Производитель РИ	Шероховатость, Ra мкм	Период стойкости, Тст		Период стойкости до блеска, Тст бл		Соотношение цена/ качество, С=Ц/Тст			
		Тст мин	Тст м	Тст мин бл	Тст м бл	по блеску, Сбл грн./мин	по наработке, Срес грн./мин	по блеску, Сбл грн./м	по наработке, Срес грн./м
Украина	4,3...3,0	2054,3	528952,4	813	209419,7	0,150	0,060	0,001	0,0002
ЕЭС №1	4,3...3,0	5244,1	1350244,4	960	247172,8	0,904	0,166	0,0035	0,0006
ЕЭС №2	4,3...3,0	5922,7	1524975,2	797	205179,4	0,840	0,113	0,0033	0,0004
Россия	4,3...3,0	3774,0	971729,5	1734	446470,3	0,202	0,093	0,001	0,0004

Поликристаллический алмаз состоит из микроскопических частиц алмаза и связующего вещества. Под воздействием высокого давления и температуры частицы спекаются, и получается чрезвычайно твердый материал с уникальными свойствами. Между зернами алмаза образуется непосредственная связь, остается лишь немного островков связки, тогда как, например, у поликристаллического кубического нитрида бора частицы непосредственно друг с другом не связаны.

Поликристаллические алмазы классифицируют по размеру зерна (средним значениям): 2 мкм (мелкозернистый поликристаллический алмаз), 10 мкм (среднезернистый поликристаллический алмаз) и 25 мкм (крупнозернистый поликристаллический алмаз).

Крупнозернистый поликристаллический алмаз обладает большей прочностью и износостойкостью по сравнению со средне- и мелкозернистым алмазами. Вследствие этого он обеспечивает высокую стойкость при черновой обработке, однако не обеспечивает высокого качества поверхности, поэтому не используется при чистовой обработке.

Таким образом, экспериментально установлено, что по соотношению параметров цена/качество из всего многообразия предлагаемых на рынке резцов (с точки зрения их стоимости) наиболее эффективно использовать резцы производства Украины. Однако в силу того, что зарубежные производители применяют при изготовлении инструментов более мелкодисперсные порошки, добиться улучшения отражающей способности обработанной поверхности данным инструментом проще, чем отечественным.

**Список литературы:** 1. Белогуб А.В. Цилиндро-поршневая группа. Техника и технологии. – Харьков: Автрамат, 2004. – 40 с. 2. Гладкий І. П., Мощенок В. І., Тарабанова В.П. Властивості та технологія обробки металевих та неметалевих конструкційних матеріалів: навч. посібник. – Харків: ХНАДУ, 2004. – 276 с. 3. Шкурупій В.Г., Новиков Ф.В. Підвищення

ефективності технології фінішної обробки світло відбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006 г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 9-19. 4. Гинзбург Б.И. Экономика и организация применения сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1983. – 240 с. 5. Семко М.Ф., Качер В.А., Раб А.Ф., Узунян М.Д. Алмазные инструменты и их применение в машиностроении. – Харьков: Изд-во “Прапор”, 1965. – 132 с.

**УДК 621.923**

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ЕЛОЧНОГО ЗАМКА ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ВЫСОКОПОРИСТЫМИ АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ**

**Остапченко В.А**, коммерческий директор (ООО ”Авин”, г. Киев)

*Upgrading and the productivity of treatment of fir-tree lock of turbine shoulder-blades on the basis of application of the deep polishing of vysokoporistymi by abrasive circles*

При изготовлении турбинных лопаток постоянно возникает сложные задачи по обеспечению высоких параметров качества обработки, включая параметры, определяющие структурное состояние поверхностного слоя, точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей. Как известно, образование на обрабатываемых поверхностях прижогов и скрытых температурных дефектов резко снижает эксплуатационные свойства турбинных лопаток [1]. Поэтому определение путей повышения качества обработки турбинных лопаток является важной и актуальной задачей, направленной на повышение надежности и долговечности турбинных лопаток. В особой мере это относится к качеству изготовления елочного замка – основного конструктивного элемента турбинной лопатки. Традиционно на практике изготовление елочного замка производится методом фрезерования, однако, как показывает опыт, данный метод малоэффективен с точки зрения обеспечения высоких показателей качества и производительности обработки. Более эффективным является метод глубинного шлифования, который в последние годы получил широкое применение при обработке материалов с повышенными физико-механическими свойствами и который позволяет совместить предварительное и окончательное шлифование в одну операцию. Данный метод, несмотря на интенсивное тепловыделение в зоне резания, позволяет достичь высокого качества обработки при условии обеспечения достаточно высокой производительности обработки [2,3]. В связи с этим, была поставлена задача определения оптимальных характеристик абразивных высокопористых кругов, обработка которыми в условиях глубинного шлифования наиболее эффективна. С этой целью были проведены экспериментальные исследования глубинного шлифования елочных замков турбинных лопаток высокопористыми абразивными кругами: NORTON 1 500x32x203 9A80F25VCF2-35;

BAY STATE 1 500x32x203 9A80F12V98-35; BAY STATE 1 500x32x203 5A80G12VHY-35.

Данные круги сравнивались с используемыми на данных операциях шлифовальными кругами 1 500x32x203 25А 10П ВМ1 12К5 КФ40. К замкам елочного профиля лопаток предъявляются технические требования: шероховатость поверхностей –  $R_a \leq 1,25$  мкм; допуск на размеры замка по роликам – 0,08 мм; разность размеров по роликам – не более 0,02 мм; взаимное смещение продольных образующих одной гребенки относительно другой в плоскостях, параллельных плоскости симметрии – не более 0,02 мм; перекося рабочих поверхностей зубьев одной гребенки относительно другой в пределах допуска на шаг  $\pm 0,01$  мм. Материал лопаток – жаропрочный сплав на никелевой основе марки ЧС88У-ВИ. Обработка замка лопаток производилась на шлифовальном полуавтомате с ЧПУ модели ЛШ-220. Каждым кругом было прошлифовано по 5 лопаток. Припуск на шлифование – 4 мм. Испытание круга NORTON 1 500x32x203 9A80F25VCF2-35 первоначально провели на технологическом режиме шлифования по проходам ( $Q$  – расстояние круга до готового размера детали, мкм):

1.  $V_{кр} = 26$  м/с;  $V_{дет} = 50$  мм/мин;  $t = 3,3$  мм;  $Q = 700$  мкм.
2.  $V_{кр} = 26$  м/с;  $V_{дет} = 60$  мм/мин;  $t = 0,4$  мм;  $Q = 300$  мкм.
3.  $V_{кр} = 22$  м/с;  $V_{дет} = 60$  мм/мин;  $t = 0,2$  мм;  $Q = 100$  мкм.
4.  $V_{кр} = 20$  м/с;  $V_{дет} = 80$  мм/мин;  $t = 0,1$  мм;  $Q = 0$  мкм.

Режим правки круга алмазным роликом: число оборотов ролика – 1433 об/мин; подача ролика на врезание – 1 мкм на 10 оборотов круга; схема правки – непрерывная в процессе правки. При шлифовании серийными кругами 1 500x32x203 25А 10П ВМ1 12К5 КФ40 подача ролика на врезание – 2 мкм на 10 оборотов круга. Шлифование и правку круга проводили с охлаждением 2,5%-м раствором эмульсола “Аквол-2”, применяемым серийно на станке ЛШ-220.

При дальнейших испытаниях режим шлифования по проходам был увеличен:

1.  $V_{кр} = 26$  м/с;  $V_{дет} = 60$  мм/мин;  $t = 3,3$  мм;  $Q = 700$  мкм.
2.  $V_{кр} = 26$  м/с;  $V_{дет} = 80$  мм/мин;  $t = 0,4$  мм;  $Q = 300$  мкм.
3.  $V_{кр} = 22$  м/с;  $V_{дет} = 100$  мм/мин;  $t = 0,2$  мм;  $Q = 100$  мкм.
4.  $V_{кр} = 20$  м/с;  $V_{дет} = 120$  мм/мин;  $t = 0,1$  мм;  $Q = 0$  мкм.

Как следует из табл. 1, ужесточение режима шлифования не приводит к увеличению силы тока  $I_{max}$  электропривода круга. Установлено также, что при шлифовании обеспечивается стабильность размеров замка по роликам в пределах 0,01–0,02 мм, что соответствует требованиям чертежа лопатки.

Шероховатость шлифованных поверхностей измеряли профилометром фирмы Кьер-Брюэль (Дания). Прижоги определялись визуально контролем при 2-х кратном увеличении по наличию цветов побежалости на шлифованных поверхностях замка лопаток. Контроль наличия или отсутствия трещин на шлифованных поверхностях замка лопаток проводили методом ЛЮМ-А дважды: сразу после шлифования; после проведения термической обработки (отжига) в вакууме при температуре  $1200^{\circ}\text{C}$  в течение 2-х часов. В качестве изменяемых

элементов режима шлифования замков лопаток были выбраны скорости круга и детали; глубина шлифования по проходам (кроме первого) практически оставалась без изменений. Колебание глубины шлифования на первом проходе, о чем можно судить по силе тока, связано с изменением величины общего припуска на обработку после выполнения операции фрезерования клина замка.

Таблица 1

Максимальные значения силы тока  $I_{max}$  для двух рассматриваемых режимов шлифования по проходам

Технологический режим шлифования по проходам	Сила тока $I_{max}$ , А		Увеличенный режим шлифования по проходам	Сила тока $I_{max}$ , А	
	Корыто	Спинка		Корыто	Спинка
1	28	24	1	36	32
2	19	18	2	24	22
3	18	18	3	21	20
4	12	11	4	16	15

**Примечание:** номинальный ток электродвигателя шлифовального круга – 46А.

Таблица 2

Данные о шероховатости обработки и наличии прижогов шлифованных поверхностей замка лопаток

Номера лопаток	Обозначение круга	Режим шлифования	$R_a$ , мкм	Наличие прижогов
5	NORTON F25	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 80$ мм/мин	1,20–1,30	Прижогов нет
11	NORTON F25	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 120$ мм/мин	1,0–1,25	Прижогов нет
36	NORTON F25	$V_{кр} = 26$ м/с; $V_{дет} = 120$ мм/мин	1,0–1,20	Прижогов нет
37	NORTON F25	$V_{кр} = 30$ м/с; $V_{дет} = 120$ мм/мин	1,25–1,40	Прижогов нет
39К	BAY STATE F12	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 80$ мм/мин	1,10–1,25	Прижоги
38С	BAY STATE F12	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 100$ мм/мин	1,0–1,25	Прижогов нет
18	BAY STATE F12	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 120$ мм/мин	1,20–1,40	Прижогов нет
39С	BAY STATE F12	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 120$ мм/мин	1,20–1,40	Прижогов нет
38К	BAY STATE F12	$V_{кр} = 22$ м/с; $V_{дет} = 100$ мм/мин	1,25–1,40	Прижогов нет
33	BAY STATE G12	$V_{кр} = 20$ м/с; $V_{дет} = 120$ мм/мин	0,90–1,10	Прижоги

Здесь: К – поверхность замка со стороны корыта лопатки;

С – поверхность замка со стороны спинки лопатки.

Как следует из табл. 2, круги BAY STATE G12 (более твердые, чем F12) дают прижоги даже на благоприятных, исходя из теории теплофизики, режимах шлифования: снижение окружной скорости круга до 20 м/с приводит к уменьшению мощности теплового источника (пятна контакта круга с деталью); увеличение продольной подачи детали до 120 мм/мин (в 1,5 раза) снижает количество тепла, переходящего в деталь, и опасность появления прижогов и трещин шлифованных поверхностей; при этом количество тепла, уносимого стружкой, возрастает в 2 – 2,5 раза [4]. Увеличение окружной скорости круга NORTON F25 до 30 м/с повысило шероховатость

шлифованных поверхностей замка до  $R_a = 1,25-1,40$  мкм, что связано с высокочастотной вибрацией круга. Глубинное шлифование замков лопаток на режиме  $V_{кр} = 20$  м/с;  $V_{дет} = 120$  мм/мин обеспечивает требуемые шероховатость  $R_a \leq 1,25$  мкм и качество шлифованных поверхностей (без прижогов). Требуемые шероховатость  $R_a \leq 1,25$  мкм и качество шлифованных поверхностей (без прижогов) достигаются кругами BAY STATE F12 на уменьшенном по сравнению с кругами NORTON F25 режиме шлифования  $V_{кр} = 20$  м/с;  $V_{дет} = 100$  мм/мин.

Испытанные круги по сравнению с серийными кругами 1 500x32x203 25A 10П ВМ1 12К5 КФ40 позволили увеличить производительность шлифования на 25–30%; повысить стойкость кругов в 2,4 раза; снизить потребление электроэнергии на 10–15%.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования подтвердили достоверность полученных теоретических результатов [5], согласно которым температура глубинного шлифования может быть меньше температуры обычного многопроходного шлифования. Это указывает на эффективность применения глубинного шлифования как с точки зрения увеличения производительности обработки, так и повышения качества обрабатываемых поверхностей (исключения образования прижогов и других температурных дефектов).

**Список литературы:** 1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. "Теплофизика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с. 3. Якимов А.В. Высокопроизводительная обработка абразивно-алмазными инструментами / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов. – К.: Техніка, 1993. – 152 с. 4. Скрыбин В.А. Факторы, влияющие на процессы теплообразования и теплообмена при глубинном шлифовании елочного профиля лопаток турбокомпрессоров / В.А. Скрыбин, А.П. Жук, А.С. Репин. – Машиностроитель, 2006, №10. – С. 40-41. 5. Кленов О.С. Сравнение температуры резания при глубинном и многопроходном шлифовании / О.С. Кленов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2009. – Вип. 81. – С. 197-203.

**УДК 621.923**

## **ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Дударев А.С.**, канд. техн. наук

(ОАО «ПЗ «Машиностроитель», г. Пермь, Россия)

*New direction of increase efficiency of treatment of polymeric composition materials is described by the use of the special constructions of instrument and equipment for diamond-abrasive treatment, in place of lezviynoy treatment*

Представленные на Международном авиационно-космическом салоне «МАКС-2011» перспективные проекты техники в большинстве случаев связаны

с широким внедрением композиционных материалов. Для изделий ракетно-космической и авиационной техники наиболее часто используют армированные полимерные композиционные материалы с полимерными матрицами (ПКМ). Массовое распространение ПКМ объясняется следующими основными причинами:

- снижение массы конструкции из ПКМ по сравнению с металлическим аналогом не менее, чем на 20%;
- реализуемые значения предела прочности – не ниже 900 МПа, модуля упругости – не ниже 100 ГПа;
- высочайшие показатели размеростабильности конструкций ПКМ в условиях космического пространства;
- коррозионная стойкость изделий из ПКМ и др.

Общим циклом изготовления деталей из ПКМ предусмотрено, что после формования и отверждения заготовки ПКМ подвергают механической обработке, составляющей 10...40% общей трудоемкости изготовления деталей.

Механическая обработка резанием ПКМ на производстве вызывает серьезные трудности из-за анизотропных свойств, обусловленные строением ПКМ [1]. Эти особенности необходимо учитывать при проектировании технологических процессов, выборе эффективного режущего инструмента и назначения оптимальных режимов резания. По механической обработке ПКМ имеются решенные частные прикладные задачи, описанные в работах [1, 2].

В целом конкурентоспособные технологии механической обработки ПКМ в машиностроении связаны с совершенствованием геометрии лезвийного инструмента, изменением традиционной кинематики резания, разработкой новых СОТС и др. Важным направлением повышения эффективности обработки ПКМ является замена лезвийной обработки на алмазно-абразивную обработку, отличительной особенностью которой является применение инструментов с природными или синтетическими алмазами.

Известны работы по алмазно-абразивной обработке хрупких материалов [3], созданы конструкции инструмента для обработки стекла, пластмасс, кварца, минералокерамики, ситаллов, иных хрупких материалов. Наиболее прогрессивные технологии алмазной обработки стеклопластиков разрабатывались до 1990 года во времена СССР. Позже появилось множество видов ПКМ, но в Российской Федерации, исследования по алмазно-абразивной обработке ПКМ не велись, в силу общего спада уровня экономики и промышленности.

Требуется создание надежных, долговечных и производительных конструкций однослойных алмазно-абразивных инструментов. Их применение позволяет интенсифицировать процессы резки, шлифования, сверления, фрезерования изделий из ПКМ по сравнению с применением других инструментальных материалов.

Научные исследования алмазного инструмента должны касаться в первую очередь алмазоносного слоя. Необходимы исследовательские работы с использованием новых более прочных и термостойких синтетических алмазов. Параметры алмазоносного слоя зависят от марки алмазоносного порошка, вида связки, концентрации зерен и др. При этом следует отметить, что более прочные алмазные порошки выпускают и большей предельной зернистости, чем ме-

нее прочные. И необходим анализ экономической эффективности, так как более крупные и прочные порошки и более дороги.

Заслуживают внимания работы по созданию и исследованию инструмента с ориентированными и расставленными алмазными зёрнами. Алмазоносный слой при этом создается гальваностегией [2].

Конструкцией инструмента может быть предусмотрена сплошная и прерывистая рабочая поверхность. Сплошная рабочая поверхность инструмента обеспечивает более низкую шероховатость обработанной поверхности, но при этом наблюдается высокая теплонапряженность процесса в зоне контакта инструмента с деталью. Применение прерывистой рабочей поверхности позволяет снизить нагрев, улучшить условия удаления шлама, повысить работоспособность инструмента.

Особенностью конструкций алмазно-абразивного инструмента является наличие пазов или иных конструктивных элементов для прохождения СОЖ и вывода шлама из зоны резания. Число пазов и ширина выбирается с учетом объема образующегося шлама.

Кроме конструктивных особенностей алмазно-абразивного инструмента, на эффективность механической обработки резанием ПКМ в немалой мере влияет технологическое оборудование [4]. Специальные станки для обработки ПКМ в РФ отсутствуют. Имеющееся технологическое оборудование российского производства не позволяет в полной мере решать проблемы механической обработки ПКМ. Поэтому при эксплуатации алмазно-абразивных инструментов в настоящее время используют, как правило, модернизированные металло- и деревообрабатывающие станки, которые по кинематике основных и вспомогательных движений наиболее полно соответствуют рассматриваемым технологическим процессам. Модернизированные станки должны иметь бесступенчатую регулируемую частоту вращения шпинделя в диапазоне 4000...6000 об/мин для разрезания ПКМ, и в диапазоне 6000...18000 об/мин для сверления ПКМ. Регулируемые подачи в диапазоне 0,01...0,05 м/с для разрезания и подачи 0,01...0,2 мм/об для сверления.

Для удаления из зоны обработки стружки и пыли ПКМ необходимо использовать пневмоэжекционные пылесосы или устройства для отсоса.

В настоящее время в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между Пермским и Одесским национальными политехническими университетами проводятся теоретические исследования тепловых явлений при алмазно-абразивной обработке отверстий в деталях из ПКМ, изучается влияние твердых технологических смазок на этот процесс.

**Список литературы:** 1. Дударев А.С. Повышение эффективности и качества обработки отверстий на основе стабилизации процесса сверления изделий из полимерных композиционных материалов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Пермь: ПГТУ, 2009. – 20 с. 2. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1987. – 176 с. 3. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. А.Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977. – 391 с. 4. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.

## ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ В БРИЛЛИАНТЫ И РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ

**Новиков Г.В.**, канд. техн. наук,  
(Научный центр НТК "Эльбор", г. Харьков)

*High-performance treatment of natural diamonds in diamonds and expansion of technological possibilities of application of diamond circles on metallic copulas*

Для эффективного ведения процесса алмазного шлифования необходимо обеспечить удержание алмазного зерна в связке с силой, равной прочности его на раздавливание [1]. Суммарная сила резания, действующая на отдельное зерно круга  $P_1 = \sqrt{P_{z1}^2 + P_{y1}^2} = P_{y1} \cdot \sqrt{K_{ш}^2 + 1}$ , при коэффициенте шлифования  $K_{ш} = P_{z1} / P_{y1} < 0,5$  мало отличается от нормальной  $P_{y1}$  составляющей силы резания (где  $P_{z1}$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н). Следовательно, зерно в связке должно удерживаться таким образом, чтобы исключить его утопание под действием силы  $P_{y1}$ . Для этого твердость связки  $HV_{св}$  должна удовлетворять условию  $HV_{св} = P_{y1} / \pi \cdot tg\gamma \cdot h^2$ , где  $h$  – глубина заделки зерна в связке, м;  $\gamma$  – половина угла при вершине конусообразного зерна. Очевидно, чем больше твердость связки  $HV_{св}$ , тем меньше  $h$  и больше высота выступания зерна, что повышает режущую способность инструмента.

Силу  $P_{y1}$ , равную прочности зерна на раздавливание, представим в виде:  $P_{y1} = \alpha \cdot \bar{X}$ , где  $\alpha$  – размерный коэффициент, характеризующий марку алмаза (его прочность);  $\bar{X}$  – зернистость круга, м. Тогда безразмерный коэффициент  $\varepsilon = h / \bar{X}$ , определяющий степень заделки зерна в связке, выразится  $\varepsilon = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi \cdot tg\gamma \cdot HV_{св} \cdot \bar{X}}}$ . Как

видно, с уменьшением  $\bar{X}$  коэффициент  $\varepsilon$  возрастает, т.е. доля выступающей над уровнем связки части зерна уменьшается. Этим объясняется низкая работоспособность мелкозернистых алмазных кругов. Увеличение твердости связки  $HV_{св}$  уменьшает коэффициент  $\varepsilon$ . Однако, с применением высокопрочных металлических связок нарушается режим самозатачивания круга. Следовательно, перспективным способом обработки природных алмазов в бриллианты следует рассматривать применение мелкозернистых алмазных кругов (ограночных кругов) на металлических связках и эффективных методов их правки (электроэрозионной правки [2]).

При обработке ограночный круг базируется на оправке-оси и закрепляется механическим способом. Для нормального протекания процесса обработки биение режущей поверхности ограночного круга не должно превышать 0,01 мм. Поэтому ограночный круг обязательно проходит динамическую баланси-

ровку, т.к. вибрации существенно влияют на величину биения режущей поверхности (диаметр диска 300 мм, а частота его вращения превышает 3000 об/мин). Попытки механическим способом устранить увеличенное биение не приводят к положительным результатам. Несмотря на то, что происходит сьем алмазосносного слоя, профиль режущей поверхности фактически не изменяется (остается исходным) и биение не устраняется. Естественно, производить огранку таким кругом не представляется возможным. В связи с этим была предложена идея устранения биения режущей поверхности круга с использованием метода электроэрозионной правки. Для этого было изготовлено специальное оборудование. Чтобы исключить ряд погрешностей при правке круга, ее производили на граночном станке, где размещали все необходимые элементы правки. Важным моментом данного решения явилось то, что ограночный круг правился в собранном виде (на оправке-оси). Правящий электрод был изготовлен из графитового материала и имел пазы для попадания охлаждающей жидкости в зону правки. Электроду сообщали возвратно-поступательные движения на всю ширину алмазосносного слоя (рис. 1). Направляющие электрода изготавливались из закаленной стали и соединялись между собой посредством шариков. Такая конструкция исключала вибрации электрода и уменьшала погрешности при выравнивании режущей поверхности. Возратно-поступательные движения электрода осуществлялись от электродвигателя с редуктором посредством

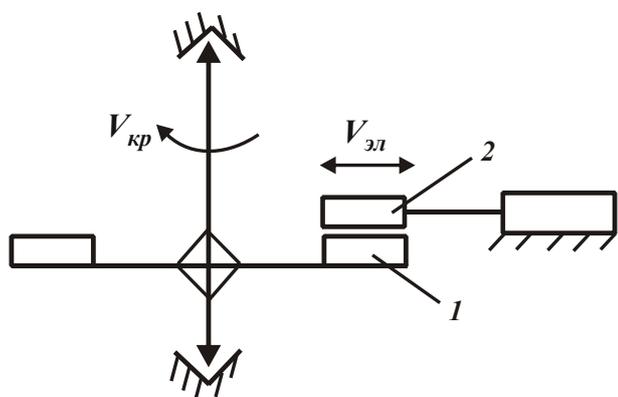


Рис. 1. Схема электроэрозионной правки ограночного круга: 1 – алмазосносный слой круга; 2 – электрод.

кривошипно-шатунного механизма. Величину движения электрода регулировали увеличением или уменьшением штанги шатуна. Электродвигатель с редуктором имел небольшие габариты и легко устанавливался на приспособлении. Все устройство крепилось на столе граночного станка.

Использование электроэрозионной правки собранного ограночного круга непосредственно на рабочем месте (на граночном станке) позволяет обеспечить требуемое биение режущей поверхности круга – в пределах 0,01 мм.

Использование электроэрозионной правки собранного ограночного круга непосредственно на рабочем месте (на граночном станке) позволяет обеспечить требуемое биение режущей поверхности круга – в пределах 0,01 мм.

Рассмотрим процесс шлифования блок-матриц для синтеза алмазного порошка. Блок-матрица состоит из стальной обоймы с запрессованной в нее твердосплавной камерой, в которой происходит процесс синтеза алмазного порошка. Для обеспечения плоскостности верхней части блок-матрицы, производится ее шлифование алмазными кругами на плоскошлифовальном станке мод. 3Г71. Совместная обработка стали и твердого сплава алмазным кругом 1А1 250x20x5 на органической связке, как показывает практика, приводит к его интенсивному износу и снижению производительности обработки. Применение алмазного круга на керамической связке позволяет в определенной степени повысить производительность обработки и снизить износ круга. Однако полностью решить проблему высокопроизводительного шлифования не удалось. Проблема была решена за счет применения алмазного круга

1А1 300x20x5 на металлической связке М1-01 и его электроэрозионной правки. Для этого была произведена модернизация плоскошлифовального станка, включающая электроизоляцию алмазного круга и осуществление токоподвода к нему через графитовую щетку. В качестве правящего электрода первоначально использовалась обрабатываемая деталь. Источником технологического тока служил специально изготовленный генератор импульсов.

Однако, электроэрозионная правка алмазного круга непосредственно в процессе шлифования не позволила добиться ожидаемых результатов. Плотный контакт круга с обрабатываемой поверхностью, с одной стороны, приводил к существенному увеличению разрядного тока, а с другой стороны, вызывал интенсивное засаливание круга. Круг фактически не подвергался правке, его рабочая поверхность была полностью покрыта светло-серым слоем стальной стружки. Поэтому от такой идеи электроэрозионной правки круга пришлось отказаться. Взамен была предложена идея осуществления электроэрозионной правки с использованием ручного изолированного электрода. Первые опыты по практической реализации данной идеи показали положительные результаты. Например, новый алмазный круг на

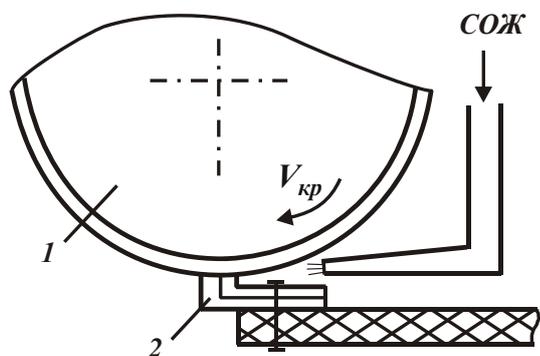


Рис. 2. Схема электроэрозионной правки алмазного круга (1) с использованием электрода (2).

металлической связке М1-01, установленный на станок и имевший значительное биение рабочей поверхности, с помощью ручного электрода был подготовлен к работе за небольшой промежуток времени. Суть правки состоит в следующем. Изолированный Г-образный электрод прижимается к периферии круга в зоне интенсивного попадания на него охлаждающей жидкости (рис. 2). При этом не наблюдалось его отбрасывание в связи с отсутствием биения поверхности. Электроэрозионной правкой в данном случае быстро очищается поверхность круга

от продуктов обработки (стального налета) и вскрывается алмазоносный слой. Время правки составляет 15 – 25 с при силе тока 15 – 20 А. Для осуществления такой правки (подзаправки) достаточно круг вывести из зоны обработки и выключить продольную подачу, что весьма удобно для рабочего. Следующую правку (подзаправку) круга необходимо производить при появлении шума в зоне обработки, что является первым признаком засаливания круга. Установлено, что стойкость алмазного круга на металлической связке М1-01 при правке с использованием ручного изолированного электрода многократно увеличивается. Это позволяет эффективно обрабатывать твердосплавные блок-матрицы при съеме значительных припусков. Количество прошлифованных блок-матриц между заправками круга при этом изменялось, однако, в основном из-за различной величины снимаемого припуска.

**Список литературы:** 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10 томах. – Т. 4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Новиков Григорий Васильевич. – Харьков, 1989. – 210с.

## АНАЛІЗ СТАНДАРТНИХ ЦИКЛІВ ОБРОБКИ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ТА РОЗШИРЕННЯ ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

Бондар О.О., спеціаліст (НТУ "ХПІ")

*The analysis of standard operation cycles on lathes with numerical programmed control is carried out and ways of their perfection are shown*

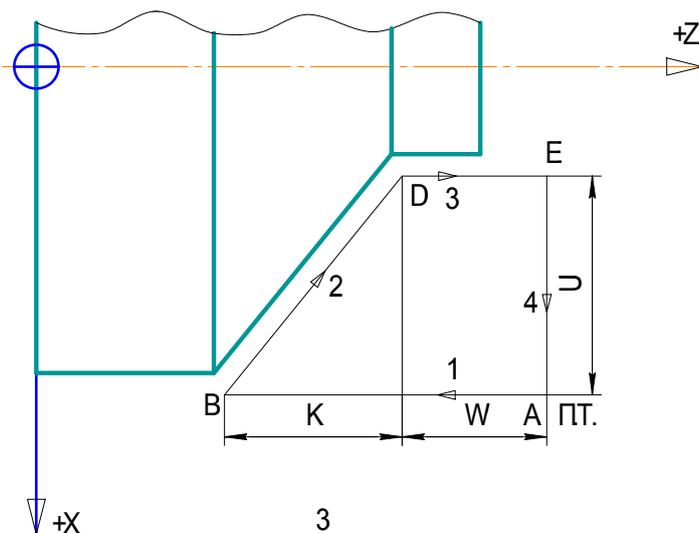


Рис. 1. Схема руху однопрохідного поздовжнього циклу G27.

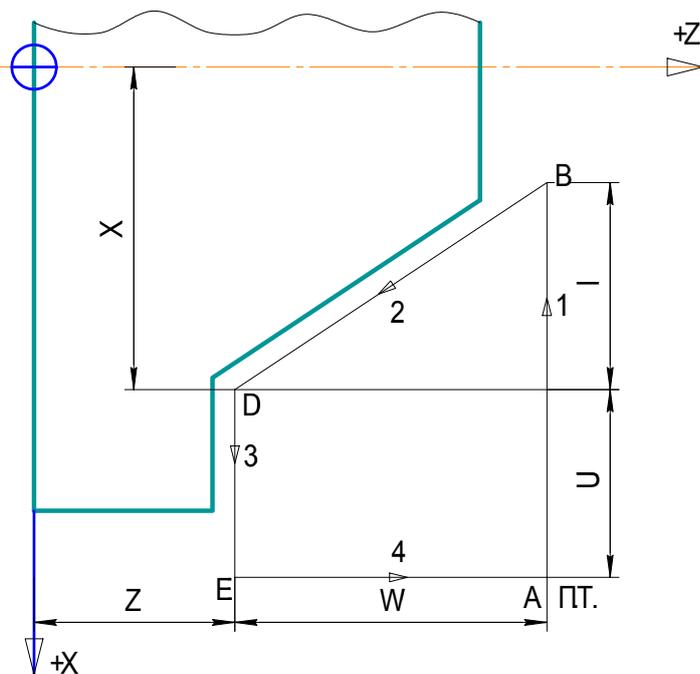


Рис. 2. Схема руху однопрохідного поперечного циклу G29.

Як показує практика металообробки, існує програмне забезпечення токарних верстатів з ЧПК не охоплює усіх необхідних схем токарної обробки і тому потребує розширення їх технологічних можливостей за рахунок розробки нових технологічних алгоритмів обробки [1,2,3]. Для виконання модернізації технологічних циклів обробки на токарних верстатах з ЧПК виконаємо аналіз основних стандартних циклів, що подаються з програмним забезпеченням верстата. Під циклом розуміється замкнута послідовність більше двох елементарних геометричних переміщень [3]. Позначення на рисунках: П.Т. - Початкова точка циклу, 1, 2, 3, ... - порядкові (по виконанню) номери елементарних рухів циклу.

Однопрохідний поздовжній цикл (G27). Цикл G27 працює за схемою, приведеною на рис. 1, і здійснює чистову обробку циліндрових або конічних рівнів з підторцюванням (чорнова обробка може при цьому виконуватись одним з циклів: G61, G68). Формат циклу:  $G27 X(U) Z(W) I F$ . Параметри:  $X(U)$ ,

$Z(W)$  - координати точки  $D$  або приросту від П.Т. до точки  $D$ ;  $I$  - розмір конуса, приріст по осі  $X$  від точки  $D$  до точки  $B$  (задається на радіус);  $F$  - значення контурної робочої подачі на ділянках 2 і 3.

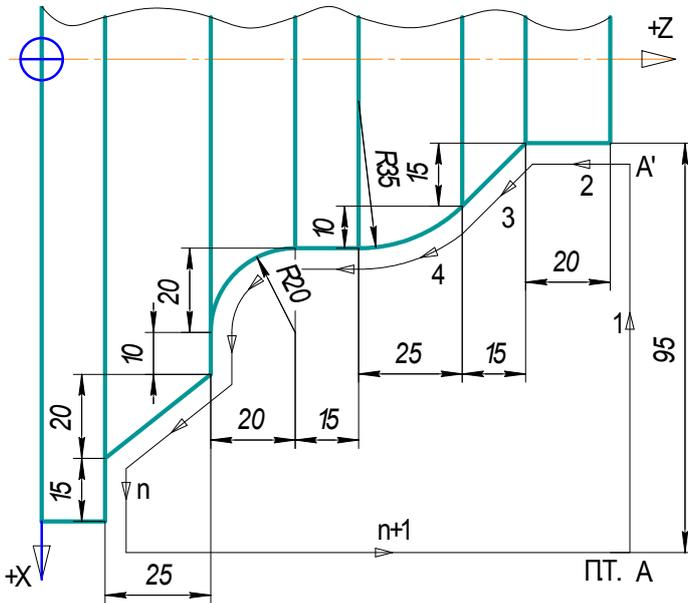


Рис. 3. Схема руху однопрохідного чистового циклу G60.

обробку деталі або її частини, розпочату за допомогою чорнових багато прохідних циклів G61, G62, G68. Цикл G60 забезпечує обробку контуру (рис. 3), рухи по якому (1,2, ... n) задаються за допомогою КП. Формат циклу: G60 P Q. Параметри: P, Q - номери початкового і кінцевого кадрів керуючої програми відповідно.

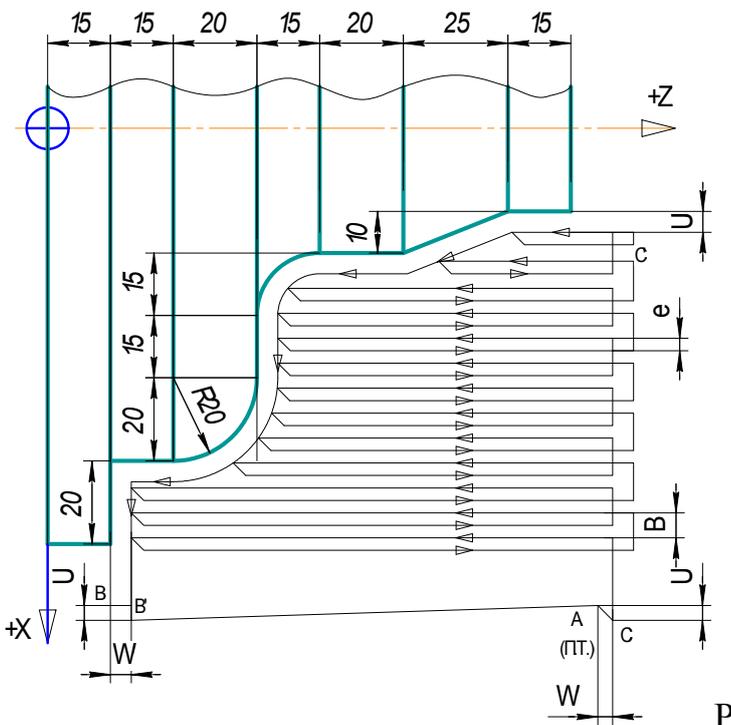


рис. 4. Схема руху багатопрохідного чорнового поздовжнього циклу (G61).

Однопрохідний поперечний цикл (G29). Цикл G29 (рис. 2) може використовуватися для чистової обробки торців, у тому числі конічних, і прилеглих до них циліндричних рівнів. Чорнова обробка при цьому виконується циклами G62 і G68. Формат циклу: G29 Z(U) Z(W) K F. Параметри: X(U), Z(W) - координати точки  $D$  або прирости по осях від П.Т. до  $D$ ; K - розмір конуса, приріст по осі Z від точки  $D$  до точки  $B$ ; F - контурна робоча подача для руху на ділянках 2 і 3 циклу.

Однопрохідний чистовий цикл (G60). Цикл G60 використовується для чистової обробки по довільному контуру і може завершувати собою

Багатопрохідний чорновий поздовжній цикл (G61). Цикл G61 забезпечує знімання в поздовжньому напрямі чорнового припуску, обмеженого монотонним контуром (рис. 4). Формат циклу: G61 P Q U W B I F. Значення параметрів, що задаються у вигляді буквених адрес, повністю збігаються з прийнятими в циклі G62, що наведений далі.

Багатопрохідний чорновий поперечний цикл (G62). Цикл G62 забезпечує знімання в поперечному напрямі чорнового припуску, обмеженого монотонним контуром (рис. 5). Формат циклу: G62 P Q U W B I F. Параметри: P, Q - номери початко-

вого і кінцевого кадрів керуючої програми, за якими відбувається рух по чистовому контуру  $A \rightarrow A' \rightarrow B$ ;  $U, W$  - вектори складових по осях, відповідно  $X$  і  $Z$

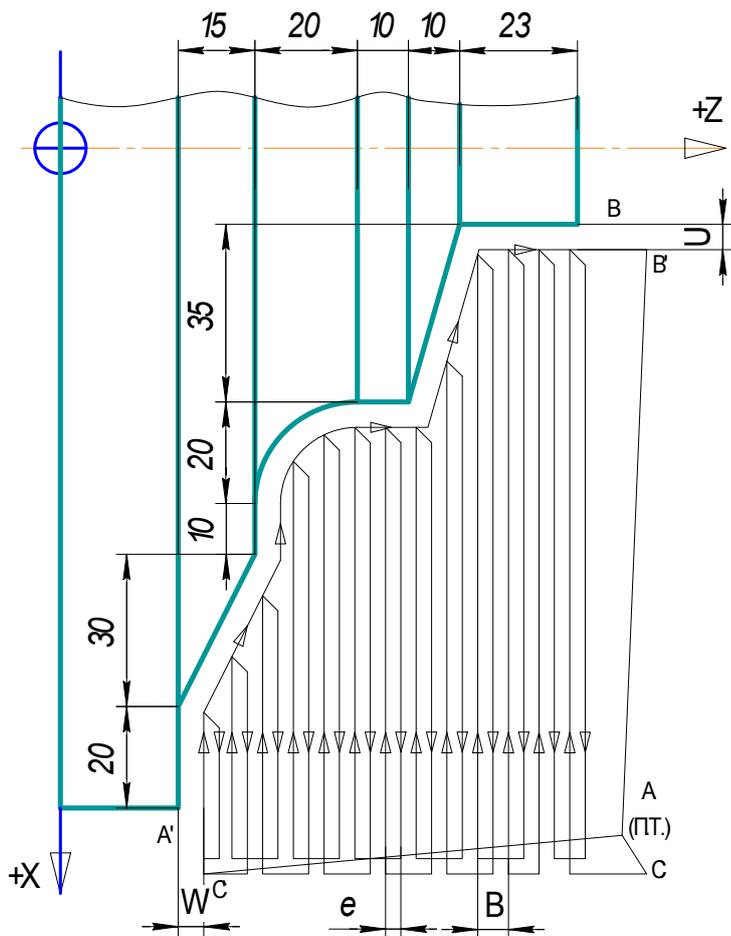


Рис. 5. Схема руху багатопрохідного чорнового поперечного циклу G62.

мою, близькою до форми готової деталі. Він забезпечує знімання чорнового припуску по траєкторії, що копіює довільний контур (рис. 8).

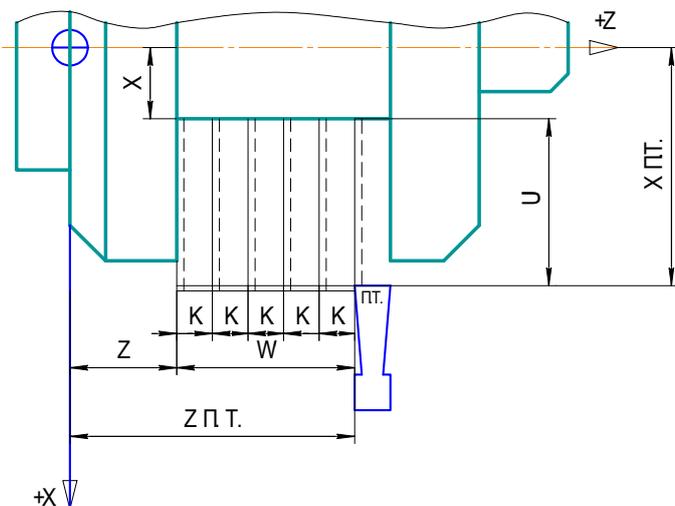


Рис. 6. Схема руху багатопрохідного циклу нарізання циліндрових канавок G65 при нарізанні широкої циліндрової канавки.

припусків на чистовий прохід. Відсутність параметрів  $U$  і  $W$  виключає подальшу чистову обробку (наприклад, циклом G60);  $B$  - глибина різання (по осі  $X$ ) на чорновому проході;  $I$  - ознака виконання (0) або блокування (1) напівчистового проходу. Відсутність параметра  $I$  передбачає відрізок напівчистового проходу;  $F$  - значення контурної робочої подачі.

Багатопрохідний цикл нарізання циліндрових канавок (G65).

Цикл G65 забезпечує нарізування однієї широкої канавки на циліндричному рівні з дробленням стружки (рис. 6) або групи канавок (рис. 7).

Багатопрохідний чорновий копіювальний цикл (G68).

Цикл G68 ефективний при обробці заготовль з малим припуском на обробку (поковок, відливань, штампувань і т.і.), тобто з фор-

мат циклу:  $G68 P Q U W I K B F$ . Параметри:  $P, Q$  - номери початкового і кінцевого кадрів КП руху по чистовому контуру;  $U, W$  - складові по осях  $X$  і  $Z$  припуску на чистовий прохід;  $I, K$  - вектори проєкцій на осі  $X$  і  $Z$  зони обробки (включаючи чистовий припуск). Параметр  $I$  задається на радіус;  $B$  - кількість чорнових проходів;  $F$  - контурна робоча подача.

Опускання параметрів  $U$  і  $W$  має на увазі відсутність припуску на чистовий прохід і завдання зони обробки як повністю чорновий.

Багатопрхідний цикл нарізування торцевих канавок (G69). Цикл G69 забезпечує нарізування на торці концентричних канавок (або однієї широкої канавки) з дробленням стружки (рис. 9).

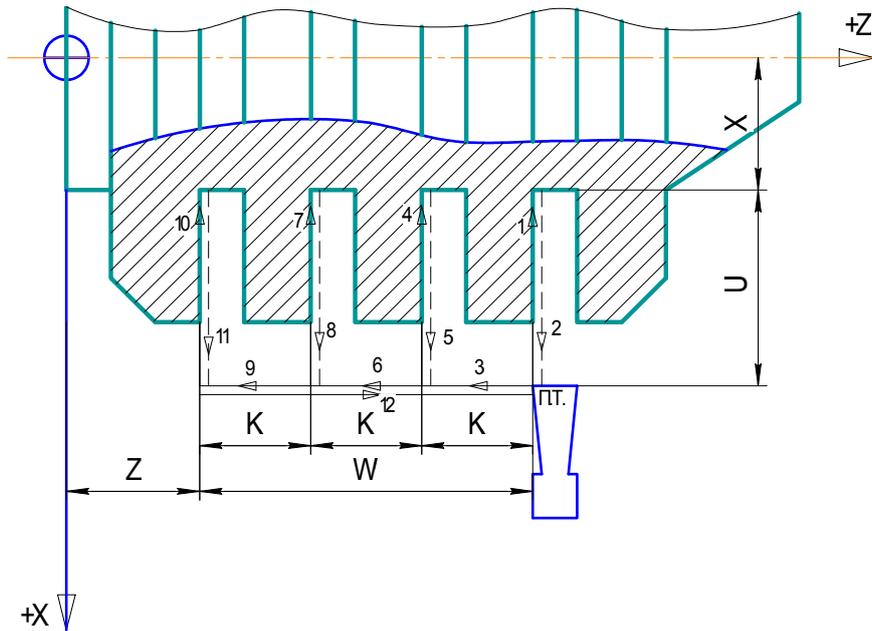


Рис. 7. Схема руху багатопрхідного циклу нарізання циліндрових канавок G65 при нарізанні групи рівновіддалених канавок.

нього різання широкої канавки) або приріст до вказаної точки. За відсутності параметра нарізається одна канавка по осі  $X$ ;  $I$  - крок канавок (або різання широкої канавки) по осі  $X$  (на радіус). При опусканні параметра  $I$  відбувається орієнтація на параметр  $X$ ;  $F$  - робоча подача різання.

Цикл G69 може використовуватися для багато прхідного нарізання широкої торцевої канавки (рис.6.9, а) або для нарізання групи рівновіддалених одна від одної канавок з шириною, рівною ширині прорізного зрізу (рис. 9,б).

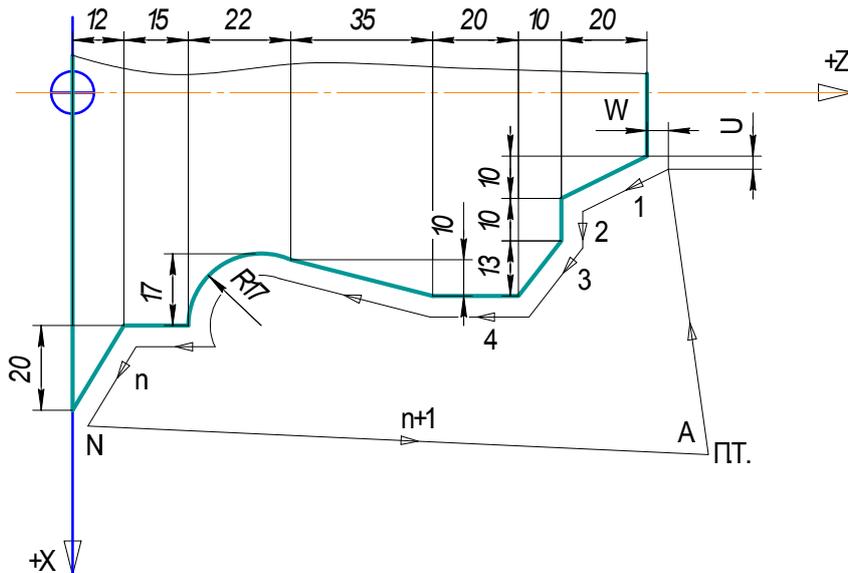


Рис. 8. Схема руху багатопрхідного чорнового копіювального циклу G 68.

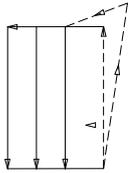
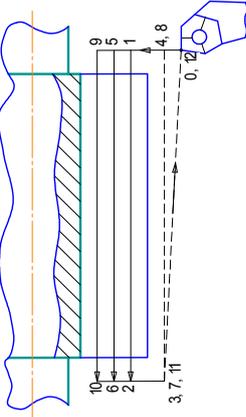
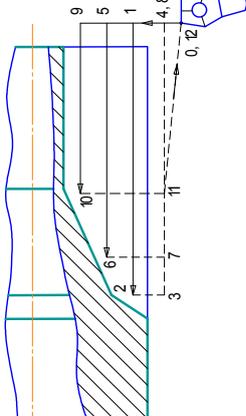
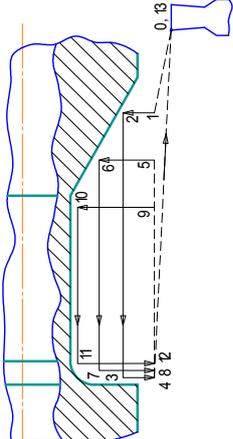
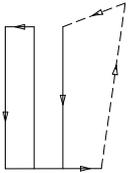
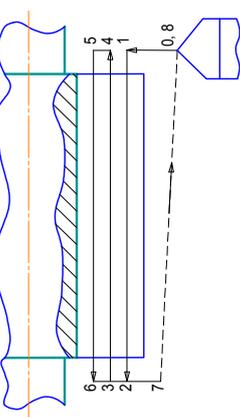
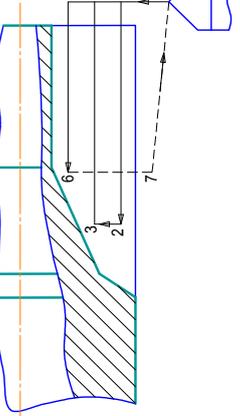
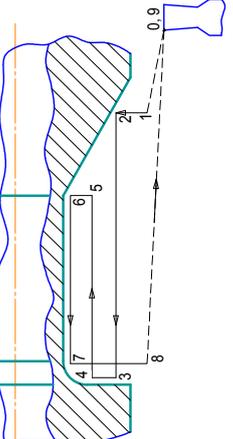
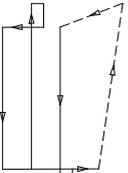
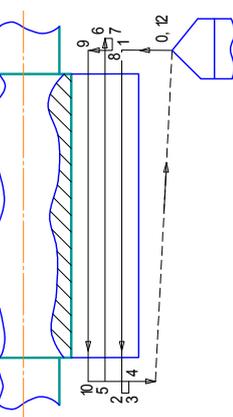
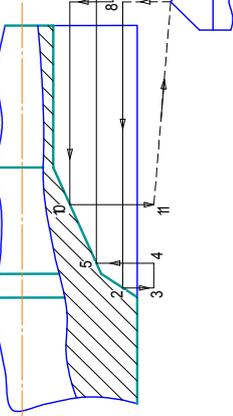
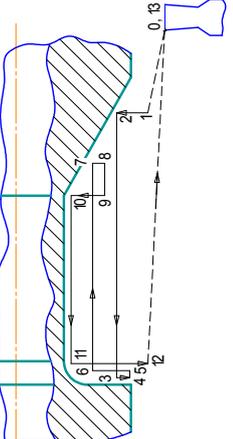
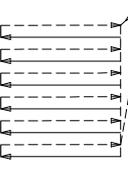
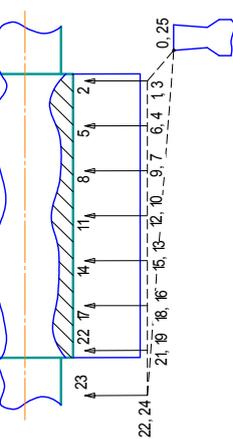
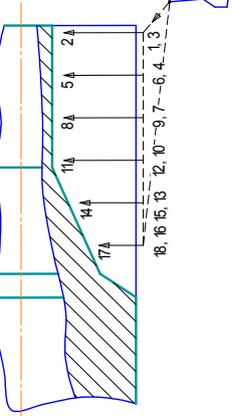
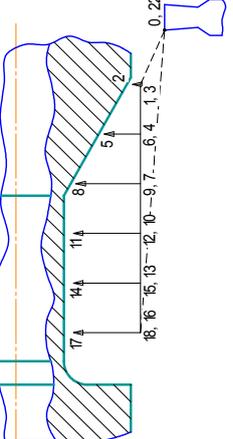
з дробленням стружки (рис. 9).

Формат циклу:  $G69 Z(W) K X(U) I F$ . Параметри:  $Z(W)$  - координата дна канавки або приріст від П.Т. до дна канавки по осі  $Z$ ;  $K$  - глибина різання по осі  $Z$  на проході. При опусканні параметра  $K$  дроблення стружки не виробляється, тобто вся глибина канавки обробляється без переривання;  $X(U)$  - координата П.Т. останньої канавки (або останнього різання широкої канавки) або приріст до вказаної точки.

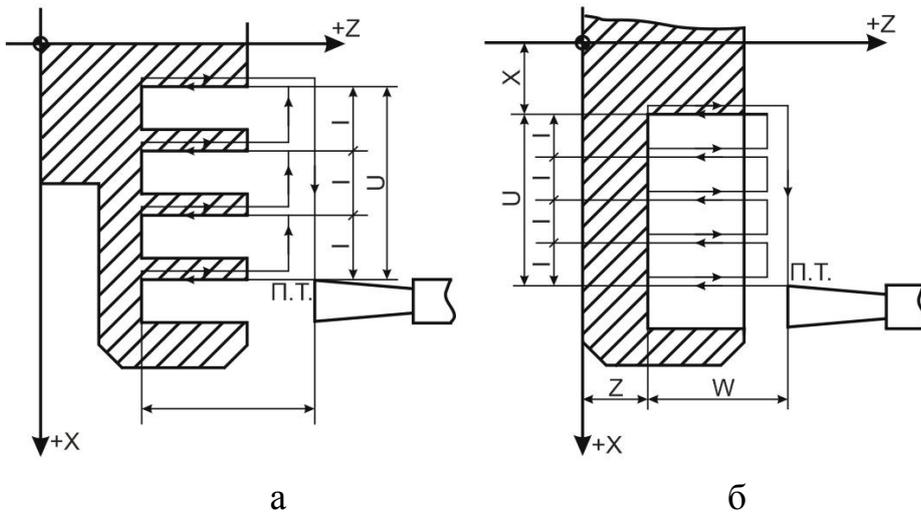
За відсутності параметра нарізається одна канавка по осі  $X$ ;  $I$  - крок канавок (або різання широкої канавки) по осі  $X$  (на радіус). При опусканні параметра  $I$  відбувається орієнтація на параметр  $X$ ;  $F$  - робоча подача різання.

Типові траєкторії переміщення вершини різця. Залежно від конфігурації деталі розрізняють на відкриті, напіввідкриті і закриті припуски. Для зрізання припуску застосовують типові циклограми вершини різця, такі як «петля», «зигзаг» і «спуск» (табл. 1) [3].

Таблиця 1 - Типові циклограми обробки на токарних верстатах

Схема	відкрит а	напіввідкрит а	закрит а
<p>Петля</p> 			
<p>Зигзаг</p> 			
<p>Виток</p> 			
<p>Спуск</p> 			

Схему «петля» використовують при побудові траєкторії руху прохідних і інших різців, що працюють в одному напрямку. Схему «зигзаг» призначена для



обробки в основному відкритих припусків двокромочними і чашковими різцями, що допускають різання; у прямому і зворотньому напрямках. По схемі «спуск» виконують проточування прорізними різцями канавок і інших елементів поверхонь, недоступних для обробки прохідними різцями. Схеми обробки

Рис. 9. Схеми руху багатопрохідного циклу нарізання торцевих канавок G69: а – нарізання широкої торцевої канавки; б – нарізання групи рівновіддалених канавок.

прямокутної канавки і канавки з фасками прорізним різцем, ширина якого рівна ширині канавки, а також багато прохідного проточування канавки різцем вужчим, ніж канавка, що оброблюється, приведені на рис. 10.

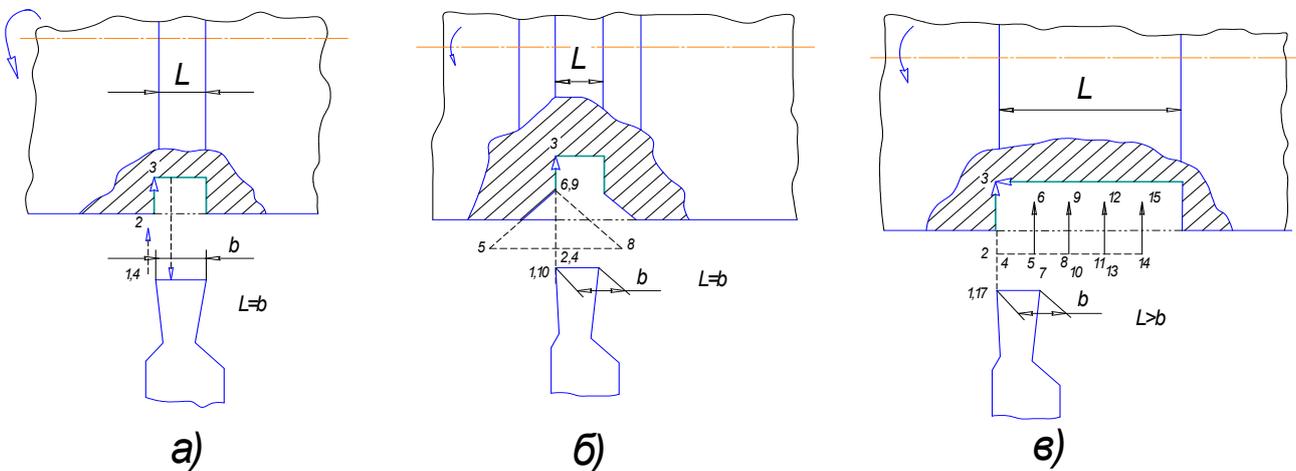


Рис. 10. Типові схеми обробки канавок: а – прямокутної вузької  $L = b$ ; б – прямокутної з фасками  $L = b$ ; в – широкої  $L > b$ .

Канавки проточують на робочому ході (Р), із заданою подачею, а виводять різець з канавки на прискореному ході (П). В кінці проточування канавки по схемі «спуск» задається витримка часу, тобто короткочасне (на 2 -3 с.) припинення подачі інструменту при продовженні обертання деталі. Для того, щоб забезпечити правильну геометричну форму і невелику шорсткість поверхні дна канавки, деталь повинна зробити не менше одного оберту після підходу ріжучої кромки різця на задану координату. Геометрія прорізного різця для проточування торцевих канавок показана на рис. 12.

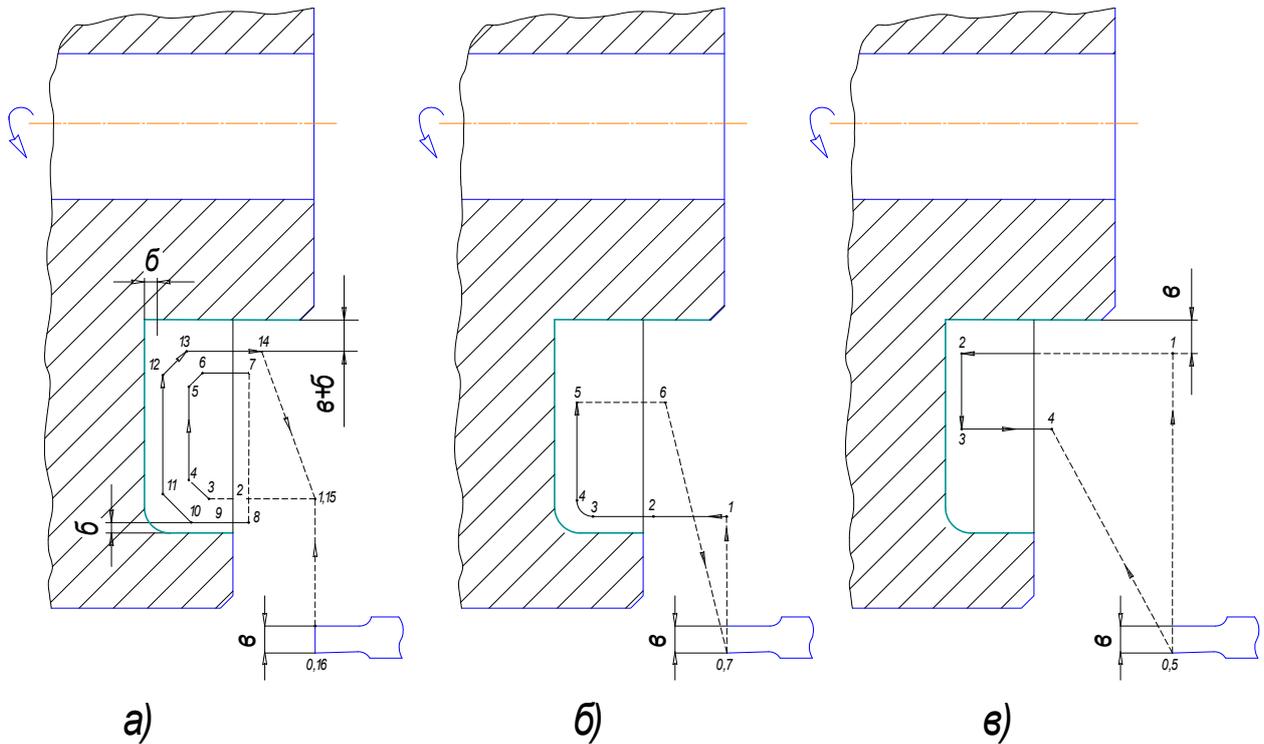


Рис. 11. Схема обробки торцевої канавки: а – чорновий; б, в – чистові робочі ходи (  $e$  – ширина ріжучої кромки;  $b$  – припуск на чистову обробку).

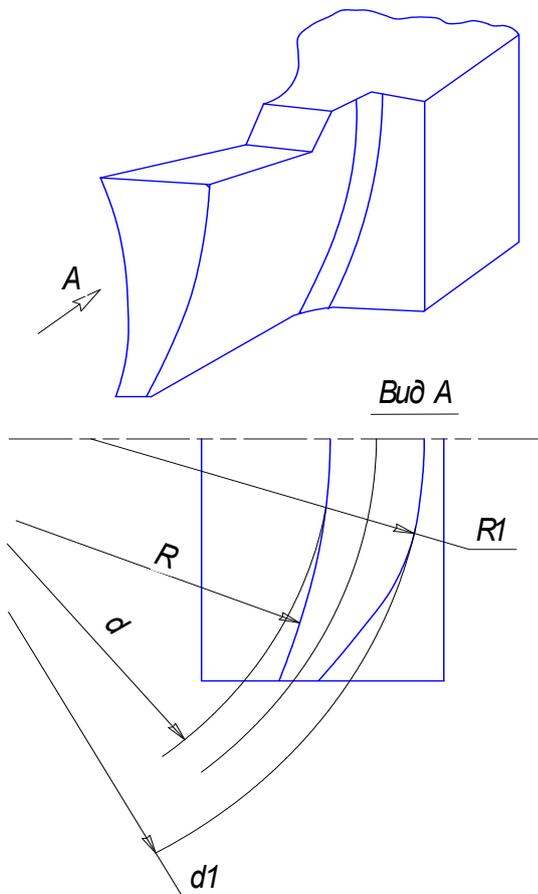


Рис. 12. Геометрія прорізного різця для проточування торцевих канавок.

Чорнове обточування торцевих поверхонь рекомендується проводити при подачі різця у напрямку «до деталі». Чистову обробку деталей типу вал або фланець із зняттям припуску не більш 1,5 мм слід виконувати безперервною подачею різця. Обробку починати від центру торця деталі. При підрізанні торця подачею від центру відбувається віджимання різця. Тому перед переходом від торцевої поверхні до зовнішньої для зняття пружної деформації різця рекомендується задавати програмою так звану «технологічну петлю».

**Висновки.** Стандартні цикли обробки типових елементів у базовому програмному забезпеченні не охоплюють усіх можливих схем токарної обробки. Підвищення ефективності верстатів із ЧПК можна досягнути завдяки розробці нових додаткових циклів токарної обробки, включаючи обробку відкритих поверхонь за схемою «петля» з багатопрхідною вибіркою до досягнення заданого діаметру, відкритих поверхонь за схемою обробки «зи-

гзаг» та закритих поверхонь за схемою «спуск» із змінним контуром дна вибірки. В нашій роботі [4] наведена методика розрахунку параметрів переміщення інструменту для модернізації технологічних алгоритмів.

**Список літератури:** 1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 2. Стискин Г.М. Токарные станки с оперативным программным управлением / Г.М. Стискин, В.Д. Гаевский. – К.: Техника, 1989. – 176 с. 3. Рудько А.П. Программирование токарной обработки на микроЭВМ Электроника МС 1201.01: Методические указания к выполнению индивидуального задания / А.П. Рудько. – Харьков, 1991. – 57 с. 4. Рудько О.П. Алгоритмизация типовых схем обработки на токарных станках с ЧПУ / О.П. Рудько, О.О. Бондар // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 106. – С. 199-203.

**УДК 621.923**

## **ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**Дитиненко С.А.**, канд. техн. наук  
(Харьковский национальный экономический университет)

*The estimation of technological possibilities of different charts of tooling by the nature of change of radial making force of cutting is produced*

Возникающие в технологической системе упругие перемещения приводят к снижению производительности и точности механической обработки. Поэтому вопросам оптимального управления упругими перемещениями в процессе обработки постоянно уделяется большое внимание. Однако данные вопросы оказались достаточно сложными и до настоящего времени в полной мере не решены, что требует дальнейшего развития этого прогрессивного направления в технологии машиностроения. В связи с этой целью работы является теоретический анализ технологических возможностей различных схем механической обработки.

В наших работах [1-4] получены теоретические решения о характере изменения величины упругого перемещения  $y$  в процессе механической обработки. Установлена в общем виде аналитическая зависимость для определения величины упругого перемещения (рис. 1,а):

$$y = y_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{Q_0 \cdot \tau}{y_0 \cdot F}\right)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{рез} \cdot V \cdot \tau}{\sigma \cdot F}\right)}, \quad (1)$$

где  $c$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $K_{рез} = P_z / P_y$  – коэффициент резания;  $P_z, P_y$  – соот-

ветственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $y_0$  – начальный натяг в технологической системе, м;  $Q_0$  – номинальная производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;  $V$  – скорость резания (при шлифовании  $V = V_{кр}$  – скорость шлифовального круга), м/с;  $F$  – площадь поперечного сечения обрабатываемого образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время обработки, с.

В связи с упругими перемещениями в технологической системе, фактическая производительность обработки  $Q_\phi$  будет отличаться от номинальной производительности обработки  $Q_0$  и определяться зависимостью

$$Q_\phi = \frac{\left( Q_0 + y_0 \cdot \frac{F}{\tau} \right)}{\left( 1 + \frac{\sigma \cdot F}{c \cdot K_{рез} \cdot V \cdot \tau} \right)}. \quad (2)$$

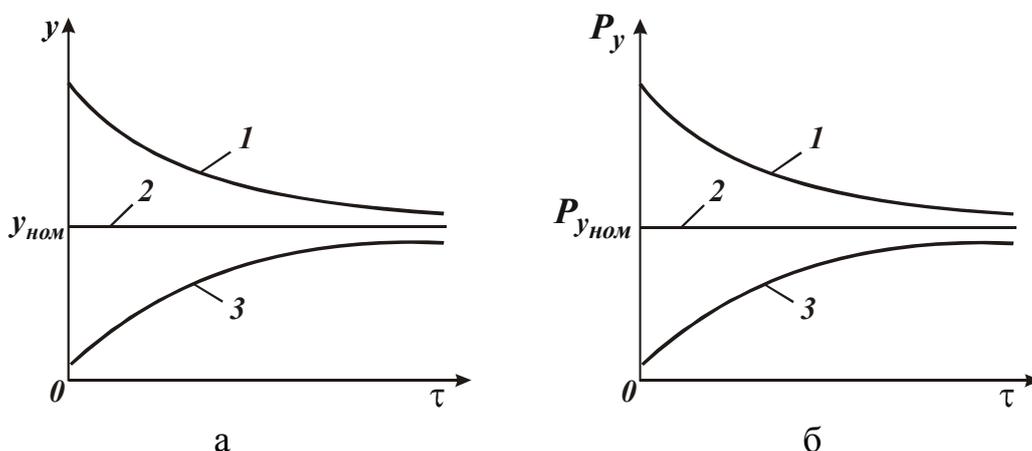


Рис. 1. Зависимости величины упругого перемещения  $y$  (а) и радиальной составляющей силы резания  $P_y$  от времени обработки  $\tau$ : 1 –  $y_0 > y_{ном}$  ( $P_{y_0} > P_{y_{ном}}$ ); 2 –  $y_0 = y_{ном}$  ( $P_{y_0} = P_{y_{ном}}$ ); 3 –  $y_0 < y_{ном}$  ( $P_{y_0} < P_{y_{ном}}$ ).

Радиальная составляющая силы резания  $P_y = c \cdot y$  с учетом зависимости (1) может быть выражена

$$P_y = P_{y_{ном}} \cdot \frac{\left( 1 + \frac{P_{y_0} \cdot F}{Q_0 \cdot c \cdot \tau} \right)}{\left( 1 + \frac{P_{y_{ном}} \cdot F}{Q_0 \cdot c \cdot \tau} \right)}, \quad (3)$$

где  $P_{y_0} = c \cdot y_0$  – радиальная составляющая силы резания, соответствующая величине начального натяга в технологической системе  $y_0$ ;  $P_{y_{ном}} = c \cdot y_{ном}$  – радиальная составляющая силы резания, соответствующая величине начального натяга в технологической системе  $y_{ном}$  (при котором  $Q_\phi = Q_0$ ).

Характер изменения  $P_y$  с течением времени обработки  $\tau$  для различных соотношений параметров  $P_{y_0}$  и  $P_{y_{ном}}$  (а также соотношений параметров  $y_0$  и  $y_{ном}$ ) показан на рис. 1,б. Из него можно сделать следующие выводы:

1. При обработке по жесткой схеме ( $Q_0 = const$ ) радиальная составляющая силы резания  $P_y$  с течением времени обработки будет увеличиваться или в самом лучшем случае оставаться постоянной в зависимости от характера изменения отношения  $K_{рез} / \sigma$ . Поэтому, жесткую схему обработки следует рассматривать как схему с увеличивающейся во времени радиальной составляющей силы резания  $P_y$  и соответственно величиной упругого перемещения  $y$ .

2. Схему выхаживания в связи с уменьшением во времени производительности обработки следует рассматривать как схему с уменьшающимися во времени параметрами  $P_y$  и  $y$ .

На основании сказанного, все возможные схемы обработки можно классифицировать по признаку характера изменения во времени параметров  $P_y$  и  $y$ :

1. Схемы, характеризующиеся увеличением во времени параметров  $P_y$  и  $y$  (для  $P_{y_0} < P_{y_{ном}}$ ;  $y_0 < y_{ном}$ ).

2. Схемы, характеризующиеся постоянством во времени параметров  $P_y$  и  $y$  (для  $P_{y_0} = P_{y_{ном}}$ ;  $y_0 = y_{ном}$ ).

3. Схемы, характеризующиеся уменьшением во времени параметров  $P_y$  и  $y$  (для  $P_{y_0} > P_{y_{ном}}$ ;  $y_0 > y_{ном}$ ).

Для первой схемы зависимость (3) с учетом  $P_{y_0} = 0$  принимает вид

$$P_y = \frac{P_{y_{ном}}}{\left(1 + \frac{P_{y_{ном}} \cdot F}{Q_0 \cdot c \cdot \tau}\right)}. \quad (4)$$

Для второй схемы зависимость (3) с учетом  $P_y = P_{y_{ном}}$  принимает вид

$$P_{y_0} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{K_{рез} \cdot V}. \quad (5)$$

Реализовать условие  $y = y_0$  целесообразно за счет применения упругой схемы обработки с фиксированным радиальным усилием  $P_{y_0}$ . Проанализируем технологические возможности данной схемы, используя зависимость (5).

С течением времени обработки по мере снижения режущей способности инструмента отношение  $\sigma / K_{рез}$  будет увеличиваться. При условии  $P_{y_0} = c \cdot y_0 = const$  это приведет к уменьшению производительности обработки. Следовательно, в зависимости (5) вместо  $Q_0$  необходимо рассматривать фактическую производительность  $Q_\phi$ , которая, исходя из зависимости (5), выразится

$$Q_{\phi} = \frac{K_{рез}}{\sigma} \cdot V \cdot P_{y_0}. \quad (6)$$

Для того чтобы стабилизировать величину  $Q_{\phi}$  на определенном уровне, например, на уровне  $Q_{\phi} = Q_0$  в связи с затуплением инструмента и уменьшением отношения  $K_{рез} / \sigma$ , исходя из зависимости (6), необходимо увеличить скорость резания  $V$  при условии  $P_{y_0} = c \cdot y_0 = const$ . Однако, более эффективным путем следует рассматривать стабилизацию во времени отношения  $K_{рез} / \sigma$ , что достигается при лезвийной и абразивной (алмазно-абразивной) обработке различными методами. Как показано выше, с точки зрения обеспечения параметров точности и качества обработки более эффективно применение третьей схемы обработки, характеризующейся уменьшением во времени параметров  $P_y$  и  $y_0$ , т.е. схемы выхаживания.

**Список литературы:** 1. Новиков Ф.В., Бережной Р.А., Дитиненко С.А., Иванов Е.И. Интенсификация финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей зубчатых колес // Вісник НТУ “ХПІ”. Тем. вип.: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2010. – № 53. – С. 68-75. 2. Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Обоснование путей повышения точности и производительности финишной механической обработки // Физические и компьютерные технологии. Труды 15-й Междун. научн.-техн. конф.– Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2009. – С. 86-90. 3. Дитиненко С.А., Новиков Г.В., Машко А.А. Исследование связи возникающих в технологической системе упругих перемещений с точностью и производительностью механической обработки // Вісник НТУ “ХПІ”. Тем. вип.: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2008. – № 23. – С. 65-69. 4. Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Определение условий повышения точности и производительности механической обработки // Физические и компьютерные технологии. Труды 13-й Междун. научн.-техн. конф.– Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 180-185.

**УДК 658.5.011.46**

## **ПРОБЛЕМАТИКА РОЗВИТКУ СФЕРИ ВИРОБНИЦТВА І СФЕРИ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ**

**Воїнов О.П.**, докт. техн наук, **Воїнова С.О.**, канд. техн. наук  
(Одеський національний політехнічний університет)

*The problematics of development of sphere of manufacture and sphere of consumption of energy in Ukraine is considered*

Паливно-енергетичний комплекс України на органічному паливі забезпечує електрикою близько 60% об'єктів всіх галузей виробництва, теплотою забезпечує переважну більшість споживачів.

Перспективу розвитку паливно-енергетичного комплексу України відбито в діючій концепції, що охоплює період до 2030 року [1, 2]. У рамках проблеми, що сформувалася, у період до 2030 року має бути істотне збільшення встановленої потужності енергетичних установок.

Внесок у науково-технічну розробку завдань зазначеної проблеми вносять НДІ національної академії наук України, ВНЗ, виробничі й інші структури [2-6]. В електрогенеруючому ядрі вітчизняної стаціонарної енергетики - на великих теплових електричних станціях (ТЕС) - встановлене зношене встаткування [1]. Подібне положення чревате можливістю обвального (лавиноподібного) росту аварійності. Рівень технологічної ефективності (у тому числі її екологічної складової) цього встаткування низький.

У структурі паливного балансу енергетики України недороге вітчизняної тверде паливо становить біля двох третин; більше третини загальної кількості використовуваного палива становить дороге імпортоване газоподібне й рідке паливо. У перспективі частка твердого палива повинна стійко зростати [1, 3].

Разом з тим, відповідно до зазначеної концепції, ведеться розробка проблеми одержання газоподібного палива в процесі газифікації (піролізу) твердого палива. Відповідно до задуму, недорогий газ піролізу витіснить імпортований дорогий природний газ [4, 5].

Здійснюється розробка застосування прогресивних технологій використання палива, у тому числі пріоритетної котельно-топкової технології низькотемпературного киплячого шару (КШ). Вона дозволяє домогтися унікально високої технологічної ефективності при використанні палива будь-якого виду й сорту.

Набула актуальності проблема відновлення станційної енергетики на основі заміни зношеного встаткування парогазовими енергетичними установками (ПГУ), економічна (і, відповідно, екологічна) ефективність яких вище на 12–15% і більше, у порівнянні з такими застарілого обладнання ТЕС. Однак при цьому виникла проблема забезпечення газотурбінної частини майбутніх ПГУ газоподібним або рідким паливом, ціна якого повинна бути невисокою.

З метою рішення цієї проблеми, в Україні ведеться розробка процесу одержання газоподібного палива - газу піролізу, на основі застосування технологій термічної переробки твердого палива. Значний інтерес представляють вишукування, спрямовані на одержання газу в установках КШ під тиском [2, 4]. У сфері застосування пріоритетних технологій використання твердого палива ведуться наукові вишукування в напрямку багатоступінчастого спалювання в КШ, спалювання під тиском, об'ємного охолодження топкового середовища (топки), зниження інтенсивності зовнішньої ерозії в КШ та ін. [4, 6-8].

Особливе значення придбала проблема скорочення рівня шкідливого впливу енергогенеруючого й енергоспоживаючого встаткування на природне середовище [9]. Особливий інтерес представляє завдання прямого управління екологічною ефективністю об'єктів паливно-енергетичного комплексу [10].

У програмі розвитку енергетичного господарства важливу роль відіграє якість здійснюваного процесу управління. Управління технічними об'єктами, як відомо, здійснюють системи автоматичного управління (САУ), а структурними об'єктами - автоматизовані системи управління (АСУ).

З викладеного виходить, що основою гармонійного розвитку сфери виробництва й сфери споживання енергії є його відновлення на основі використання сучасних досягнень науково-технічного прогресу, у тому числі застосування високих технологій.

У сфері енергоспоживання - на виробництві, – особливо на великих підприємствах, значна частина встаткування відробила розрахунковий ресурс. Його технологічні характеристики, у тому числі екологічної й економічні, неприпустимо низькі. Яскравим показником (індикатором) цього є те, що питома енергоємність продукції набагато вище (іноді в рази), чим на передових виробництвах, вітчизняних і закордонних.

Особливе положення займає кадрове питання, що визначає дію «людського» фактора. Для здійснення розглянутої програми необхідно забезпечити активне використання інтелектуального, виробничого й економічного потенціалу суспільства. Необхідно забезпечити системно-комплексний підхід до постановки програми і її рішення, а також забезпечити високу якість процесу управління підготовкою й здійсненням програми.

У нинішніх умовах варто розрізнити відновлення двох видів, пасивне: заміну зношеного технічного об'єкта новим подібним - і активне: заміну зношеного об'єкта новим, діючим за новітньою, зокрема, високою, технологією. Основу програми розвитку повинне становити активне відновлення.

Особливе положення займає кадрове питання, що визначає дію «людського» фактора. Дана сфера підлягає відновленню в першу чергу. Рівень професійної кваліфікації й культури, рівень соціальної відповідальності управлінського й оперативного персоналу визначальним образом впливають на ТЕ виробництва. Нині, зокрема, у штатному розкладі частини підприємств немає резерву, розрахованого на розширену практичну підготовку стажистів інженерного й робітника професійних рівнів. ВНЗ не мають у своєму розпорядженні засоби для оплати витрат на виробничу практику студентів. Випуск регулярно навчених робітників-фахівців неприпустимо малий. У сформованих кон'юнктурних і суспільно-демографічних умовах режим, що нині допускає, «економії» у сфері підготовки кадрів для виробництва чреватий важко передбачуваними негативними наслідками.

Результативність виконання програми розвитку енергетичного господарства буде високою при високій якості управління комплексом робіт на всіх рівнях їхнього проведення.

Висновки.

1. З позицій дотримання інтересів держави, проблему розвитку й підвищення технологічної ефективності сфери виробництва енергії (паливно-енергетичного комплексу) варто вирішувати в комплексі з рішенням цієї ж проблеми в сфері споживання енергії.

2. Ціль складається в скороченні витрати палива на виробництво одиниці енергії й у скороченні витрати енергії на виробництво одиниці продукції. Тобто, метою є - скорочення витрати палива на виробництво одиниці продукції.

3. Відновлення повинне складатися не тільки в заміні зношеного встаткування новим; його варто здійснювати з максимально можливим застосуванням новітніх досягнень, у тому числі високих технологій.

4. У загальному випадку, доцільне сполучення в одній програмі декількох частин, що відрізняються видом і характером відновлення, може обумовити одержання значного корисного ефекту при помірному обсязі вкладення ресурсів.

**Список літератури:** 1. Корчевой Ю.П., Пивняк Г.Г. Новітні технології використання вугілля в енергетиці // Вісн. НАН України, 2006, № 2. – С. 51- 56. 2. Корчевой Ю. П. Стан і перспективи розвитку твердопаливної енергетики України // Теплова енергетика – нові виклики часу/ За заг. ред. П. Омеляновського, Й. Мисака. – Львів: НВФ «Українські технології», 2009. – С. 29-35. 3. Воінов О.П., Мазуренко А.С. Особливості структури паливно-енергетичного балансу енергетики України // Енергетика и электрификация. – 2006, № 2. – С. 2-3. 4. Майстренко О.Ю., Чернявський М.В., Косячков О.В. Розвиток технології газифікації вугілля за рахунок використання багатостадійних методів його термічної переробки // Теплова енергетика – нові виклики часу / За заг. редакцією П. Омеляновського, Й. Мисака – Львів: НВФ «Українські технології», 2009. – С. 99-104. 5. Воінов А.П., Воінова С.А. О топливе для энергетических парогазовых установок // Труды 15-ой Международ. научн.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии», 2-3 дек. 2009 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2009. – С. 398-400. 6. Воінов А. П. Проблематика развития технологии котельно - топочного низкотемпературного пузырькового кипящего слоя // Труды 15-ой Международ. научн.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии», 2-3 дек. 2009 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2009. – С. 401-403. 7. Воінов А.П., Воінова С.А. Особенности управления двухступенчатой котельной топкой с низкотемпературным кипящим слоем // Тр. 12-ой Международ. научн.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии», 7-8 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2006. – С. 186-188. 8. Воінов А.П., Чернуха Д.В. Разработка перевода топки котла ТПП-210 А на объемное охлаждение // Тр. ОНПУ / Научн. и произв.-практич. сб-к по технич. и естеств. наукам. – Одесса, 2002. – Вып. 2 (18). – С. 62-65. 9. Воінова С.О. Можливість управління екологічною характеристикою технічних об'єктів // Физические и компьютерные технологии / Тр. 11-ой Международ. научн.-техн. конф., 2-3 июня 2005 г. – Харьков; ХНПК «ФЭД», 2005. – С. 221-223. 10. Воінова С.А., Сычук Л.М. Пути непосредственного управления экологической эффективностью котельно-топочных систем // Наук. праці ОНАХТ/ Мін. освіти і науки України. – Одеса: 2007. – Вип. 31. – Т.1. – С. 159-161.

**УДК 621.18:66.096**

## **СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Воінова С.О.**, канд. техн. наук

(Одеський національний політехнічний університет)

*The method of the system approach to control of technological efficiency of technical objects is stated*

Ступінь досконалості технічних об'єктів (ТО) характеризується властивістю - рівнем їхньої технологічної ефективності (ТЕ). Ця властивість складається з трьох частин: екологічної ефективності, економічної ефективності й загальнотехнічної ефективності.

ТЕ діючого ТО формується в чотири етапи, на кожному з яких діє певний фактор.

На першому - «а» - етапі, стратегічному, у майбутній ТО закладають технологічні можливості обраної технології.

На другому –«b» – етапі, тактичному, у створюваний об'єкт закладають технологічні можливості розробленої конструкції.

Таким чином, готовий до пуску в роботу, новий ТО має технологічні властивості, які сформовані технологічними можливостями використаної технології й конструкції. Рівень ТЕ нового об'єкта – вихідний  $(TE)_{вих}$  – є максимально можливим в умовах використання розглянутого ТО.

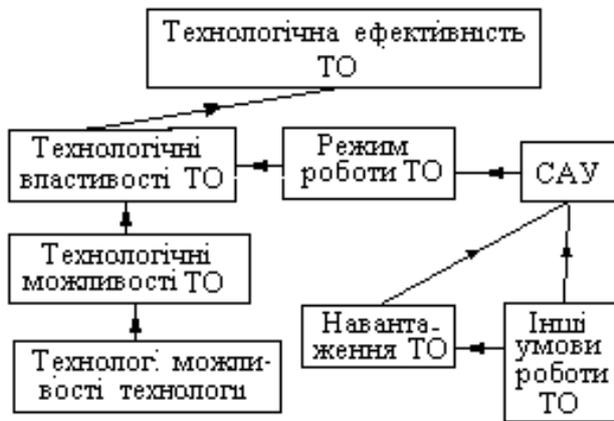


Рис. 1 - Структурно-логічна схема взаємодії факторів, які впливають на технологічну ефективність ТО

Відзначимо важливу обставину. Як правило, складання алгоритму САУ і її налаштування здійснюють для нового ТО. Далі ці параметри САУ зберігають як завгодно довго.

Далі. Працюючий ТО безупинно перетерплює зношування. Його ТЕ на траєкторії витрати ресурсу працездатності знижується. Новий ТО й ТО, що відробив частину ресурсу, - об'єкти різні. Причому різниця їхніх властивостей тим більша, чим менший залишковий ресурс ТО. Важливо відзначити те, що в процесі зношування ТО безупинно змінюються його регульовальні властивості як об'єкта управління. У той же час, параметри традиційної САУ залишаються вихідними, незмінними.

На четвертому – «d» – етапі, оперативному, на працюючий ТО впливає четвертий фактор, відзначений вище, – невідповідність регульовальних властивостей ТО, що безупинно змінюються, й незмінних у часі параметрів САУ. Їхній конфлікт проявляється в

зниженні ТЕ ТО від рівня  $TE_{п}$  (графік a-c-e) до рівня  $TE_{ф}$  (графік a-d) (рис. 2). Зазначена невідповідність має, по суті, організаційний характер.

Дійсно, наприклад, у момент часу  $T_1$  складається така обстановка:

- викликане зношуванням ТО відставання рівня ТЕ від рівня  $TE_{вих}$  становить  $\Delta TE_{зн1} = TE_{вих1} - TE_{п1}$ ;
- викликане дією фактора

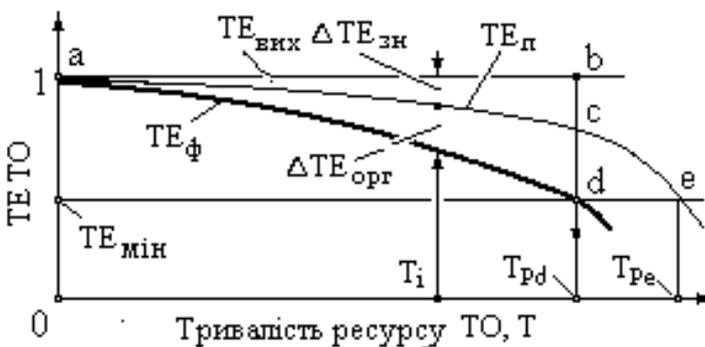


Рис. 2 - Траєкторія змінення ТЕ ТО в межах тривалості ресурсу (САУ традиційна)

«d» відставання рівня  $TE_{\phi 1}$  від рівня  $TE_{\pi 1}$  становить  $\Delta TE_{\text{орг}1} = TE_{\pi 1} - TE_{\phi 1}$  (рис.2)

Ресурс ТО фіксують по досягненню поточним рівнем ефективності встановленого мінімально припустимого значення (рівня) –  $TE_{\text{мін}}$ .

Аналіз, однак, показує, що дія фактора «d», який викликає технологічний збиток, піддається управлінню аж до його (збитку) повного виключення.

Зазначена можливість може бути реалізована, якщо параметри САУ адаптувати до закону зношування ТО в часі. У цьому випадку в кожний момент часу властивості ТО й САУ будуть погодженими. Інакше кажучи, варто застосувати гнучке управління об'єктом.

У випадку застосування адаптивної САУ, траєкторія зміни в часі  $TE_{\phi}$  (графік a-d) підніметься й збіжиться з траєкторією зміни  $TE_{\pi}$ . Технологічний збиток  $\Delta TE_{\text{орг}}$  буде усунутий. Збиток, обумовлений зношуванням ТО, –  $\Delta TE_{\text{зн}}$  – залишиться (рис.3). Відмітимо, що впливати на нього можна через фактори «a» і «b», а також шляхом підвищення культури технічного (експлуатаційного й ремонтного) обслуговування встаткування.

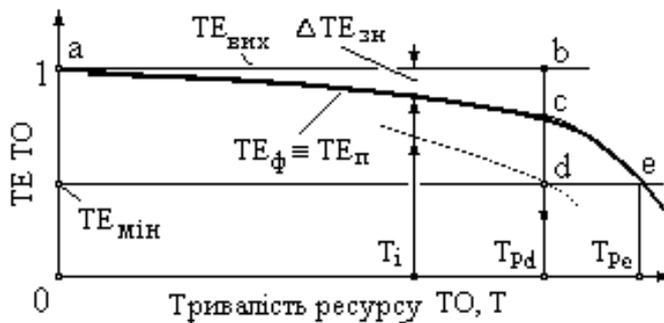


Рис. 3 - Траєкторія змінення TE ТО в межах тривалості ресурсу (САУ адаптивна)

Відзначимо також, що вказані фактори впливають на рівень  $TE_{\phi}$ .

Крім того, технічні події, що супроводжують практичне виробництво, у змозі істотно впливати на траєкторію, динаміку зміни ефективності ТО –  $TE(T)$ . Вони можуть змінити характер траєкторії, перетворити її з монотонної в східчасту й навіть (серйозні аварії) опустити до рівня нижче  $TE_{\text{мін}}$  і навіть до нуля, чим вичерпати ресурс працездатності ТО.

Порівняльний аналіз двох принципово різних підходів до управління TE, а саме, застосування традиційної САУ й адаптивної (гнучкої) САУ (САГУ) показує, що при другому підході ресурс ТО більше, ніж при першому. У наведеному випадку зростання ресурсу (в одиницях часу) дорівнює  $T_e - T_d$ . Е підстава затверджувати, що застосування САГУ в порівнянні із традиційними САУ здатне обумовити збільшення ресурсу ТО, в економічному відношенні багаторазово перевищує зростання витрат на САГУ в порівнянні з витратами на САУ.

Управління TE ТО повинне бути системним, з використанням впливу на об'єкт повного набору - чотирьох: «a», «b», «c» і «d» - факторів. За цієї умови можлива реалізація потенційного рівня TE об'єкта.

Управління TE ТО повинне бути системним, з використанням впливу на об'єкт повного набору - чотирьох: «a», «b», «c» і «d» - факторів. За цієї умови можлива реалізація потенційного рівня TE об'єкта.

Висновки. 1. TE ТО формується на чотирьох етапах: стратегічному, тактичному й оперативному (з двох частин).

2. Фактичний рівень TE ТО як частина його потенційної ефективності визначається якістю процесу управління об'єктом.

3. Застосування адаптивної САУ дозволяє підняти TE ТО до потенційного рівня й відповідно збільшити його ресурс працездатності.

4. Комплексний процес формування ТЕ діючого ТО повинен носити системний характер, тобто повинен включати управління всіма (чотирма) факторами, що впливають на ефективність.

5. Застосування гнучкої САУ ТО містить риси високої технології.

**Список літератури:** 1. Воїнова С.О., Воїнов О.П. Автоматичне управління - інструмент реалізації потенційної технологічної ефективності технічних об'єктів // Наук-техн збірник кафедри «Теплові електричні станції й енергозберігаючі технології» по енергозберігаючих технологіях у теплоенергетиці. – Одеса: ОНПУ, 2007. – С. 19-22. 2. Воїнова С.О. Можливості управління екологічною характеристикою технічних об'єктів // Тр. 11-ой Междунар. научн.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”, 2-3 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2005. – С. 221-223. 3. Воїнова С.А., Сычук Л.М. Шляхи безпосереднього керування екологічною ефективністю котельно-топкових систем // Наукові праці ОНАХТ/ Мін. освіти й науки України. - Одеса, 2007. – Вип. 31. – Т. 1. – С. 159-161.

**УДК 331.108**

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА**

**Савченко Н.Н.**

(Харьковский национальный экономический университет)

*Some features of control of development of staff on firm in conditions of economical instability are reviewed*

Важнейшим обстоятельством формирования кадрового потенциала в условиях экономической нестабильности является то, что персонал многих, особенно наукоемких предприятий находится в условиях, далеких от желаемых, что приводит к оттоку наиболее высококвалифицированных кадров, к их внутренней или внешней миграции [1-3]. Проблемой также является постоянно возрастающий уровень старения рабочей силы. С этих позиций социально – экономические цели организации управления кадрами представляются как комплекс важнейших функций управления кадровым потенциалом предприятия, которые реализуются в программах развития культуры и образования; в совершенствовании системы профессиональной подготовки и повышения квалификации; в изменении содержания труда, форм его организации и мотивации; в рационализации форм и методов подбора, оценки, продвижения работников и учета особенностей углубления разделения труда, развития производительных сил в обществе, совершенствования рынка тренинговых услуг в Украине.

Существенное значение в условиях экономической нестабильности предприятия (его финансовая неустойчивость, нерегулярная выплата зарплат, отсутствие стимулов для персонала, низкая конкурентоспособность продукции и потеря рынков и др.) приобретают вопросы повышения кадрового потенциала при минимальных возможностях финансирования затрат на повышение квалификации персонала и ограниченностью (пассивностью) его структурных изменений.

В этих условиях приобретают особое значение вопросы профессионального обучения непосредственно на рабочем месте с привлечением специалистов предприятия (внутренняя среда), так и специалистов со стороны (внешняя среда). По форме организации обучение может как непосредственно на рабочем месте, так и вне его, в виде непосредственных или виртуальных контактов. Как формы обучения и повышения квалификации выделяются инструктаж, лекция, первоначальное обучение (ученичество), ротация персонала, наставничество, метод усложненных заданий, решение практических задач, моделирование ситуаций, различных типов тренинга (сензитивности, игры).

С этих позиций социально-экономические цели организации управления кадрами представляются как комплекс важнейших функций управления кадровым потенциалом предприятия, которые реализуются в программах развития культуры и образования (государственных, региональных и предприятия); в совершенствовании системы профессиональной подготовки и повышения квалификации; в изменении содержания труда, форм его организации и мотивации; в рационализации форм и методов подбора, оценки, продвижения работников и учета особенностей углубления разделения труда, развития производительных сил в обществе, совершенствования рынка тренинговых услуг в Украине.

Существенное значение в условиях экономической нестабильности предприятия (его финансовая неустойчивость, нерегулярная выплата зарплат, отсутствие стимулов для персонала, низкая конкурентоспособность продукции и потеря рынков и др.) приобретают вопросы оценки эффективности повышения квалификации персонала при ограничениях или отсутствии возможностей финансирования затрат на повышение его квалификации и проведение структурных изменений.

В этих условиях приобретают особое значение вопросы качества профессионального обучения с позиций достижения после обучения более высоких производственных результатов непосредственно на рабочем месте, проводимые как с привлечением специалистов предприятия (внутренняя среда), так и специалистов со стороны (внешняя среда). По форме организации обучение может как непосредственно на рабочем месте, так и вне его, в виде непосредственных или виртуальных контактов.

Проблемой, решаемой при организации обучения персонала, становится прогнозирование ее эффективности, что непосредственно связано с оценкой изменения кадрового потенциала, возникновением проблемы ухода с предприятия сотрудников, повысивших квалификацию.

Принципиально возможность количественной оценки качества повышения квалификации выполнения обслуживающим персоналом своих функций достаточно сложна и основана на достижениях кибернетики, позволяющих использовать методы описания функционирования предприятия как технической системы и для характеристики психологической деятельности человека, представив ее в теоретико-вероятностных понятиях и описывая в виде математических уравнений.

Разработка этих методов, непосредственно связанных с оценкой качества выполнения обслуживающим персоналом своих функций, находится пока в начальном состоянии. Теория должна в этом направлении опираться на инже-

нерную психологию, изучающую причины и особенности возникновения всех видов ошибок человека при восприятии информации, принятии решения и его реализации применительно к предприятию.

Одним из наиболее перспективных путей решения этой задачи является структурный подход, основа которого – определение критериев надежности по анализу структур деятельности персонала предприятия. Поскольку эта деятельность является многоцелевой, описать ее одной характеристикой надежности в принципе невозможно.

Для учета различных свойств человека, как многофункциональной социально-биологической системы, необходимо различать:

– психологическую надежность ( $\alpha$  – надежность), учитывающую только временные неустойчивые ошибки в деятельности, после появления которых человек продолжает выполнять свои функции;

– физиологическую надежность ( $\Phi$  – надежность), учитывающую только устойчивые, постоянные ошибки (например, из-за ухудшения зрения или слуха), сопровождающиеся временной потерей возможности дальнейшего выполнения своих обязанностей;

– демографическую надежность ( $\beta$  – надежность), учитывающую только окончательную невозможность человека выполнять производственные функции, сопровождающиеся полной и безвозвратной потерей возможности дальнейшего выполнения своих функций.

Чтобы использовать эти понятия при оценке качества повышения квалификации, необходимо разработать структуру и теоретико-вероятностные критерии их деятельности, условий труда и отдыха, социально-демографических условий.

При этом вероятность  $P_0$  выполнения своих функций, например, отделом главного технолога, после повышения квалификации или, иными словами, качество повышения квалификации персонала, можно представить как произведение вероятностей безошибочного  $P_{б\text{ош}}$  и своевременного  $P_{св}$  выполнения своих функций в течении определенного времени (например, действия контракта), т.е.

$$P_0 = P_{б\text{ош}} \cdot P_{св} \quad \text{при} \quad P_{св} = P(t \leq T),$$

где  $T$  – время действия контракта.

В свою очередь вероятность безошибочного выполнения персоналом своих функций с производительностью и качеством, превышающих прежние значения (до повышения квалификации), можно определить, перемножив вероятности  $P_i$  безошибочного выполнения каждого элемента структуры предприятия.

Вероятность  $P_{нсв_i}$  несвоевременного выполнения структурным подразделением предприятия своих функции зависит в общем случае как от вероятности  $P_{ин}$  информационной перегрузки, так и от вероятности  $P_{дв}$  дефицита времени на выполнение отдельных операций, т.е.  $P_{нсв_i} = P_{ин_i} \cdot P_{дв_i}$ .

Следовательно, вероятность своевременного выполнения организационным подразделением предприятия (отделом) своих функций

$$P_{св} = 1 - P_{нсв_i} = 1 - P_{ин_i} \cdot P_{дв_i}.$$

В настоящее время еще не хватает фактических материалов для оценки каждой из этих составляющих в отдельности. Однако, используя предложен-

ный подход можно выделить важные моменты деятельности персонала, которые следует учитывать при организации обучения персонала и оценки эффективности повышения его квалификации.

**Список литературы:** 1. Ковтун О.А. Система управління персоналом промислових підприємств як об'єкт управління // Економіка і управління. – 2006. – № 2–3. – С. 42-48. 2. Савченко В.А. Управління розвитком персоналу. – К.: КНЕУ, 2002. – 351 с. 3. Коваль В. Впровадження гнучких інноваційних технологій професійного навчання. СПРАВОЧНИК КАДРОВИКА. – 2004. – №7. – С. 68-76.

**УДК 69.003:658.012.2**

## **НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ**

**Таньков К.Н.**, канд. экон. наук, доцент  
(Харьковский национальный экономический университет)

*The failsafety of management is considered by productive activity*

Экономические показатели надежности системы управления (СУ) производственной деятельностью (ПД) рассматриваются как неотъемлемая часть общей системы показателей надежности функционирования промышленного предприятия и занимают равноправное место наряду с такими показателями надежности как безотказность, ремонтпригодность, сохранность, долговечность и др. Как показывает анализ литературы, экономические аспекты надежности ПД рассматриваются, прежде всего, с позиций снижения вероятности ущерба от сбоев в соответствующей СУ. При несомненной важности такого подхода, предполагающего анализ финансовых и инвестиционных возможностей предприятия, установления реальной «цены» управления ПД, практически не исследована роль надежности работы лица принимающего решение (ЛПР) в формировании надежности СУ ПД. Основные направления решения данной проблемы определяются следующим.

*Положение 1.* ЛПР рассматривается как эргатический элемент СУ ПД: находящийся на рабочем месте субъект труда с конкретной управленческой функцией и имеющий необходимое эргономическое обеспечение своей работы (совокупность методов и средств, направленных на реализацию алгоритма решения задач ПД, обеспеченных выделенными ресурсами и исполнителями, использующих имеющиеся средства труда и направленные на надежную реализацию необходимых результатов с заданными показателями эффективности ПД).

На этом основании СУ ПД может быть представлена как целесообразная совокупность взаимодействующих видов деятельности и их эргатических и неэргатических элементов, целенаправленно формирующая и реализующая отношения всех участников ПД предприятия с целью формирования и реализации интегрированного процесса создания конечного продукта труда с ожидае-

мым уровнем потребительской стоимости при приемлемом уровне безопасности, исполнительности, производительности, надежности, живучести и рисков.

*Положение 2.* В рамках данной работы формирование и иллюстрация эргатического подхода к решению проблемы надежности СУ ПД рассматривается с позиций определения условий надежности работы ЛПР. Если ЛПР выполняет однотипные процедуры, то наиболее удобно применять такую меру как оценка вероятности появления ошибок при выполнении определенной процедуры. В том случае, если предыдущие ошибки ЛПР существенно не влияют на возникновение новых ошибок, то, принимая распределение их числа по биномиальному закону, можно получить вероятность их появления  $P(k)$  по формуле:

$$P(k) = C_n^k \beta^k (1 - \beta)^{n-k}, \quad (1)$$

где  $n$  – число повторений однотипных действий ЛПР;  $k$  – число допущенных ошибок при однотипных действиях ЛПР;  $\beta$  – вероятность появления ошибки при однотипных действиях ЛПР, которая при достаточно большом количестве решений может быть принята как  $\beta = k / n$ .

*Положение 3.* Надежность СУ ПД может обеспечиваться своевременным установлением и устранением ЛПР случайных сбоев в этой системе. Если в такой системе присутствует  $n$  независимых элементов, то вероятность  $s_i(t)$  ее неработоспособности из строя из-за сбоя  $i$ -го элемента будет определяться уравнением:

$$s_i(t) = p_i \times r_i + p'_i \times r'_i \times f_i, \quad (2)$$

где  $p_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента СУ ПД за время  $t$ ;  $r_i$  – вероятность своевременного обнаружения ЛПР сбоя  $i$ -го элемента СУ ПД в случае его появления за время  $t$ ;  $p'_i$  – вероятность сбоя  $i$ -го элемента СУ ПД за время  $t$ ;  $r'_i$  – вероятность своевременного необнаружения ЛПР сбоя  $i$ -го элемента СУ ПД в случае его появления за время  $t$ ;  $f_i$  – вероятность своевременного неустранения ЛПР сбоя  $i$ -го элемента СУ ПД в случае его появления за время  $t$ .

Уравнение (2) справедливо при условии независимости  $p$ ,  $r$  и  $f$ . При условии, что ЛПР способен предупредить сбой последовательно выстроенных  $k$ -элементов СУ ПД, ее общая надежность  $P_s(t)$  будет определяться соотношением:

$$P_s(t) = p_0 \prod_{i=1}^k [1 - (p_i \times r_i + p'_i \times r'_i \times f_i)] \times \prod_{i=k+1}^n p_i. \quad (3)$$

Таким образом, надежность СУ ПД зависит от таких факторов как надежность используемых ЛПР комплексов организационно-технических средств; надежность алгоритмического и программного обеспечения принятия решения; способность СУ адаптироваться к изменяемым параметрам внешней среды и т.д. При этом действия ЛПР должны быть превентивного характера по отношению к локализации его ошибок и сбоев в СУ ПД.

## **2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.923

### **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТОРГОВОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ФИРМЫ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ ЗАКАЗОВ**

**Шаровченко А.И.**, директор, **Горшков Ю.Б.**, канд. техн. наук, учредитель (ООО «Шлиф», г. Харьков)

*The features of work of trade instrumental firm are considered with technological accompaniment of orders*

Переход на рыночную систему поставил большинство машиностроительных, металлургических и других предприятий в тяжелейшие условия самообеспечения сырьем, материалами, инструментами и т.д. Огромные (по мировым понятиям) государственные НИИ практически прекратили существование с развалом Советского Союза, в этот переходной тяжелейший период предприятия остались без научно-технической поддержки при внедрении новых (да и стандартных) технологических процессов, обновления станочного парка, в программах перехода на альтернативные источники энергии, экономии энергоносителей и т.д.

В этих условиях, когда разорваны все традиционно надежные связи, когда рынок переполнен несертифицированным некачественным инструментом, когда некомпетентность продавцов, помноженная на равнодушие заводских работников, может привести (и приводит) к развалу предприятий, идея создания торгово-технической фирмы «коммерческо-технологического центра – КТЦ», является очень привлекательной.

Соединение компетентной, хорошо оснащенной во всех отношениях торговой фирмы (раньше «Минстанкопром») и мобильной группы высококвалифицированных технических специалистов (раньше «НИИ») дает возможность любому предприятию заказать и получить любой инструмент (лезвийный, абразивный, гибкий, алмазный, слесарный, мерительный, монтажный, зажимной и т.д.), а также проконсультироваться по любым техническим вопросам и, самое главное, при необходимости – заключить договор на внедрение нового инструмента, технологического процесса, нового оборудования без огромных накладных расходов, присущих НИИ, крупным фирмам и лабораториям.

Таким образом, концепция проекта КТЦ такова: от раздробленной стохастической системы продаж инструментов – к комплексному обеспечению предприятий и фирм сертифицированными инструментами с технологическим сопровождением.

Безусловно, такой проект требует больших инвестиций, специалистов разных направлений, работающих в одной команде, руководителей с широким

кругозором, опытом и государственным мышлением, хорошо оборудованного помещения. За семь лет с момента возникновения этой идеи проведено немало переговоров с инофирмами, готовыми участвовать в проекте, со специалистами по различным технологиям, невостребованными промышленностью, но с большим опытом работы, научными степенями и званиями. Реакция на проект у всех только позитивная. Если бы еще среди руководителей города нашлись люди, способные оценить проект КТЦ и его значение для города, с его огромным научно-техническим потенциалом, можно было бы смело сказать, что проект КТЦ имеет отличную перспективу.

Скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается. Семь лет назад была создана инструментальная фирма «ШЛИФ», как прототип, модель первого уровня КТЦ, не требующая больших инвестиций, но подающая пример другим торговым фирмам схемы общения с предприятиями.

Политикой фирмы стало поддержание уровня компетенции в технологиях, для которых продается инструмент (что объективно становится привлекательным для технических специалистов машиностроительных заводов и других металлообрабатывающих фирм), увеличивается объем продаж, увеличивается количество заказов на импортный инструмент европейского уровня качества. Да, нам приходится тщательным образом подходить к подбору менеджеров, их технической, а не только маркетинговой подготовке, тратить много времени на очные и заочные консультации, поездки на предприятия и принятие технологических решений. Но рост числа постоянных клиентов – предприятий, работающих по договорам, несмотря на тендерный частокол ограничений и запретов, является для нас позитивным результатом. Кстати, о тендерах. На частных предприятиях тендеры часто являются формой защиты интересов богатых владельцев, проводящих под крышей тендеров свои фирмы-поставщики, на государственных и полугосударственных предприятиях имеют место и эти тенденции и простая коррупция. То есть, в большинстве случаев, тендерная организация поставок имеет место в своем самом извращенном виде: система ограничений закрывает доступ для поставок прогрессивного современного инструмента, перекрывается возможностью технологического развития для предприятий, значительно увеличиваются расходы на инструмент и, самое главное, безнадежно снижается качество обработки и производительность технологических операций. Выше сказанное можно прокомментировать реальным примером из жизни.

Несколько лет назад мы узнали, что на одном из заводов Днепропетровска работает участок порезки труб, в составе которого 12 станков, работающих отрезными кругами  $\varnothing 400$  мм Лужского завода «Луга-абразив». Делаем коммерческое предложение: предлагаем круги высшего европейского качества фирмы SWATY (Словения), гарантируя увеличение производительности в 2-3 раза, улучшение условий работы, снижение расходов на инструмент, срез без «свала» и прижогов и т.д. Получаем отказ, так как предприятие работает через тендер, а наша цена (допустим «А») в 2 раза больше цены лужских кругов (А/2). Но заводчане соглашаются испытать наши круги. Результаты нас обескураживают: круги фирмы SWATY отработали хуже, чем «лужские», хотя

сравнительные испытания, ранее проведенные нами, показали, что круги SWATY имеют стойкость в 3 раза более высокую. Начинаем разбираться. Оказывается, участок оснащен старым станком, работающим на скорости до 60 м/с неармированными (вулканитовыми) кругами. Картина становится ясной: малопрочные “лужские” круги что-то срезают на скорости 60 м/с (хотя тестируются на 80 м/с). Большой расход кругов устраивает снабженцев, а современные высокопрочные армированные круги, которые изготавливаются и работают на скорости 100 м/с, на скорости 60 м/с просто «засаливаются», вызывая вибрации, и перестают работать. Еще больше мы удивились, когда завод не захотел провести простейшую модернизацию станков – заменить 1 шкив и переделать ограждение. Стало очевидным, что конечная модернизация станков, которая окупается через месяц, не выгодна кому-то из отдела снабжения или руководства, т. к. вместо 500 кругов будут закупаться 200 кругов у фирмы, «которую мы не знаем». И прикрывается все это «тендерными условиями организации закупки инструментов».

Абсурдность ситуации не в самой идее тендеров, а в извращенно-отредактированном варианте механизмов ее реализации, когда во главе тендерных комиссий и комитетов стоят юристы, экономисты, снабженцы, но не технологи или технические руководители.

Очевидно, что здравый смысл победит и техническим руководителям предоставят право определять, какой инструмент и оборудование покупать для производства, а также принимать решения по модернизации устаревших технологических процессов.

В общем случае, под технологическим сопровождением продаж мы понимаем и выполняем следующее:

- общие консультации по подбору и применению инструментов и материалов на конечные операции техпроцессов (шлифование, полирование, доводка);
- консультации по новинкам на инструментальном рынке, организации стендов и выставок инструмента;
- проведение сравнительных испытаний прогрессивного инструмента на оборудовании предприятий-заказчиков;
- рекомендации по построению технологических процессов для конечных операций, а в некоторых случаях – проектирование техпроцессов по ТУ заказчиков на договорной основе;
- рекомендации по закупке оборудования и приспособлений для конечных операций в машиностроении;
- консультации о новых инструментах на обдирочные операции в металлургическом и заготовительном производстве;
- бесплатные консультации по всему комплексу технологических вопросов для предприятий и фирм, работающих с нашей фирмой на договорной основе по поставкам инструментов. Для таких клиентов, в случае возникновения вопросов по лезвийной обработке или техпроцессам, мы приглашаем специалистов с дружественных фирм и предприятий. Другими словами – стремимся не просто продать инструмент, но и

объяснить особенности его применения.

К сожалению, в наших ВУЗах не готовят специалистов-технологов по конечным операциям, поэтому очень трудно подобрать и обучить, допустим, менеджера по продажам, но, с другой стороны, очевидна позитивность нашей работы по технологическому сопровождению продаж. Всех, кого заинтересовал проект коммерческо-технологического центра или возникает желание обменяться информацией по затронутым проблемам, предлагаем наши контактные телефоны: 050-301-28-64; 050-301-61-20 и e-mail: [info@sim.kh.ua](mailto:info@sim.kh.ua)

**УДК 621.923**

## **ЛОГИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**Шаровченко А.И.**, директор, **Горшков Ю.Б.**, канд. техн. наук, учредитель  
(ООО «Шлиф», г. Харьков)

*Authors present the variant of classification of polishing processes and basic technological principles of planning of operations of polishing*

Полирование [1], как отделочную, заключительную операцию технологических процессов изготовления различных деталей можно разделить на несколько видов по назначению:

- необходимое и достаточное по ТУ,  $Ra \leq 0,2:0,02$  мкм;
- зеркально-глянцевое,  $Ra \leq 0,1:0,032$  (0,00) мкм;
- матировочное;
- предгальваническое;
- постгальваническое;
- декоративное (с различной шероховатостью и светоотражением по полированным и матированным участкам).

В данной работе остановимся на технологии популярных ныне вариантов отделочных операций – на ленточном и виброабразивном полировании. Если вернуться к вышеприведенной классификации, то речь пойдет о первом виде – наиболее широко распространенном в машиностроение и других отраслях. Почему выбраны эти виды полирования? За прошедшие 10-15 лет образовалось множество частных предприятий, занимающихся сантехническими изделиями из нержавеющей труб, эксклюзивными изделиями из нержавеющей труб (перила, решетки ограждений, декоративные камины, барбекю, ландшафтные украшения) и «кенгурятниками» и элементами тюнинга машин, оборудованием баров, ресторанов, гостиниц и т.д. Все детали и изделия, в основе которых в качестве заготовок лежат нержавеющей трубы и лист, мы бы объединили в одну группу. Другая огромная группа деталей – это штампованные и литые, точеные и фрезерованные, детали криволинейные, относительно малых размеров из самых различных материалов. Это, например, мебельная фурнитура и сантехническая арматура, мелкая посуда, детали автомобилей, ручные

инструменты, детали подшипников, двигателей, туристического и спортивного снаряжения, громадное количество мелких декоративных и эргономических деталей машин, самолетов, судов, станков и т. д.

Итак, для первой группы, где базовыми основными деталями являются нержавеющей трубы и листы, мы предлагаем из всех видов полирования, подходящих для работы по этой группе (эластичные круги, войлок+пасты, лепестковые круги и т.д.), именно ленточное полирование в современном исполнении. Нержавеющие трубы (неполированные заготовки) можно начинать готовить к полировке лентами из нормального электрокорунда зернистости P80 – P120, последовательно понижая шероховатости через 2 класса. То есть, если нам необходимо получить полированную поверхность (на полотенцесушителе, например)  $Ra=0,8 \div 1,0$  мкм, мы должны сделать следующий выбор лент по зернистости: P80–P120; P240–P280; P500–P600; P1000.

Применение в качестве материала для лент усиленного объемного нетканого полотна, пропитанного абразивными микропорошками и активаторами («скотч-брайт») сократит число переходов минимум на один, увеличит производительность обработки, улучшит качество поверхности. Кроме того, в современных технологических процессах на конечном переходе используют безабразивные ленты из объемного нетканого полотна, пропитанные поверхностно-активными жидкостями, антиоксидантами и т.д., которые придают полируемым деталям дополнительный блеск за кратчайшее время.

Виброабразивная обработка мелких деталей сложной конфигурации находит все более широкое применение благодаря своей простоте, ценовой доступности, высокой производительности, возможности автоматизации отдельных операций и линий в целом. Различные виды виброабразивной обработки описаны в трудах ВНИИМАШ и в особенности в трудах С.П. Киселева [2]. Сегодня все шире используется технология шлифования и полирования сложных штампованных, литых и сварных деталей в вибробарабанах с вертикальной осью и дополнительным вращением вокруг этой оси. Технологические процессы строятся в зависимости от технических условий (ТУ) на обрабатываемые детали. Мы рассмотрим принципы построения технологических процессов «мокрого» шлифования и полирования деталей сложной формы в вибробарабанах, так как это более прогрессивное направление. Добавляя в объем полируемых деталей и полирующих тел суспензию, специально подбираемую под материал деталей и полирующих тел, мы ускоряем процесс, надежно улучшаем качество поверхности по шероховатости и светоотражению, ликвидируем проблему запыленности.

Для организации технологического процесса полирования определенных (сформированных по материалу и весу) групп деталей необходимо действовать в следующей последовательности:

1. Проанализировать номенклатуру деталей и сгруппировать по материалам и (примерно) по весу.
2. Располагая характеристиками вибробарабанов сделать расчет загрузки объема барабана, то есть определить объемное соотношение детали-абразивные наполнители (галтовочные тела, полирующие шарики или другие наполнители).

Это соотношение может быть разным в зависимости от вида наполнителей, их веса, размеров и т.д., однако, рекомендуемые соотношения «детали-наполнители» находятся в пределах от 1:6 до 1:12.

3. Под данную группу деталей (по материалу) составляется рецепт суспензии, в состав которой должны входить вещества-активаторы для размягчения микронеровностей на деталях, антиоксиданты, элементы, придающие блеск полируемой поверхности. Количество суспензии определяется опытным путем: при подаче суспензии в работающий барабан детали и наполнители должны быть смочены, но жидкость не должна скапливаться на дне барабана или мешать процессу взаимодействия деталей и наполнителей.

4. Целесообразно чтобы детали, предназначенные для полирования в барабанах, поставлялись на первую операцию с шероховатостью не ниже  $Rz=20$  мкм. В этом случае можно рекомендовать для стальных деталей с радиусом не менее 10 мм галтовочные тела на основе белого электрокорунда 25А с размером зерен F150 – F220 в виде пирамидок 10x10 мм на керамической связке, в соотношении детали-галтовочные тела 1:8. Можно так же вместо галтовочных тел использовать стальные или фарфоровые шарики, а в суспензию вводить микропорошок, указанный выше. Такое построение технологического процесса в оптимально короткое время позволит снизить шероховатость на одном переходе в 3-4 раза и перейти к предварительному полированию. То есть, если на первом переходе мы имели детали с  $Ra=2,5 \div 5,0$  мкм, то должны получить шероховатость, начальную для второго перехода  $Ra=1,0 \div 1,25$  мкм.

5. Обработанные на первом переходе детали перегружаются во второй барабан, где в качестве наполнителей могут быть шарики фарфоровые или стальные с радиусами 5-8 мм в соотношении с деталями 1:10 и суспензией, содержащей более мелкий микропорошок 25А F320-F360. Результатом по окончанию второго перехода должна быть шероховатость  $Ra=0,08 \div 0,1$  мкм.

6. На третьем переходе для окончательного полирования в детали, в примерном соотношении 1:10–1:8, загружаются кубики или обрезки войлока, кожи, фетра или кукурузные кочерыжки, которые при работе смачиваются суспензией, содержащей микропорошок 25А F1000-F1200 и большей концентрацией в растворе антиоксидантов и веществ, придающих блеск, например, контакта Петрова или «Синтомида-10».

7. Сушка деталей после последнего перехода обычно производится загрузкой сухих опилок в соотношении 1:12–1:20.

Простейшая суспензия для стальных деталей: 1,5-2%-ный раствор 72% мыла на основе мягкой воды с добавлением мочевины абразивных порошков или микропорошков (для сталей, алюминиевых сплавов – это нормальный или белый электрокорунд, для латуни, бронзы – SIC).

Режимы вибрации подбираются на каждом переходе и изменяются при изменении соотношения «детали-наполнители». Режим подбирается до организации «кипящего слоя», в котором, собственно и происходит процесс полирования деталей. Для 3-х переходного случая, при неизменной амплитуде вибрации и уменьшением веса наполнителей от перехода к переходу, число оборотов двигателей на каждом из переходов будет выглядеть примерно так:

- 1) 1125–1150 об/мин;
- 2) 1500–1600 об/мин;
- 3) 1900–2200 об/мин.

Пример с тремя переходами до окончательного полирования – это пример оптимальный, позволяющий синхронизировать операции на уровне 3-4-х часов по длительности. Можно работать и в 2 перехода, но время обработки на каждом переходе увеличится на 1,0–1,5 часа.

Следует отметить, что проектирование операций различных материалов, в отличие от подробно описанных типовых технологических процессов обработки металлов и сплавов, есть процесс творческий, требующий от технолога знаний не только технологии, но и химии, физики, основ автоматизации [3, 4].

**Список литературы:** 1. Справочная книга по отделочным операциям в машиностроении / Под общей редакцией доцента И.Г. Космачева. – Л.: Лениздат, 1966. – 543 с. 2. Киселев С.П. Полирование металлов. “Библиотечка шлифовщика” / С.П. Киселев. – Л.: Машиностроение, 1967. – 118 с. 3. Масловский В.В. Справочник по доводочным работам / В.В. Масловский. – Харьков: Прапор, 1985. – 120 с. 4. Горшков Ю.Б. Практические вопросы полирования металлов и сплавов / Ю.Б. Горшков // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 109-112.

**УДК 621.923**

## **КОМПАНИЯ ООО «ТЕХНОВЕД»**

**Швед И.Г.**, директор, **Карпенко В.Н.**, зам. директора  
(Компания ООО «ТехноВЕД», г. Киев)

*Information over is brought about activity Company LTD. "ТехноВЕД", being the supplier of instrument on the markets of Ukraine and Russia*

Компания ООО «ТехноВЕД» является поставщиком инструмента на рынках Украины и России, являясь официальным дилером основных производителей инструмента на постсоветском пространстве и ведущих производителей за рубежом.

Главная задача промышленной политики на современном этапе – технологическая модернизация производства и повышения конкурентоспособности за счет изменения качества и количества состава применяемых средств производства.

Инструментальная компания «ТехноВЕД» создана для оказания услуг в сфере обеспечения и внедрения современного инструмента, оснастки и материалов на предприятиях машиностроения. Сильная сторона компании – это комплексный подход в работе с нашими клиентами, что позволяет максимально сократить время решения производственных задач.

Компанией ООО «ТехноВЕД» были установлены тесные партнерские

отношения с такими заводами-изготовителями:

- Полтавский алмазный завод (круги алмазные, заточные, шлифовальные);
- Запорожский и Харьковский инструментальные заводы (режущий инструмент);
- Винницкий и Лозовский инструментальные заводы (сверла, фрезы, центра вращательные, втулки и другое);
- Камышинский и Павловский заводы слесарного инструмента (ключи гаечные, накидные комбинированные, наборы ключей, наборы головок);
- Лужский и Белгородский абразивные заводы (круги абразивные, шлифшкурка).

В 2009-2010 годах компанией ООО «ТехноВЕД» были подписаны дистрибьюторские договора с такими компаниями:

- «NAREX» – известный чешский производитель резьбонарезного инструмента. К вниманию заказчиков NAREX-Zdanice предлагает метчики (ручные, машинные и гаечные), плашки для нарезания различных типов резьбы (С, М, P<sub>g</sub>, MF, W, UNF и UNC) которые для удобства потребителя выполнены как в стандартном правом, так и в левом вариантах.

- «BUCOVICE TOOLS» – является ведущим производителем резьбонарезного инструмента в Чешской Республике с многолетними традициями.

Основной задачей предприятия является производство плашек и метчиков. К традиционной номенклатуре постепенно добавилось производство воротков, ступенчатых сверл, конических шенкеров, отрезных дисков и многого другого.

- «GUHRING» – немецкая фирма основана в 1898 г. и на сегодняшний день является одним из крупнейших мировых производителей осевого режущего инструмента. Предприятие имеет четыре структурных подразделения:

- 1) производство инструмента;
- 2) производство твердого сплава;
- 3) сервисное обслуживание;
- 4) станки и оборудование.

- «SECO» – является лидером в разработке и поставке твердосплавных металлообрабатывающих инструментов и связанных с ними приспособлений для механической обработки, а также знаний в области лезвийной обработки и ее методов.

Ассортимент инструментов SECO насчитывает более 20000 изделий - все от шпинделя до режущей кромки, покрывая даже специальные операции.

Режущий инструмент шведской фирмы SECO является современным, качественным и высокоэффективным. В изготовлении режущего инструмента воплощены все новейшие технологии создания новых твердосплавных материалов для режущих вставок.

- «HENKEL» LOCTITE – крупная международная химическая компания, которая занимается производством промышленных клеящих веществ, уплотнителей и покрытий.

Отдельного внимания заслуживает ручное и автоматическое оборудование Loctite® для отверждения и нанесения клеящих веществ, а для

специфических процессов разработана отдельная линейка специального оборудования.

Можно выделить три основных направления Loctite (Локтайт):

- 1) технические клеящие вещества;
- 2) промышленные герметики и клеи;
- 3) обработка поверхностей.

Среди наших клиентов в Украине:

- ОАО "Крымский содовый завод" (г. Красноперекопск);
- ОАО «Ровноазот» (г. Ровно);
- ОАО "Центролит" (г. Сумы);
- ОАО «Гнединский газоперерабатывающий завод» (Черниговская обл., Варвинский р-н, пгг. Гнединцы);
- ОАО "Запорожтрансформатор" (г. Запорожье);
- ГП «Международный аэропорт «Борисполь» (г. Борисполь);
- ООО «Мотордеталь Конотоп» (г. Конотоп);
- ЗАТ «Оболонь» (г. Киев);
- ООО «ТНК-ВР Коммерс» (г. Киев);
- ГП «Пресса Украины» (г. Киев);
- ОАО "АК "Киевводоканал" (г. Киев);
- ПАО «Киевэнерго» (г. Киев).

Это партнерство позволяет нам не только оснащать новое оборудование прогрессивными материалами, оптимизировать технологические процессы, но и осуществлять проектирование и поставки нестандартных инструментов и оснастки по чертежам заказчика.

Наряду с постоянной подготовкой собственных сотрудников на базе профильной кафедры технического университета, компания «ТехноВЕД» организует научно-практические семинары и конференции для своих клиентов.

Благодаря опытной команде профессионалов наша компания предоставляет качественную услугу по комплексному обеспечению предприятий нужным инструментом.

Для того чтобы с нами было легко и приятно работать, мы гарантируем (обеспечиваем) своим клиентам:

- возможность оплаты с отсрочкой платежа;
- качественное и оперативное выполнение ваших заказов;
- предоставление консультаций по подбору инструмента;
- доставку продукции на склад Покупателя в максимально сжатые сроки;
- гибкую систему скидок и индивидуальный подход к каждому заказчику.

Надежность Инструментальной компании «ТехноВЕД», оперативность и профессиональный подход к решению задач любой сложности проявляется в доверии, которое оказывают нам крупнейшие заводы автомобильной, авиационной, железнодорожной и прочих отраслей промышленности (контактный телефон 044 404-90-49, e-mail: [www.tehnoved.com.ua](http://www.tehnoved.com.ua) ).

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОЦІНЦІ КОМПЛЕКСУ МАРКЕТИНГУ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Крамаренко С.Б., к.е.н,** керівник відділу маркетингу  
(ПНВП «Мікротех», м. Харків)

*The article discusses approaches to the assessment of marketing. Criteria for evaluation of selected sales of businesses subject to the dynamics of the industry price index and the use of production capacity. This gives the opportunity to choose the most appropriate marketing mix for the machine-building enterprises*

**Вступ.** Сучасні машинобудівні підприємства в умовах вступу України до СОТ зазнають нових викликів з зовнішнього та внутрішнього ринків. Для надання нових можливостей українським підприємствам у конкуруванні з провідними світовими компаніями пропонується використовувати комплекс маркетингу, адаптований до кожної окремої галузі. Однак при удосконаленні комплексу маркетингу необхідно визначити критерій для оцінки який дасть можливість вибрати найбільш придатний комплекс.

**Постановка задачі.** Метою даної статті є вибір критерію оцінки комплексу маркетингу для машинобудівних підприємств.

**Методологія.** В цій роботі використані підходи сучасних вітчизняних та закордонних вчених до оцінки конкурентоспроможності та фінансово-економічних показників підприємств.

**Результати досліджень.** Для використання комплексу маркетингу на сучасних машинобудівних підприємствах необхідно враховувати особливості цих підприємств та галузі. Отже для коректного вибору структури комплексу маркетингу необхідно визначити критерій його оцінювання.

Розглянемо можливі варіанти визначення критерію оцінювання комплексу маркетингу машинобудівного підприємства:

- за конкурентоспроможністю [1-3];
- за економіко-фінансовими показниками роботи підприємства [4];
- за об'ємами продажу підприємства, скорегованим на динаміку ринку (показник підприємство зростає швидше за ринок, запропонований Гремом Хулеєм [5]).

Для обрання найбільш придатного критерію оцінювання удосконаленого комплексу маркетингу машинобудівного підприємства розглянемо переваги та недоліки кожного з цих підходів та за такими ознаками:

- легкість у розрахунку;
- доступність інформації;

- достовірність інформації , можливість перевірки;
- можливість проведення кількісного оцінювання;
- урахування динаміки розвитку галузі.

Розглянуті особливості критеріїв удосконаленого комплексу маркетингу для машинобудівних підприємств та проведене експертне оцінювання, засвідчили, що критерій «об'єм продажу скорегований на динаміку галузі» найбільше відповідає визначеним ознакам.

Однак слід зазначити, що «об'єм продажу скорегований на динаміку галузі» є показником успішності не тільки маркетингових інструментаріїв (комплексу маркетингу), а й усього підприємства. Маркетинг є підсумковою стадією ланцюжка матеріально-технічне постачання – виробництво – маркетинг, хоч і безпосередньо пов'язаним з кожним попереднім етапом.

Для відображення успішності маркетингової діяльності машинобудівних підприємств (використання маркетингового інструментарію) необхідно зняти вплив фактору зміни цін та ввести перевірку завантаження виробничих потужностей. Зняття фактору впливу цін дозволить побачити дійсну виробничу динаміку підприємства. Для цього необхідно провести перерахунок об'ємів продажу підприємства на індекси зміни цін відносно базового року.

Виробничі потужності є максимально можливим випуском продукції підприємством за визначений період. Ступінь використання виробничої потужності характеризується коефіцієнтом використання виробничої потужності, що дорівнює відношенню річного об'єму виробництва до середньорічних потужностей підприємства.

У разі коли коефіцієнт використання виробничої потужності менший за 50%, це свідчить про низькі завантаження підприємства, однак і про великий потенціал [6] (для більшості промислових підприємств України цей коефіцієнт менший за 50%) [6]. Значення коефіцієнту вищі за 85% свідчать про високе завантаження, але й про невеликі виробничі резерви [7]. Оптимальним вважається значення коефіцієнту на рівні 81,5% [7].

Щодо взаємодії маркетингу з виробництвом, можна визначити, що у разі коли коефіцієнт використання виробничих потужностей (КВП) є менший за 50%, то відділ маркетингу не здатен забезпечити завантаження виробництва, а коли він вищий за 85% - виробництво не в змозі надавати відділу маркетингу необхідну кількість продукції, що й відображається на об'ємах продажу.

Ґрунтуючись на вищезначеному, для корегування критерію комплексу маркетингу для машинобудівних підприємств введемо індекс виробничої поту-

жності (ІВП), що буде залежати від коефіцієнту використання виробничих потужностей (КВП) та розраховуватися наступним чином (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} KВП \leq 50\% \quad , \quad ІВП = \frac{КВП}{50\%} \\ 50\% < KВП < 85\% \quad , \quad ІВП = 1 \\ KВП \geq 85\% \quad , \quad ІВП = \frac{КВП}{85\%} \end{array} \right. , \quad (1)$$

Розрахунок критерію удосконаленого комплексу маркетингу для машинобудівних підприємств у заданий період часу (*n*-років) проводиться за алгоритмом, вказаним на рис.1:

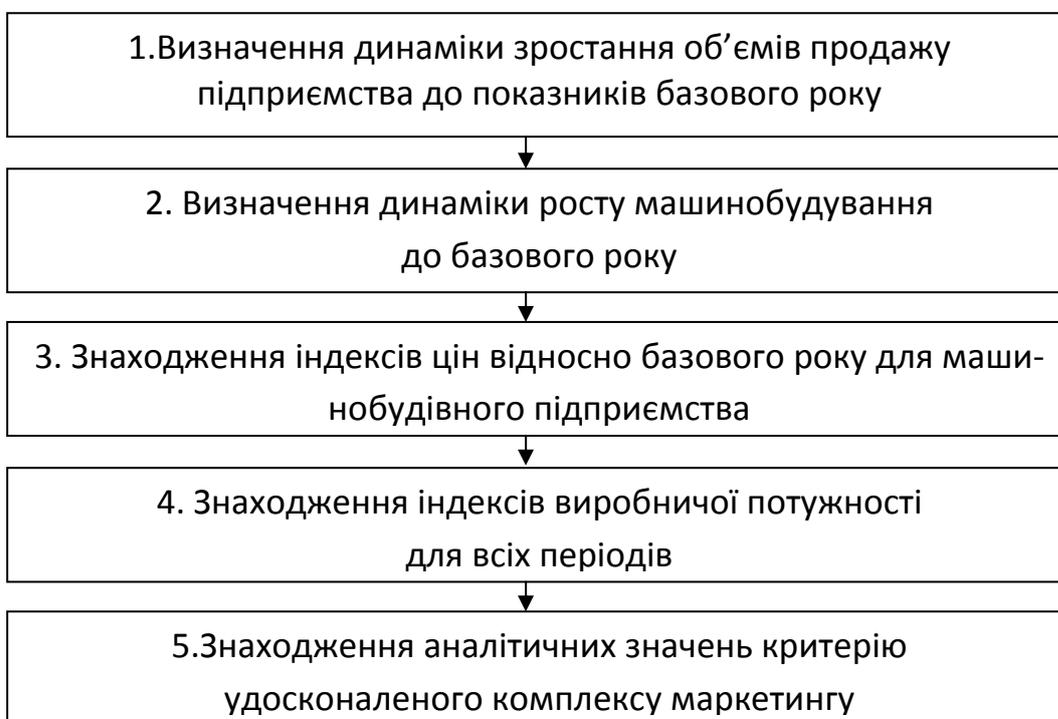


Рис.1. Алгоритм знаходження критерію удосконаленого комплексу маркетингу машинобудівних підприємств.

Для розрахунку критерію удосконалення комплексу маркетингу машинобудівного підприємства (*K*) необхідно мати у своєму розпорядженні такі статистичні дані:

- об'єм продажу підприємства за певний період;
- індекс росту галузі за той самий період часу;
- індекс цін підприємства відносно базового періоду часу;
- коефіцієнт використання виробничих потужностей для кожного періоду.

Тоді критерій удосконаленого комплексу маркетингу для машинобудівного підприємства ( $K$ ) на основі визначеного алгоритму (рис.1) розраховується за формулою (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \frac{ОПпр \times ІВП}{Дгал \times ІЦП} \\ KVП \leq 50\% \quad , \quad ІВП = \frac{KVП}{50\%} \\ 50\% < KVП < 85\% \quad , \quad ІВП = 1 \\ KVП \geq 85\% \quad , \quad ІВП = \frac{KVП}{85\%} \end{array} \right. \quad (2)$$

де:  $K$ - критерій удосконаленого комплексу маркетингу;  
 $ОПпр$ - об'єм продажу підприємства;  
 $Дгал$ - динаміка розвитку галузі;  
 $ІЦП$  – індекс цін підприємства;  
 $ІВП$  – індекс виробничої потужності;  
 $KВП$  – коефіцієнт використання виробничих потужностей.

**Висновок.** Запропонований критерій оцінювання комплексу маркетингу машинобудівного підприємства враховує об'єм продажу, динаміку галузі, індекс цін та використання виробничих потужностей на підприємстві.

Винайдений підхід дозволяє знайти аналітичні значення критерію та враховує крім маркетингового інструментарію ще й виробничі особливості машинобудівних підприємств. Цей критерій дає можливість отримати об'єктивні результати маркетингової діяльності підприємств.

**Список літератури:** 1. Максимов И. Оценка конкурентоспособности промышленного предприятия // Маркетинг. – 1996, № 3. – С. 33-39. 2. Фасхиев Х.А., Попова Е.В. Как измерить конкурентоспособность предприятия? // Маркетинг в России и за рубежом. – 2003, №4.– С. 15-18. 3.Ткачук Г.Ю. Дослідження методичних підходів оцінки конкурентоспроможності підприємства // Стратегічні питання світової науки, 2007: Тези доп. і повідомл., м. Дніпропетровськ, 2007. 4. Удалова Е.С. Теоретические подходы к оценке эффективности коммерческих коммуникаций // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – СПб.: Изд-во СПбГТУ. – 2006, № 6. – С. 14-19. 5. Хулей Гр., Сондерс Дж., Пирси Н. Маркетинговая стратегия и конкурентное позиционирование / Пер. с англ. – Дн.: Баланс Бизнес Букс, 2005. – 800 с. 6. Экономика предприятий: Учебник / Пер. с укр. 2-го перераб. и доп. изд. – К.: КНЭУ, 2002. 7. Гинзбург А.И. Экономический анализ. – СПб.: Питер, 2003. – 370с.

## HEXAGON METROLOGY – ВАШ ПРОВОДНИК В МИРЕ МЕТРОЛОГИИ

**Бочаров В.Б.**, дипл. инж., начальник отдела продаж  
(УА ООО Фирма «КОДА», г. Харьков)

*Hexagon Metrology is the world's biggest manufacturer and supplier of high accuracy metrological products. The companies of Hexagon Metrology Group produce the wide range the measuring equipment from classic manual measuring instruments to coordinate-measuring machines and measuring robots, from high-level software to build-in modules for complex metrological control*

Концерн Hexagon Metrology является крупнейшим мировым производителем и поставщиком высокоточной метрологической продукции. Предприятия, находящиеся в различных уголках мира и входящие в состав концерна, производят весь спектр измерительного оборудования: от ручного классического мерителя до координатно-измерительных машин и измерительных роботов, от передовых программных продуктов до встраиваемых в производственную линию модулей для комплексного метрологического контроля производимых деталей [1].

На рынке измерительного оборудования Hexagon Metrology представляет самую большую совокупность всемирно известных брендов, что выражается в богатстве ассортимента продукции, высочайшем качестве и технологическом уровне производства, а также широком спектре отраслей использования.

Существенную долю прибыли концерн вкладывает в развитие направления 3D-измерений. Это позволило создать фактически замкнутый цикл производства координатно-измерительных машин (КИМ), снизив тем самым зависимость от сторонних производителей комплектующих. В настоящий момент линейка КИМ HEXAGON включает все типы существующих машин, а цены на оборудование – на 40-50 % ниже, чем у конкурентов.

Основные производители, входящие в состав HEXAGON METROLOGY:

- **ДЕА, Италия** (компания основана в 1963 г., в составе Hexagon с 2001 г.) – родоначальник направления производства КИМ, производитель и патенто-держатель первой координатно-измерительной машины. Компания осуществляет производство основного сегмента КИМ Hexagon: от небольших порталных машин до мощных крупногабаритных мостовых систем для аэрокосмической и автомобильной промышленности:

### **1. КИМ порталного типа Global**

Серия многоцелевых координатно-измерительных машин для контроля размеров деталей.

Диапазоны измерения, мм: X = от 500 до 2000

Y = от 500 до 4000

Z = от 500 до 1800

Точность измерений, мкм: от 3,5;

Режимы тактильного измерения и сканирования.

Управление КИМ осуществляется системой ЧПУ, возможно управление в ручном режиме от джойстика с выносного пульта управления.



Важнейшими потребительскими качествами КИМ Global являются: высокая производительность и надежность, повышенная точность и неограниченная универсальность применения.

Для достижения перечисленных потребительских качеств, в конструкции КИМ Global применен ряд новейших конструкторских и технологических решений. Количество деталей и узлов в конструкции КИМ Global сокращено на 20% по сравнению с традиционными КИМ, что позволило еще более повысить надежность и сократить количество операций технического обслуживания.

Несущая траверса портала КИМ выполнена по запатентованной технологии TRICISION, которая является дальнейшим развитием технологии "наклонного портала" и позволяет существенно снизить центр тяжести подвижных частей при одновременном повышении их жесткости.

Как и все современные КИМ Hexagon, Global имеет металлоконструкцию, выполненную из легких алюминиевых сплавов. Двигатели привода КИМ вынесены за пределы базовой металлоконструкции, за счет этого тепло, выделяемое при работе двигателей, не оказывает влияния на точностные характеристики КИМ.

Привод от двигателя осуществляется через зубчатоременную передачу металлоармированным ремнем с эллиптическим профилем зуба. Такая передача сводит к минимуму вибрации при высоких скоростях измерения.

Перемещение подвижных частей производится на аэростатических опорах (пневмоподшипниках), что обеспечивает легкость перемещения КИМ и полностью исключает механический износ направляющих.

За счет подобных конструктивных решений, удалось достигнуть уникальных динамических качеств КИМ:

- максимальная скорость перемещения 52 м/мин;
- максимальное ускорение 4,3 м/с<sup>2</sup>.

Высокая точность измерения обеспечивается за счет ряда новых технических решений, использованных в конструкции КИМ:

- оптические линейки AURODUR с супервысокой разрешающей способностью (0,01 мкм), с рабочей поверхностью из золота;
- линейная компенсация температуры оптических линеек и детали;
- математическая компенсация геометрических погрешностей машины по 21 параметру.

Исключительная точность во всем:

- жесткая алюминиевая конструкция;

- особая конструкция балки TRICISION позволяет получить хорошее соотношение между жесткостью и весом с большим преимуществом в точности и устойчивости;
- тяжелый, надежный гранитный стол защищает от воздействий вибрации;
- монолитная конструкция стола: запатентованные направляющие в форме ласточкиного хвоста выполнены непосредственно в гранитной плоскости, что улучшает точность и повторяемость измерений;
- система поглощения вибраций на оси Z обеспечивает хорошую стабильность, несмотря на высокую динамичность во время работы;
- вынесенные электродвигатели приводов снижают вес перемещаемых частей, обеспечивая быструю настройку, и способствуют рассеиванию тепла;

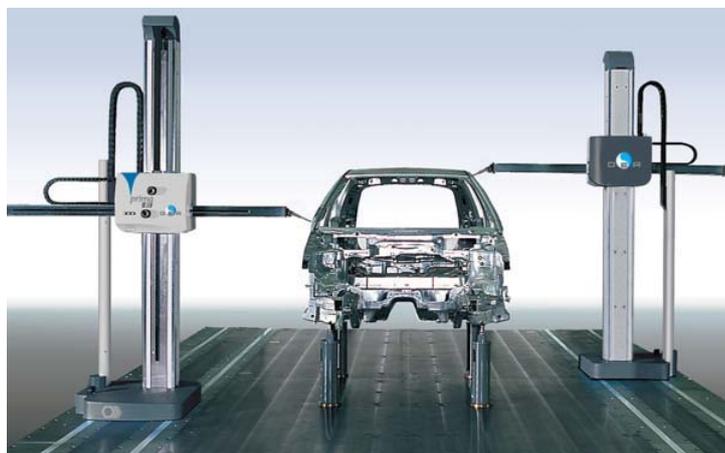


- оптические линейки высокой разрешающей способности AutoDur имеют сертифицированный коэффициент теплового расширения;
- запатентованная конструкция противовеса шпинделя улучшает выполнение измерений;
- малая занимаемая площадь и небольшая высота позволяет размещать систему в небольшом пространстве;
- рабочая плоскость, на одном уровне с направляющими, облегчает доступ к рабочему столу со всех сторон.

## 2. КИМ мостового типа

Мостовая компоновка КИМ является идеальным решением для инспекционных и измерительных задач в работе с крупногабаритными деталями в таких отраслях производства как тяжелое и транспортное машиностроение, аэрокосмическая промышленность. Диапазоны размеров рабочей зоны машин данного типа ( $X \times Y \times Z$ , мм) от  $2000 \times 3300 \times 1000$  до  $4000 \times 10000 \times 3000$ .

Достоинствами данного оборудования является простота установки и



наладки, интеграция с внутрипроизводственными транспортными системами, простота в работе и обслуживании, наряду с высокой точностью, соответствующей мировым стандартам.

## 3. Стоечные (консольные) КИМ

КИМ данного типа применяются для осуществления размерного инспектирования средне- и крупногабаритных изделий из листового металла, ку-

зовов автомобилей. Диапазон размеров рабочей зоны машин данного типа (X×Y×Z, мм) от 2000×1200×1600 до 12375×3381×3000.

Возможность интеграции измерительной системы в существующие производственные линии позволяет оптимизировать время технологического процесса. Высокая производительность и точность измерений, регулируемые размеры рабочей зоны – вот только некоторые качества, присущие уникальным машинам данной серии.

Большой опыт инженеров фирмы DEA и практические результаты эксплуатации КИМ ведущими производственными предприятиями мира полностью учтены в серии горизонтальных КИМ DEA, с помощью которых контролировалось и будет контролироваться качество миллионов изделий и их компонентов.

- **ROMER, Франция** (компания основана в 1986 г., в составе Hexagon с 2004 г.) – изобретатели портативной КИМ типа «рука».

**Серия КИМ Romer Absolute Arm** - портативные координатно-измерительные машины, позволяющие максимально просто и в кратчайшие сроки проводить контроль геометрических размеров корпусных деталей и модульных конструкций прямо на месте обработки детали. Измерительная рука имеет жесткую и термостабильную конструкцию, а датчики положения не требуют инициализации и настройки перед началом работы.

Новый дизайн направлен на снижение веса и повышение эргономичности. Рукоятка облегчает установку и перемещение оборудования. Диапазоны измерений, мм: от 1500 до 4500.



- **TESA, Швейцария** (компания основана в 1941 г., в составе Hexagon с 2001 г.) – всемирноизвестный производитель мерительного инструмента премиум-класса.

На сегодняшний момент ассортимент компания включает более 5 000 измерительных устройств, от высокоточных ручных инструментов до сложных измерительных систем. Перечень выпускаемого оборудования также включает координатно-измерительные машины базового уровня, а также поворотные головки

и датчики для большинства КИМ Hexagon.

Более полную информацию о продукции концерна Hexagon Metrology вы сможете получить, обратившись к специалистам УА ООО Фирмы «КОДА» по многоканальному телефону (057) 714 26 54 или посетив наш сайт [www.koda.ua](http://www.koda.ua)

**Список литературы:** 1. Бочаров В.Б. Измерительные системы RENISHAW для калибровки и диагностики производственного оборудования // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 139-141. 2. Бочаров В.Б. Координатно-измерительные машины серии TESA MIKRO-NITE 3D (Hexagon Metrology TESA, Швейцария) / В.Б. Бочаров // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 142-143.

**УДК 621.923**

## **ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХОБРАБОТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ**

**Манжар В.А.**, главный технолог  
(ОАО «Алмазинструмент», г. Львов)

*Use diamond, cbn or hbn for finite treatment not only improve surface finishing but also affects mechanical properties and working abilities of the parts.*

*We investigated wear resistance of quenched steel 35XГСА (HRC 48) after diamond grinding (AC4 100/80 with bonds B2-03, B1-01), hbn grinding (ГА 100/80 with bonds B2-01 and B1-09), cbn grinding (ЛО 100/80 with bond B2-01) and conventional aluminium-oxide abrasive 24A16СМ1К7Б. The highest wear resistance of steel (35XГСА) samples against cast iron was achieved after diamond wheels (B2-03 bond) grinding*

Использование алмазов, кубонита и гексанита на финишных этапах обработки деталей не только улучшает чистоту поверхности, но и заметно влияет на их механические и эксплуатационные характеристики [ 1 ].

Нами исследована износостойкость закаленной стали 35XГСА (HRC 48) после шлифования кругами из алмазов AC4 100/80 на связках B2-03, B1-01; гексанита ГА 100/80 на связках B2-01 и B1-09; эльбора ЛО 100/80 на связке B2-01, а также инструментом из электрокорунда 24A16СМ1К7Б [ 2 ].

Наиболее высокая износостойкость отмечена у образцов из стали 35XГСА в контакте с чугуном вкладышем СЧ18-36 после шлифования алмазными кругами на связке B2-03.

**Список литературы:** 1.Шульман П.А., Созин Ю.И. и др. Качество поверхности, обработанной алмазами. – К.: Техника, 1972. – 148 с. 2. Манжар В.А. Усталостная прочность и износостойкость стали после шлифования кругами из КНБ // Сверхтвердые материалы, 1984, №1. – С.47-49.

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ТОКАРНЫЙ-ФРЕЗЕРНО-СВЕРЛИЛЬНЫЙ ЦЕНТР GOODWAY GMS-2600

Струцинский А.В., инженер, Ляховенко И.Н., инженер  
(ООО «Батекс», Киев)

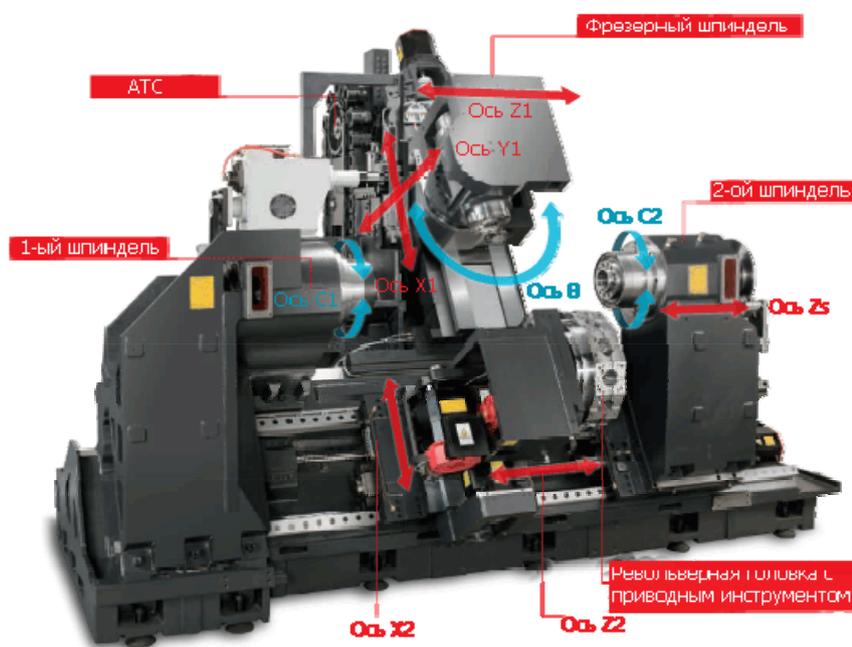
*Technical descriptions over of multifunction lathe-milling-drilling center GOODWAY GMS are brought – 2600*

Прекрасное соотношение цена/качество даёт возможность ежегодно реализовать порядка 1500 токарных станков с ЧПУ производства компании **GOODWAY** (Тайвань), как на самых требовательных рынках мира – японском и

германском – так и там, где цена, увы, является всё подавляющим критерием выбора. Более полутора десятков моделей станков доступных в сотнях модификаций позволяют выбрать оптимальный вариант токарной и токарно-фрезерной обработки деталей разных размеров и категорий сложности для единичного, серийного и крупносерийного производства.

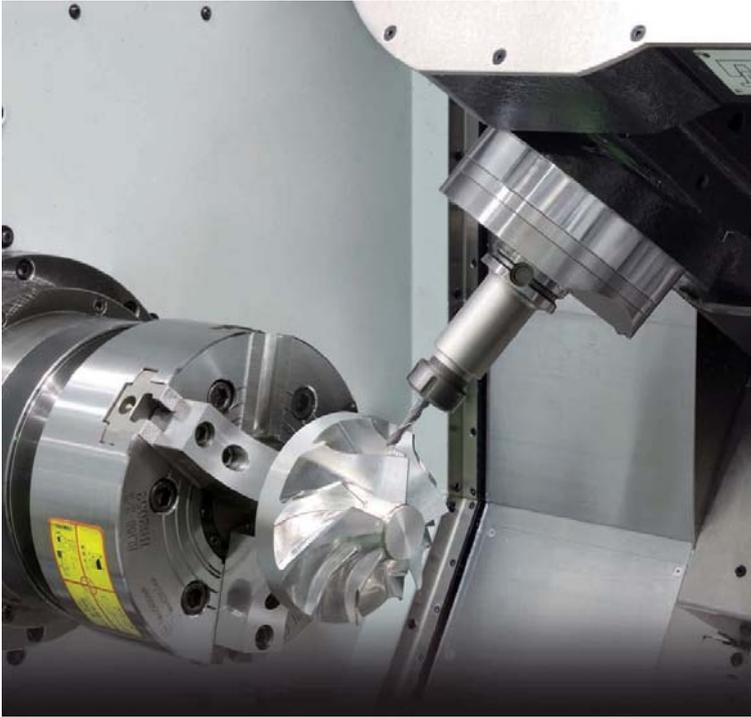


Токарный-фрезерно-сверлильный станок **GMS-2600** позволяет использо-



вать до пяти одновременно управляемых осей при обработке одной детали и до девяти осей при одновременной обработке двух деталей, закреплённых в двух оппозитно установленных шпинделях. Необходимо отметить, что модульный принцип построения станка позволяет собрать комплект, максимально учитывающий требования потребителя к технологии обработки деталей.

Мощный (до 22 кВт, 12000об/мин) поворотный



(ось В) фрезерный шпиндель позволяет значительно повысить производительность при фрезерно-сверлильных операциях по сравнению со станками, оснащёнными приводным инструментом в револьвере. Автоматический сменщик инструмента (до 40 позиций токарного и фрезерного инструмента) в сочетании с револьверной головкой (12 позиций) позволяет осуществлять обработку деталей с большим количеством технологических переходов.

Токарные шпиндель и противошпindelь встроенного типа оснащены роликовыми

подшипниками. Это существенно увеличило жёсткость конструкции по сравнению с вариантом на шарикоподшипниках. Отсутствие ременной передачи позволяет уменьшить потери на трение, повысить надёжность работы приводов шпинделей. Использование датчика угла поворота повышенной дискретности уменьшает погрешность отсчёта по углу поворота шпинделя.

Преимущества данных токарных станков заключаются в следующем:

- сокращение перемещений заготовок по цехам за счёт интеграции технологических процессов при обработке на одном станке;
- сокращение длительности производственного цикла;
- повышение точности изготовленной детали, присущее технологии обработки «с одной установки»;
- возможность сокращения количества основного и вспомогательного персонала.



**Список литературы:** 1. Струцинский А.В. Вертикальные станки с Pick-Up-шпинделем производства EMAG (Германия) / А.В. Струцинский // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 149-152. 2. Пономарев П. AMADA MACHINE TOOLS – мехобработка с разрешением 50 нанометров / П. Пономарев, А.В. Струцинский // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 153-156.

## EMAG – СТАНКИ С ИЗМЕНЯЕМОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ

Струцинский А.В., инженер, Ляховенко И.Н., инженер  
(ООО «Батекс», Киев)

*Technical description of machine-tools is Given with changeable configuration of EMAG*

Три различные модели – VL5i, VSC 250 и VLC 250 в производственной линейке EMAG (Германия) выполнены на единой платформе 250. Эти модели позволяют в зависимости от требований конкретного производства использовать необходимый минимум стандартных модулей для решения актуальных задач, сосредоточившись при этом на многофункциональной обработке или гибкости, но в любом случае главным критерием остаётся максимальная эффективность станков в соответствии с поставленными целями.



На рис. 1 показаны основные особенности станков платформы 250. Вертикальный токарный шпиндель при перемещении детали по осям X и Z производит её транспортировку и обработку. Замкнутая конструкция, образованная подвижным суппортом шпинделя и станиной, обеспечивает высокую жёсткость станка. Станина и суппорт из синтетического гранита MINERALIT в восемь раз эффективнее гасит колебания, чем аналогичная конструкция из чугуна. В результате уменьшается амплитуда вибраций в системе СПИД и существенно (до 30%) возрастает стойкость инструмента. Револьвер настолько жёстко сопрягается со станиной, что мощность 8,5 кВт на приводе вращающегося инструмента не создает никаких проблем.

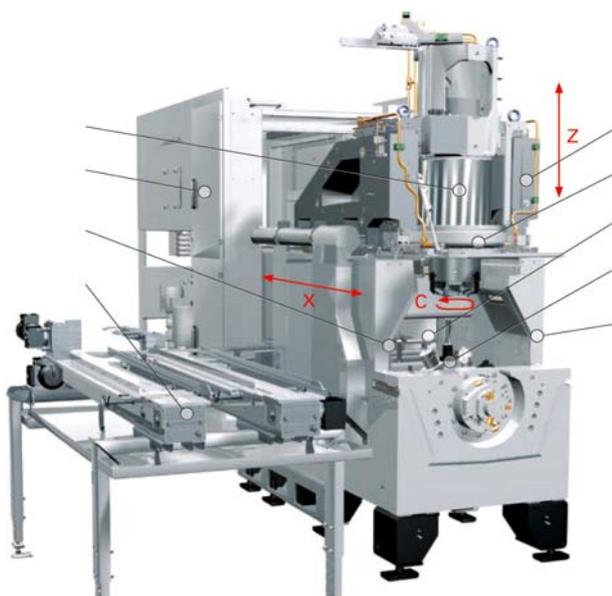


Рис. 1. Конструкция VSC 250.

Рабочая зона VLC 250 поз-



Рис. 2. Рабочая зона VLC 250.

воляет установить до трёх инструментальных обрабатывающих модулей, что обеспечивает высокую универсальность станка при многофункциональной обработке. В зависимости от технологических задач VLC 250 может быть оснащён модулями для токарной, фрезерной, сверлильной, шлифовальной обработки, либо многофункциональными модулями с устройством смены инструмента. В варианте оснащения на Рис 2 используется мощный автономный фрезерный мотор-шпиндель с устройством смены инструмента на 48

позиций. При необходимости изменения конфигурации станка, монтаж дополнительных модулей может производиться прямо у потребителя.

В станках EMAG серий VL, VSC, VLC возможна установка системы измерения размеров деталей (рис. 3). По пути из зоны обработки в зону загрузки и выгрузки, в месте, защищённом от попадания стружки и СОЖ, устанавливается измерительный шуп. При измерении размеров используются показания датчиков станка по осям X, Y, C. Использование оптических линеек по осям X, Y позволяет получить погрешность измерения на уровне координатно-измерительной машины. При измерении деталь находится в том же зажимном приспособлении, что и при обработке.

Все станки платформы 250 оснащены круговыми или линейными транспортёрами для автоматической загрузки заготовок и выгрузки обработанных

деталей. Варианты такой автоматизации позволяют использовать как отдельно стоящий станок, так 2-3 станка в линию (VLC 250), при практически нулевом зазоре между боковыми стенками соседних станков.

У всех станков токарный шпиндель, расположенный вертикально, при помощи автоматического патрона сам захватывает заготовку с транспортёра и возвращает обратно обработанную деталь.

Схематично процесс обработки детали можно разбить на три этапа (рис. 4, рис. 5, рис. 6).



Рис. 3. Система измерения размеров деталей.

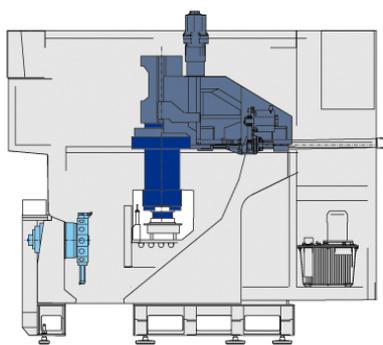


Рис. 4. Позиция «Pick-Up»-загрузки: токарный шпиндель автоматически забирает заготовки и выкладывает обработанные детали.

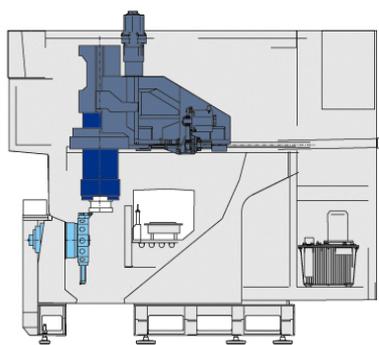


Рис.5. Позиция обработки: токарная обработка, сверление, фрезерование.

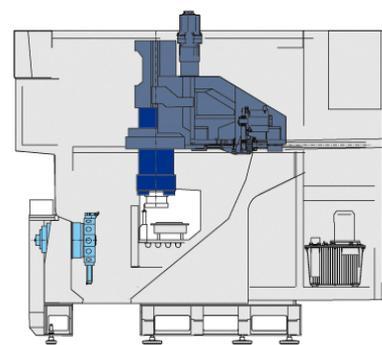


Рис. 6. Позиция измерения: контроль размеров деталей, зажатых в патроне.



Рис. 7. Ориентация деталей в рамках транспортёра при помощи приспособлений.

Если суммировать вышеизложенное – широкий набор стандартизованных технологических модулей позволяет максимально адаптировать исполнение заказанного оборудования под задачи клиента:

- **VL5i** – вариант исполнения, предназначенный для небольших предприятий, используется преимущественно при токарной обработке различных партий деталей;

- **VSC 250** – более универсальное исполнение, допускающее применение количества модулей большего, чем VL5i;

- **VLC 250** – универсальная производственная система с возможностью интегрировать в одной единице оборудования различные технологии обработки деталей.





**Список литературы:** 1. Струцинский А.В. Вертикальные станки с Pick-Ur-шпинделем производства EMAG (Германия) / А.В. Струцинский // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 149-152. 2. Пономарев П. AMADA MACHINA TOOLS – мехобработка с разрешением 50 нанометров / П. Пономарев, А.В. Струцинский // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2010. – С. 153-156.

**УДК 681.3.06**

## **КОМБИНИРОВАННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ОТКРЫТЫХ КЛЮЧЕЙ, КАК СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Макутонина Л.В.**, магистр

(Харьковский национальный университет радиоэлектроники)

*Suggests criteria for comparing the combined infrastructures. Provides a comparative analysis of five hybrid schemes, is proposed to use these schemes as a key material generation systems and data encryption at production*

Построение и развертывание инфраструктуры открытых ключей (ИОК) в Украине сопровождается ряд проблем. Так, основной проблемой систем на идентификаторах (Identity Based Encryption – ИВЕ) является необходимость доверия к органу генерации ключей (УГК), а основным недостатком традиционной ИОК (Public Key Infrastructure – РКИ) является сложность, высокая стоимость поддержки и использования сертификатов.

Перспективным направлением развития ИОК является объединение РКИ и ИВЕ, что позволяет создать новую схему, которая сохранит преимущества обеих систем. Это объединение позволит обеспечить защищенный обмен сообщениями между пользователями, как с помощью сертификатов открытых ключей, так и без них.

Практическое внедрение этих альтернативных систем в Украине предусматривает решение следующих задач:

1. Разработка критериев сравнения систем.

2. Разработка показателей оценки устойчивости и сложности протоколов, лежащих в их основе.

3. Разработка методических рекомендаций по интеграции рассмотренных схем в существующую ИВК Украины.

Предложим безусловные и условные критерии для комбинированных систем. Сначала сформулируем безусловные критерии для оценки комбинированной инфраструктуры открытых ключей:

1. Должна быть реализована модель взаимного недоверия и взаимной защиты.

2. Для защиты информации по открытым каналам связи должны использоваться криптографические примитивы со сложностью раскрытия не менее экспоненциальной (а для внутренних сетей - не менее субэкспоненциальной).

3. Защищенность протокола выработки ключа, лежащего в основе комбинированной ИОК от аналитических атак.

4. Высокая степень доверия пользователей традиционной ИОК к уполномоченному на генерацию ключей (УГК).

Предлагаются следующие условные критерии:

1. Уровень доверия к ИОК [1].

2. Необходимость использования сертификатов открытых ключей.

3. Порядок генерации открытого ключа.

4. Порядок генерации секретного ключа.

5. Необходимость взаимодействия между пользователями в реальном времени.

6. Необходимость взаимодействия с сервером в реальном времени.

7. Количество проходов \ взаимодействий между пользователями и сервером.

8. Наличие аутентификации открытого ключа.

По предложенным условным критериям был проведен сравнительный анализ пяти гибридных схем [1-5], результаты которого были сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ комбинированных систем

Критерий	Схема				
	Girault	Gentry	Al-Riyami, Peterson	J. Callas	Voltage
1	2	3	3	1	1
2	-	+	-	-	+/-
3	УГК	УГК	пользователь	УГК	УГК
4	пользователь	отправитель получатель	вместе с УГК	УГК	УГК / поль- зователь
5	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	+
7	5	5	3	1	7
8	отправитель	+	-	-	+

В дальнейшем, после реализации и внедрения выбранной схемы, можно выдвинуть следующие критерии:

1. Критерий проверки инфраструктуры временем (общепризнанность, нахождение слабых мест, приемлемость конечными пользователями и т. п.).
2. Критерий пригодности к применению.
3. Открытость и прозрачность архитектуры (например, наличие контроля за действиями УГК и пользователей).
4. Поддержка обучения пользователей и персонала.
5. Независимость и профессионализм УГК.
6. Поддержка масштабируемости архитектуры.
7. Надежность базового алгоритма.
8. Защищенность алгоритма против всех известных атак.
9. Надежность операционной работы УГК.
10. Наличие центров технической поддержки.
11. Основной и вспомогательный функционал (возможности системы).
12. Технические показатели:
  - a. тип реализации;
  - b. поддержка различных ОС;
  - c. тип поддерживаемой базы ключей.
13. Скоростные показатели:
  - a. вычисления параметров;
  - b. выработка ключевых данных;
  - c. алгоритмов шифрования.
14. Стоимостные показатели.

Предложенные критерии обеспечивают выбор инфраструктуры, которая будет безопасной с точки зрения криптографической стойкости, использовать стойкие криптографические примитивы, и будет реализовывать модель взаимного недоверия.

По приведенным критериям можно провести сравнение, и выбрать схему, которая будет наиболее подходить на конкретном производстве, для защиты электронных данных, циркулирующих на нем.

Таким образом, в работе предложены критерии для сравнения комбинированных инфраструктур и приведен сравнительный анализ пяти гибридных схем.

Предлагается использование данных схем в качестве систем выработки ключевого материала и шифрования данных на производстве.

**Список литературы:** 1. M. Girault: Self-Certified Public Keys. Eurocrypt 1991: 490-497  
3. S. Al-Riyami, K. Paterson. Certificateless public key cryptography. 2003. 2. C. Gentry. Certificate-based encryption and the certificate revocation problem. 2003. 3. K. Paterson. Cryptography from pairings: a snapshot of current research. 2002. 4. J. Callas Identity-Based Encryption with Conventional Public-Key Infrastructure. PGP Corporation Palo Alto, California, USA, 2005. 5. Voltage Security. Identity-Based Encryption and PKI Making Security Work. 2005.

## УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМОЗАЖИМА ИНСТРУМЕНТА: ОСОБЕННОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

**Никоноров А.С.**, канд. техн. наук  
(ООО “СЕКО ТУЛЗ УКРАИНА ЛТД”, г. Днепропетровск)

*Currently, Ukraine is increasingly using modern CNC machines, including high-speed and five-axis milling machines. These machines allow you to implement high-speed processing of metals and alloys due to the possibility of using high speed spindle machines. In these cases, when the so-called high-speed machining of metals, special attention should be paid to clamp the tool*

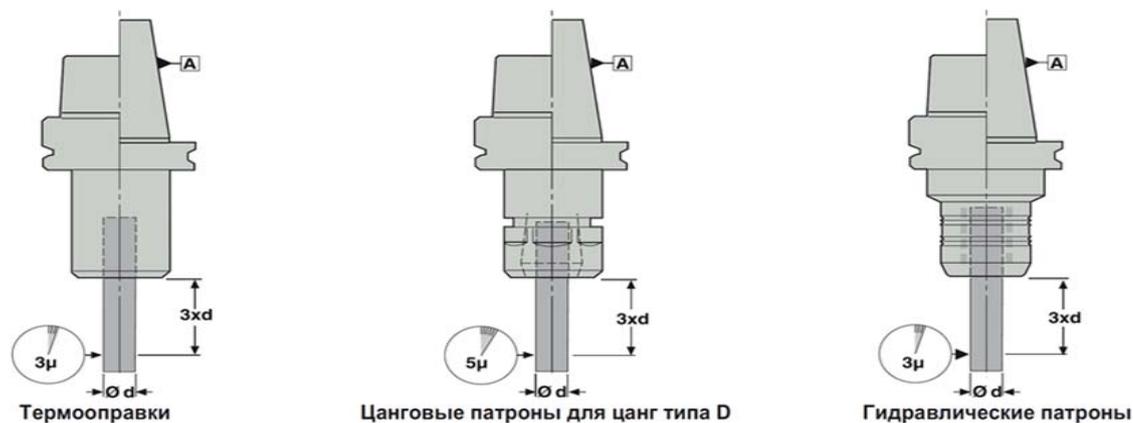
В настоящее время в Украине все больше используются современные станки с ЧПУ и в том числе и высокоскоростные пятиосевые фрезерные станки. Данные станки позволяют реализовать высокоскоростную обработку металлов и сплавов за счет возможности использования высоких скоростей вращения шпинделя станка. В этих случаях, при так называемой высокоскоростной обработке металлов (сокращено HSM), особое внимание следует уделять зажиму инструмента. Т.к. по законам физики центробежная сила пропорциональна частоте вращения в квадрате, поэтому при HSM малейший дисбаланс инструмента приводит к его быстрому износу, а возникающие биения ухудшают качество обработанной поверхности и отрицательно сказываются на работоспособности шпинделя станка.

В линейке продуктов Seco EPB представлены патроны для высокоскоростной обработки. Данная технология даёт значительное увеличение производительности и качества обработки, ее отличительная черта – высокая скорость резания при небольшой глубине резания в осевом и в радиальном направлении, небольшая средняя толщина стружки.

Три типа держателей (термооправки, цанговые патроны для цанг типа D, гидравлические патроны) соответствуют всем требованиям высокоскоростной обработки (рис. 1):

- Балансировка: HSM держатели все прецизионно отбалансированы как стандарт.
- Точность: Максимальное биение на вылете  $3 \times d$  от 3 до 5  $\mu\text{m}$  (рис.1).
- Жёсткость.
- Большой передаваемый крутящий момент.

Для термopatронов представлены индукционные приспособления "EasyShrink", а также устройство для регулирования вылета инструмента и охлаждающие устройства. Производственный опыт показывает, что, несмотря на сравнительно высокую стоимость, при частом использовании высокоскоростной обработки целесообразно приобрести установку для термозажима инструмента в оправке. Т.к. это обеспечит высокую жесткость крепления и малое биение инструмента, а также простоту использования.



Главные характеристики	Термооправки	Цанг. патр. для цанг типа D	Гидравлические патроны
Биение прецизионное	+++ (3 μм)	+++ (5 μм)	+++ (3 μм)
Стандартное качество балансировки	+++ (прецизионно отбалансирован)	+++ (прецизионно отбалансирован)	+++ (прецизионно отбалансирован)
Передаваемый момент	+++	++	+++
Макс. об/мин. передн. конца	до 45 000	до 100 000	до 40 000
Жёсткость	+++	++	+ (исключить радиальные нагрузки)
Доступность	+++	+	+
Дополнительное оборудование	Требуется устройство для термооправок	Требуются цанги и монтажный инструмент	Рекомендуются измерители зажима
Гибкость	+ (удлинители)	+++ (цанги)	++ (втулки)
Диаметр хвостовика и важные допуски - макс.	3, 4, & 5 мм: h5 - 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 32мм: h6 (h5 рекомендовано)	Цанги от 1 до 20 мм с шагом 0,5 мм: h8	3, 4 и 5 мм: с гильзами - 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25 и 32 мм: h6
Выпускающиеся типы	Типы 5803, 5801 и 5800	Типы 5872 и LIBRAFLEX® 5872	Тип 5834

+ = Хорошо, ++ = Очень хорошо, +++ = Превосходно

Рис. 1. Особенности держателей для HSM производства SECOTOOLS.

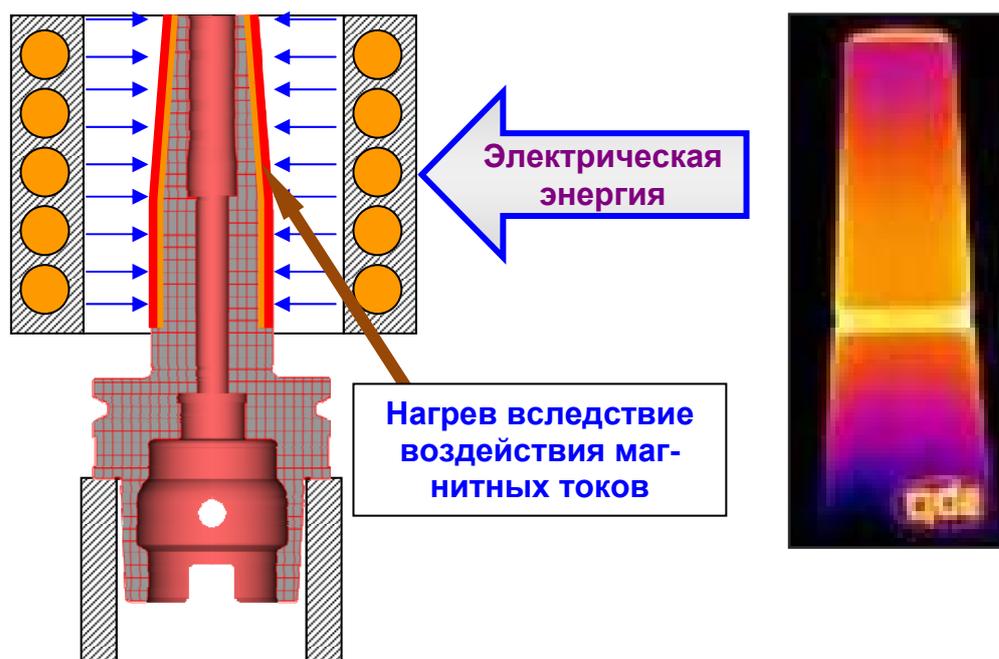


Рис. 2. Принцип работы термооправок.

Держатель - термооправка работает в сочетании со специальным устройством. Отверстие в термооправке в которое вставляется инструмент немного меньше по диаметру хвостовика инструмента. Принцип работы установки заключается в последовательном нагреве термооправки, затем установки в нее режущего инструмента с последующим совместным охлаждением оправки и инструмента. Нагревание держателя расширяет отверстие в термооправке, позволяя установить в него инструмент. По мере охлаждения держателя его материал сокращается вокруг хвостовика инструмента, обеспечивая концентричное и жёсткое соединение (посадка с натягом). Быстрый нагрев осуществляют за счет электромагнитной энергии, а охлаждения – воздух или охладительных устройств (рис. 2). Размер отверстия в термооправке – от Ø 3 мм до Ø 32 мм.

Компания SECO для термозажима предлагает установки серии EasyShrink: EasyShrink20 и EasyShrink15. Главное отличие данных установок в том, что EasyShrink20 имеет модульную конструкцию, а EasyShrink15 - нет.

### **Особенности конструкции установки EasyShrink20 (рис. 3):**

- Широкий диапазон модулей позволяет построить устройство для термооправок удовлетворяющее специальным требованиям потребителя.
- Автоматические циклы нагрева: Требуемый цикл нагрева автоматически рассчитывается с помощью системы идентификации держателя.



**Модульная конструкция,  
Легкость выбора, настройка под потребности клиента,  
Экономичность,  
Гибкость (возможность до оснащения).  
Автоматический цикл нагрева, контроль нагрева.  
Эргономичность,  
Простота настройки и использования.  
Большой срок службы оправок и устройства нагрева.**

Рис. 3. Особенности установки для термозажима EasyShrink® 20.

- Настройка вылета с помощью упорных стержней - Использование упорных стержней вместо упорных винтов исключает риск неточности установки, равно как вибрации и дисбаланс из-за винта.
- Нагревательный модуль с измерением высоты, использующийся в комбинации с упорными стержнями, даёт возможность прецизионной по высоте от базовой линии установки режущей кромки.
- Поворотная плита: Многопозиционный поддерживающий корпус с поворотной плитой исключает любые контакты с горячими держателями.
- Воздушное и водяное охлаждение - Охлаждение принудительным обдувом производится вентиляторами, устанавливаемыми во все поддерживающие корпуса, как стандарт. Охлаждение водой с помощью "колоколов" обеспечивает самое короткое время охлаждения (опция).

Как уже отмечалось, установка EasyShrink15 имеет одно-единственное исполнение и при этом минимальную фиксированную стоимость.

Вместе с термооправками поставляется полный диапазон тонких удлинителей термооправок с цилиндрическим хвостовиком (допуск h5), или конусом Морзе. Удлинители могут быть использованы для удлинения держателей, или закрепления инструментов малого диаметра от Ø3мм.

Термооправки SECO изготовлены из термостойкой стали, гарантирующей структурную, геометрическую и размерную стабильность после многократных циклов термозажима. Преимущества использования термооправок: простота эксплуатации; автоматическое центрирование инструмента; малое биение 1-3мкм.

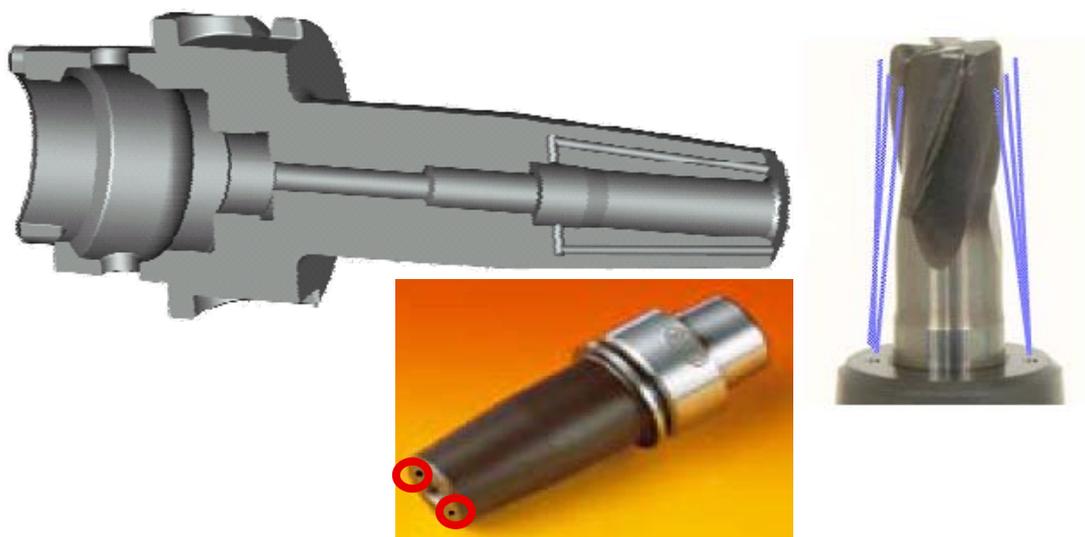


Рис. 4. Отверстия для подачи СОЖ в термооправках.

В стандартной программе выпускаемой продукции есть все необходимые типы хвостовиков инструментов. Хвостовики инструментов: цилиндрический DIN 1835-1 Форма А или DIN 6535 Форма НА. Допуск хвостовика для инструмента от Ø 3 до 5 мм максимум h5, хвостовик инструмента может быть твёрдосплавным или из металла высокой плотности (например, Дензимет). Для

Ø6...32 мм максимум h6, хвостовик инструмента может быть стальным, из быстрорежущей стали, твёрдосплавным или металла высокой плотности. Допуск h5 для Ø 6 до 32 мм обеспечивает более надёжный зажим.

Для термооправок компания Seco предлагает сделать отверстия для подачи СОЖ (рис. 4), т.к. это улучшает стружкоотвод, повышает качество обработанной поверхности и стойкость инструмента.

Таким образом, машиностроительные предприятия, выбирая сотрудничество со шведской фирмой Seco Tools AB, получают такие преимущества: повышение производительности и снижение стоимости производства изделий, улучшение качества производимой продукции, а также получает комплексное технологическое решение от одного поставщика.

Получить технические консультации и решения по экономичности установки для термозажима можно в представительстве компании в Украине.

УДК 621.91.002(75)

## СОВРЕМЕННЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ ЦИНКОВЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЙ DELTA-MKS® ДЛЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Новацкий С.А.**, главный инженер (ЧАО «Солди и Ко», г. Киев)

**Лыпка Ю.А.**, директор, **Грига Т.А.**, инженер  
(ХФ АО «Солди и Ко»-«Солди-Харьков»)

*Modern dispersible zinc anticorrosive systems of coverages of DELTA - MKS® for timber wares*

Все возрастающие требования к уровню долговечности и коррозионной стойкости машин и строительных конструкций, приводят к появлению более совершенных методов и технологий защиты поверхности от разрушающего воздействия окружающей среды и агрессивных эксплуатационных условий. Известно, что одним из наиболее эффективных и дешевых способов достижения этой цели является нанесение защитных покрытий. Исторически, в мировой практике сложилось так, что покрытия на основе цинка получили наибольшее распространение по причине оптимального соотношения стоимость/защитные свойства.



Цинк, обладая большим отрицательным (на 0,2–0,3 мВ) электродным потенциалом, чем железо (сталь), при воздействии агрессивных сред (электролит) медленно растворяется в процессе протекания электрохимических реакций приводящих к постоянному обновлению защитных пассивных плёнок, защищая, тем самым, основной материал крепежного изделия. Таким образом, цинковое покрытие осуществляет не только барьерную, но и катодную защиту. Сегодня в мире существует несколько видов технологий нанесения защитных цинковых покрытий. Наряду с давно зарекомендовавшей себя технологией гальваниче-

ского оцинкования, существуют и ряд других, таких как, горячее, термодиффузионное, механическое оцинкование. В этом докладе мы постараемся познакомить Вас с наиболее прогрессивной и эффективной технологией нанесения защитных дисперсных цинковых антикоррозионных покрытий Delta-MKS® на крепежные изделия резьбового типа.

Технология нанесения и сами покрытия разработаны фирмой Dörken MKS-Systeme GmbH & Co. KG. Покрытия Delta-MKS® относятся к типу неэлектролитических покрытий с использованием мелкодисперсного цинка и электропроводящего связующего. Цинк в данных покрытиях представлен в виде lamel (чешуек) толщиной в несколько десятых долей микрона, с шириной (длиной) составляющей 20÷30 мкм. Каждая антикоррозионная система покрытий Delta-MKS® состоит из базового слоя и дополнительного изолирующего слоя.

**Базовый слой** – это электропроводящая матрица неорганического происхождения, заполненная параллельно расположенными чешуйками цинка (рис. 1). Базовый слой, благодаря электропроводности и наличию дисперсного цинка, осуществляет катодную защиту материала крепежного изделия. И даже, при внешнем механическом повреждении покрытия, вначале подвергается коррозионному разрушению дисперсный цинк, и только потом начинает корродировать непосредственно материал крепежного элемента. Базовый слой обладает устойчивостью к органическим растворителям (при применении без дополнительного слоя). Имеет серебристо-серый цвет. Толщина базового слоя находится в диапазоне 5÷10 мкм.

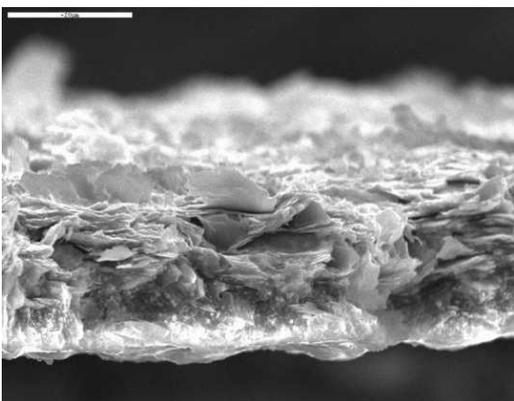


Рис.1. Вид базового слоя под микроскопом.

**Дополнительный защитный слой** – это покрытие на органической или неорганической основе, нанесенное на базовый слой Delta-MKS® или гальваническое цинковое покрытие. Этот дополнительный слой наряду с увеличением антикоррозионной защиты металлических крепежных изделий создает новые свойства покрытия – фрикционные, упруго-пластичные, тепловые, химически стойкие, механические, декоративные и др. Толщина дополнительного слоя может находиться в диапазоне 1÷10 мкм.

Определенное сочетание базовых и дополнительных слоев образует спектр высокоэффективных антикоррозионных систем покрытий Delta-MKS® для крепежных изделий. Таким образом, можно всегда подобрать покрытие или систему покрытий, которые максимально соответствуют эксплуатационным условиям и требованиям потребителя.

Преимущества покрытий Delta-MKS® говорят сами за себя. Рассмотрим их подробнее.

- ✚ Высокоэффективная катодная защита от коррозии. Данная защита реализуется за счет lamel дисперсного цинка обладающих большим отрицательным электрическим потенциалом, в сравнении со сталью, и электропроводящей основы.

- Исключены вредные вещества: хром (VI), никель, кадмий, свинец, молибден. В связи с постоянно повышающимися требованиями экологической и химической безопасности при производстве, нанесении и применении покрытий Delta-MKS® полностью исключены вредные вещества, указанные в техническом регламенте Евросоюза REACH (регистрация, испытание, экспертиза, ограничение) №1907/2006 и перечне опасных веществ Европейского Химического Агентства (ECHA). Несмотря на то, что законодательство REACH планируется ввести только на территории Европы, очень остро стоит вопрос о соответствии украинской промышленности международным стандартам и о конкурентоспособности отечественной продукции. Если предприятия откажутся или не смогут соблюдать нормы и правила REACH по всему циклу производственной цепочки, то доступ для украинского экспорта на рынки стран Евросоюза будет закрыт.



- Малая, по сравнению с горячим цинком, толщина слоя покрытия, что исключает необходимость специальной подготовки резьбовых частей сопрягаемых крепежных изделий, позволяет покрывать крепеж практически всех размеров.
- Не оказывает влияния на механические свойства покрываемых изделий из-за невысокой, по сравнению с горячим цинком (450-550°C), температуры обжига <250 °C.

- Исключает наводороживание (насыщение водородом) поверхностного слоя изделий из высокопрочных сталей. Использование гальванических покрытий для крепежных изделий высокой прочности сопряжено с риском возникновения хрупкого разрушения как результатом водородного насыщения, что является неизбежным сопутствующим эффектом гальванического процесса. Водород вызывает преждевременное хрупкое разрушение высокопрочных легированных сталей и изделий из них, и в первую очередь за счет снижения ударной вязкости (ГОСТ 9454-70). Для устранения этого отрицательного явления крепеж подвергают специальной термообработке (отжигу). Очень трудно подобрать оптимальный режим отжига из-за того, что высокопрочный крепеж изготавливают из различных марок сталей. Полную гарантию надежности высокопрочных крепежных изделий, вероятности хрупкого разрушения и одновременно коррозионную стойкость можно обеспечить, только используя метод, отличный от галь-



ванического метода нанесения защитных покрытий. Технология нанесения покрытий Delta-MKS<sup>®</sup> – это неэлектролитический процесс.

- ✚ Устойчивость к органическим растворителям, кислотам, щелочам. Базовые слои устойчивы к органическим растворителям, а также маслам, бензинам. Системы покрытий (базовый слой + дополнительный слой) устойчивы к кислотам, щелочам, чистящим средствам.

- ✚ Выдерживает от 6 до 10 циклов закручивания резьбового соединения на предельных моментах.

- ✚ Максимальная постоянная температура применения до 200 °С.

- ✚ Подходит для гибких и упругих элементов, таких как пружинные шайбы, шайбы Гровера, витые и тарельчатые пружины и т.д. за счет эластичности.

- ✚ Позволяет регулировать коэффициент трения в резьбовом соединении в пределах  $\mu=0,09-0,18$  за счет интегрированной

- ✚ в базовый или дополнительный слой твердой смазки. Это преимущество позволяет иметь наряду с высокоэффективной антикоррозионной защитой, стабильный коэффициент закручивания крепежных изделий, что очень важно для качественного монтажа ответственных металлоконструкций и других соединений.

- ✚ Возможность выбора цвета покрытия. Данное свойство реализуется с помощью дополнительных слоев. Имеется широкая гамма цветов. Возможно покрытие изделий из алюминия и сплавов, нержавеющей стали.

Нанесение покрытий производится на автоматизированных линиях.

Технология нанесения покрытий Delta-MKS<sup>®</sup> включает в себя четыре основных этапа:

**ПОДГОТОВКА.** Поэтапная промывка в водных растворах моющих средств с последующей дробеструйной обработкой для активации поверхностного слоя изделий.

**НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ.** Циклическое погружение изделий в раствор с последующим центрифугированием. Методом центрифугирования удаляются излишки раствора на изделиях.

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.** Предварительный подогрев до температуры 60÷80 °С. Выдержка покрытых изделий в проходной печи при температуре 180÷250 °С.

**ОХЛАЖДЕНИЕ.** Принудительное охлаждение, выгрузка.



Процессы нанесения можно повторять несколько раз до получения требуемой толщины покрытия.

Таблица

№	Наименование покрытия	Время до появления коррозии	Ориентировочный ресурс использования покрытий в условиях города, год
1	Гальванический цинк + хроматирование, 5 мкм	40÷45	2÷3
2	Гальванический цинк + хроматирование, 8 мкм	100÷120	3÷4
3	Горячий цинк, 40÷60 мкм	380÷400	10÷12
4	DELTA-ПРОТЕКТ KL100 (базовый слой), 5мкм	400÷450	10÷12
5	DELTA-ПРОТЕКТ KL100 (базовый слой), 5мкм + DELTA-SEAL (дополнительный слой), 1мкм	700÷750	20÷25

Но самым главным свойством любого покрытия является коррозионная стойкость. Оценивая коррозионную стойкость покрытия Delta-MKS® по методу воздействия нейтрального соляного тумана в специальных камерах (КСТ) в соответствии с требованиями ASTM (Американское общество по испытанию материалов) B117/DIN 59021 и анализируя значения по требованиям DIN 50961, получены сравнительные данные, приведенные в таблице. Как следует из таблицы, покрытия Delta-MKS® превосходят по коррозионной устойчивости все традиционные виды покрытий.

Технология нанесения и покрытия Delta-MKS® уже доступны в Украине.

**УДК 621.923**

**КОМПАНИЯ «АЛИСТА» ПРЕЗЕНТУЕТ: «SAFETY» –  
СПЕЦИАЛИСТ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕЦИЗИОННОГО  
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**Купа Л.В.**, руководитель отдела металлообрабатывающего инструмента  
(ООО “ТК “Алиста”, г. Днепропетровск)

*A company "Алиста" presents: "Safety" is a specialist in area of production of  
прецизионного metal-cutting instrument*



Начиная с 2010 года компания «Алиста» представляет в Украине бренд Safety. Сотрудники отдела металлообрабатывающего инструмента компании «Алиста» прошли курс обучения на заводе Safety во Франции, и в настоящий момент готовы оказать квалифицированную консультацию в вопросе подбора инструмента по вашему техническому заданию, проведут испытания на производстве и обеспечат систематические поставки инструмента Safety на ваш завод.

Компания Safety была создана в 1932 году во Франции в Париже. Так, уже почти 80 лет Safety разрабатывает и производит стандартный металлорежущий инструмент для большинства отраслей промышленности, таких как автомобильная, аэрокосмическая и энергомашиностроение. Сегодня Safety имеет 2 больших завода во Франции: первый – по производству твердосплавных пластин (построенный в 1957 г.), второй – по производству державок, корпусов фрез (построенный в 1974 г.)

Богатый опыт производства и разработки металлорежущего инструмента позволяет решить любые производственные задачи по обработке металлов резанием не зависимо от вида обработки и материала. Мы всегда готовы предложить высококачественный инструмент для прорезания пазов, точения, фрезерования, сверления.

МПФ-2011 (22-25 ноября 2011)



За последние 5 лет компания Safety инвестировала более 60 млн. евро в производственное оборудование и инновационные технологии. Основной обязанностью технических специалистов Safety является разработка и внедрение инновационных и современных инструментов.

Сегодня компания Safety предлагает следующие виды металлообрабатывающего инструмента:

1. Токарная обработка

Основываясь на свой опыт в обработке металлов резанием, Safety предлагает широкий выбор инструментов для токарной обработки. В зависимости от условий точения (от тяжелых условий до непрерывного точения) разработан широкий спектр сплавов и стружколомов для твердосплавных пластин.

Новые токарные сплавы серии **5600** (рис.1) разработанные для обработки сталей. При увеличении скорости точения на 20% Вы можете сократить затраты на инструмент до 50%. В данной серии разработаны 3 сплава:

5615 – для получистовой и чистовой обработки сталей и некоторых видов обработки чугуна

5625 – Многофункциональный сплав для черновой и получистовой обработки углеродистой, легированной и нержавеющей сталей

5635 – прочный сплав для черновой обработки сталей и чугуна.

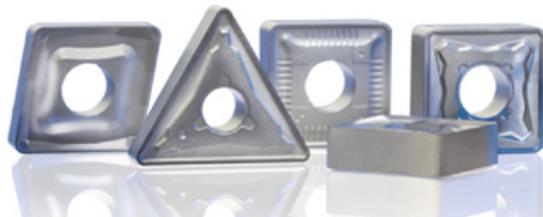


Рис. 1. Новые токарные сплавы серии **5600**.

Также разработан новый сплав для труднообрабатываемых материалов **9605** (рис. 2) – подходящий для любых условий резания и применения в любой отрасли промышленности. 9605 обладает высокой твердостью (твердость 2000

Hv), износостойкостью (благодаря достаточно высокому содержанию кобальта), мелкозернистой однородной структурой (размер зерна не превышает 1 мкм), имеет сверхпрочное покрытие TiAlN, сохраняет твердость при высоких температурах.

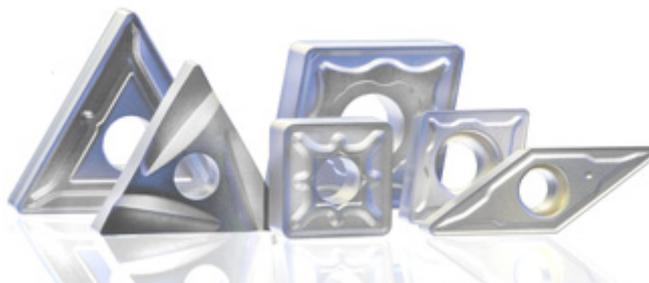


Рис. 2. Новый сплав для труднообрабатываемых материалов **9605**.

## 2. Фрезерование

Ассортимент семейств инструментов для фрезерования Safety сформирован из уникальных инструментов. Разработаны новые системы крепления пластин: SideLok™ – позволяет увеличить количество зубьев, тем самым повысить производительность

**Aerofinish** (рис. 3) – уникальные многозубые фрезы для чистовой обработки плоскостей и карманов. Применяются принципиально новые пластины с геометрией Wiper и закругленными углами. Система крепления пластин SideLok™.



Рис. 3. Многозубые фрезы для чистовой обработки плоскостей и карманов.

**Aerolong** (рис. 4) – первая длиннокрайная фреза со сменными пластинами с количеством зубьев, типичным для монолитных фрез, благодаря чему фрезы данного семейства не уступают по прочности. Основное назначение: обработка высоких стенок и карманов. Система крепления пластин SideLok™.



Рис. 4. Первая длиннокрайная фреза со сменными пластинами.

**Compact 90** (рис. 5) – является лучшим решением для обработки пазов, плоскостей, уступов, благодаря уникальной геометрии пластины с шестью режущими кромками.



Рис. 5. Фрезы для обработки пазов, плоскостей, уступов.

**Penta Heavy Duty** (рис. 6) – торцевые фрезы для тяжелых режимов обработки с пятигранными пластинами. Превосходно подходят для обработки поковок и литых заготовок, для тяжелой обработки и обработки на большие глубины резания (до 10мм).



Рис. 6. Торцевые фрезы для тяжелых режимов обработки с пятигранными пластинами.

**Polymill** (рис. 7) – многозубые фрезы с широким спектром применения. От чистовой до черновой обработки плоскостей, карманов, стенок и радиусных углов.



Рис. 7. Многозубые фрезы с широким спектром применения.

**SM-SAF** (рис. 8) – новые 3-х зубые фрезы разработанные специально для производства штампов и пресс-форм, также находят свое применение в аэрокосмической промышленности и машиностроении. Система крепления пластин SideLok™.



Рис. 8. Новые 3-х зубые фрезы для производства штампов и пресс-форм.

### 3. Сверление

Сверла Safety (рис. 9) со сменными пластинами являются решением для сверления отверстий диаметром от 12 мм. Для отверстий больших диаметров и глубиной до 4-х диаметров – сверла Safety со сменными пластинами являются наиболее экономически выгодным решением.



Рис. 9. Сверла Safety со сменными пластинами.

### 4. Специальный инструмент

Инженерный отдел Safety предоставляет решения обработки исходя из потребностей Вашего предприятия: специальный инструмент, твердосплавные пластины, оптимизация и расчет времени обработки, техническая помощь и т.п. Благодаря накопленному опыту в разработке специального инструмента Safety предлагает уже готовые решения:

**BF Milling cutter** (рис. 10) – фрезы, предназначенные для обработки деталей с повышенными требованиями к качеству поверхности (качество поверхности  $Rz=1,325$  мкм после 50 000 цикла обработки).



Рис. 10. Фрезы для обработки деталей с повышенными требованиями к качеству поверхности.

**BACK-SAF** (рис. 11) – системы обратного растачивания, активируемые посредством подачи СОЖ либо подачи воздуха. Сокращает время обработки и позволяют иметь более высокую точность соосности отверстий.



Рис. 11. Система обратного растачивания

**Gear-Saf** (рис. 12) – гибкая зубонарезная система, которая поможет сократить номенклатуру требуемого инструмента и повысить производительность. Используется один инструмент для обработки разных диаметров и модулей, для внутренних и внешних зубчатых колес, удобная система крепления пластин клином.



Рис. 12. Гибкая зубонарезная система.

Начиная с 2010 года бренд Safety представлен в Украине компанией «Алиста». Сотрудники отдела металлообрабатывающего инструмента компании «Алиста» прошли курс обучения на заводе Safety во Франции, и в настоящий момент готовы оказать квалифицированную консультацию в вопросе подбора инструмента по вашему техническому заданию, проведут испытания на производстве и обеспечат систематические поставки инструмента Safety на ваш завод.

Контактные телефоны: +38(067)639-70-19; +38(056)732-25-34  
49083, Украина, г. Днепропетровск, ул. Собинова, 1  
[sales@alista.com.ua](mailto:sales@alista.com.ua) [www.alista.com.ua](http://www.alista.com.ua) [www.market.alista.com.ua](http://www.market.alista.com.ua)

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОРАЖЕНИЯ ПЛОСКОСТИ РАЗРЯДОМ МОЛНИИ

**Колиушко Д.Г.** канд. техн. наук, **Петков А.А.** канд. техн. наук  
(НТУ “ХПИ”, Харьков)

*In work the statistical model of the plane defeat by the lightning stroke is offered. Check of the developed ratio by means of imitating modeling is executed.*

В настоящее время уделяется значительное внимание экспериментальным и теоретическим исследованиям формирования и развития разрядов молнии [1–4]. Одним из аспектов этих исследований является разработка статистических моделей поражения разрядом молнии различных объектов, расположенных на поверхности грунта [5]. Предложенная в [5] модель позволяет проводить оценку вероятности поражения точек бесконечного прямолинейного проводника. Следующим этапом является построение статистической модели поражения точек плоскости.

На рис. 1 представлена схема поражения прямолинейным разрядом точки плоскости 2 с координатами  $(\alpha, r)$ . При этом полагается, что разряд развивается из точки 1 с координатами  $(0, 0, H)$  в точку 2. Рассматриваемая модель базируется на приведенной в [5]. Предполагается, что направление движения разряда определяется углом движения  $\theta$ , равномерно распределенным в интервале  $(0, \pi/2)$ , и углом плоскости  $\alpha$ , равномерно распределенным в интервале  $(0, 2\pi)$ . Также предполагается, что дистанция поражения  $R$  имеет неограниченную длину.

Рассмотрим задачу описания вероятности поражения произвольной точки плоскости  $XOY$  прямолинейным разрядом молнии, который начинает движение на высоте  $H$  над плоскостью.

Исходя из описанных выше условий для  $\theta, \alpha, R$  и используя методы теории вероятностей [6], можно показать, что распределение плотности вероятности поражения точки плоскости с

координатами  $\alpha, r$  имеет вид:

$$g(\alpha, r) = \frac{1}{\pi^2} \frac{H}{H^2 + r^2}. \quad (1)$$

Тогда распределение плотности вероятности поражения на плоскости окружности радиуса  $r$ , исходя из (1), определится как:

$$g(r) = \int_0^{2\pi} g(\alpha, r) d\alpha = \frac{2}{\pi} \frac{H}{H^2 + r^2}. \quad (2)$$

Вероятность поражения на плоскости круга радиуса  $r$  определяется:

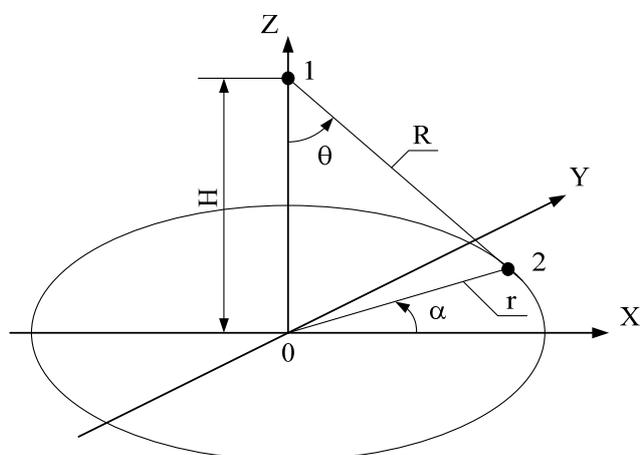


Рис. 1. Схема поражения точек плоскости прямолинейным разрядом.

$$F(r) = \int_0^r g(r) dr = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{r}{H}. \quad (3)$$

Для проверки достоверности выведенных соотношений для принятой модели разряда было проведено имитационное моделирование.

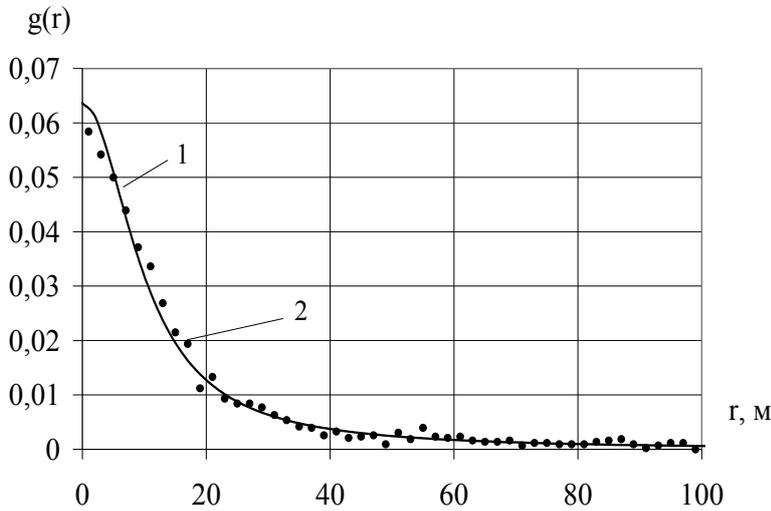


Рис. 2. Плотность распределения вероятности поражения точек окружности радиуса  $r$ .

На рис. 2 показана плотность распределения вероятности поражения точек окружности радиуса  $r$ , рассчитанный по соотношению (2) при высоте начала движения разряда  $H = 10$  м (зависимость (1)) и данные имитационного моделирования при количестве случайных реализаций  $N = 2000$  (зависимость (2)). Как видно из рис. 2, данные, полученные с помощью аналитического выражения и имитационного моделирования, практически совпадают.

На рис. 3 показан график функции распределения вероятности поражения площади круга радиуса  $r$ , расположенного на плоскости  $XOY$ . В практических приложениях представляет интерес значение радиуса круга поражения, в который попадает большинство разрядов молнии. Как видно из графика, радиус такого круга при вероятности поражения 0,9 достигает более чем шестикратной величины высоты начала движения, при вероятности 0,95 – десятикратной.

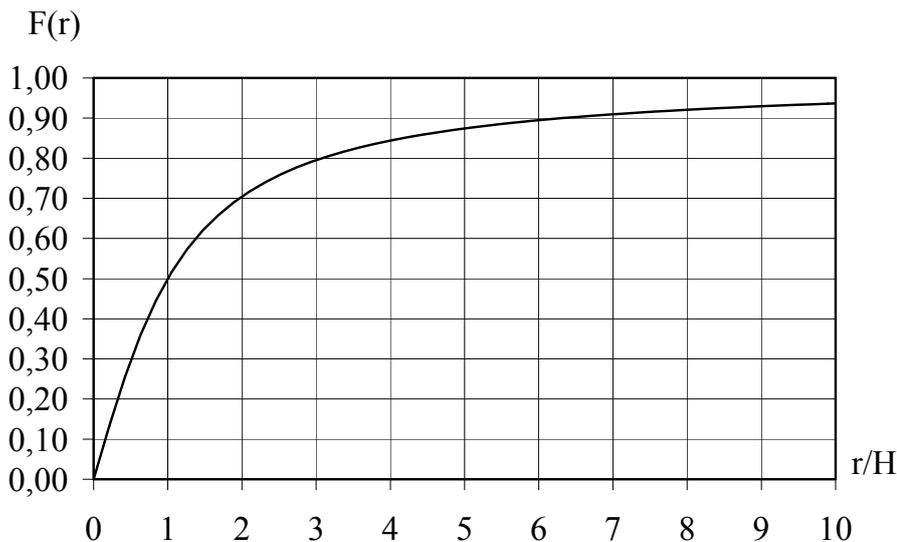


Рис. 3. График функции распределения вероятности поражения площади круга радиусом  $r$  в зависимости от соотношения  $r/H$ .

В реальных условиях дистанция поражения  $R$  имеет ограниченную величину [7, 8] и, очевидно, что график плотности распределения  $g(r)$  имеет большее значение при  $r=0$  и затухает быстрее, чем показано на рис. 2. Это означает, что соотношение (3) и график, показанный на рис. 3, следует считать нижней оценкой вероятности поражения площади круга радиуса  $r$ .

**Список литературы:** 1. Об ориентировке канала длинной искры / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов, Э.М. Базелян, Е.С. Садыхова // Электричество. – 1973. – №3. – С. 63 – 66. 2. К вопросу об оценке защитного действия молниеотводов / Г.Н. Александров, М.М. Зеленецкий, В.Л. Иванов и др. // Известия академии наук СССР. Энергетика и транспорт. – 1970. – №3. – С. 48 – 54. 3. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер – М.: Физматлит, 2001. – 320 с. – ISBN 5-9221-0082-3. 4. Александров Г.Н. Молния и молниезащита / Г.Н. Александров. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 280 с. – ISBN 5-7422-1432-4. 5. Колиушко Д.Г. Статистическая двумерная модель разряда молнии на бесконечный прямолинейный проводник / Д.Г. Колиушко, А.А. Петков // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – №16. – С. 118 – 126. 6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель – М.: Высш. шк., 2002. – 575 с. 7. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства / В.И. Кравченко. – Харьков: Изд-во "НТМТ", 2010. – 292 с. – ISBN 978-617-578-005-3. 8. Стандарт IEC 62305-1, Ed. 1: Protection against lightning – Part 1: General Principles. – IEC, 2003. – 61 P.

УДК 621.922

## СВЯЗЬ ВИБРАЦИЙ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ШЛИФУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Баланюк А.В., магистр, Наддачин В.Б., канд. техн. наук, доц.**  
(Одесский национальный политехнический университет)

*Results of the investigation of the connection processing modes and vibrations on the fluctuations of the tool and the geometrical parameters of the treated surface grinding operation.*

Использование абразивного инструмента с прерывистой рабочей поверхностью в процессе его работы вызывает колебания в шпиндельной системе станка. Амплитуда и частота этих колебаний напрямую зависят от конструкции круга и режимов обработки. В данной статье рассмотрены вопросы взаимного влияния этих параметров. Для экспериментальных исследований использовался абразивный круг имеющий 12 пазов на рабочей поверхности. Исследовалась зависимость амплитуды собственных ( $A_c$  – горизонтальных и  $B_c$  – вертикальных) колебаний, вызванных дисбалансом инструмента, и высокочастотных ( $U_y$ ;  $U_z$ ) связанных с конструкцией круга, от величины сил резания ( $P_y$ ;  $P_z$ ) и ударной нагрузки ( $F_y$  и  $F_z$ ), вызванной прерывистостью процесса шлифования.

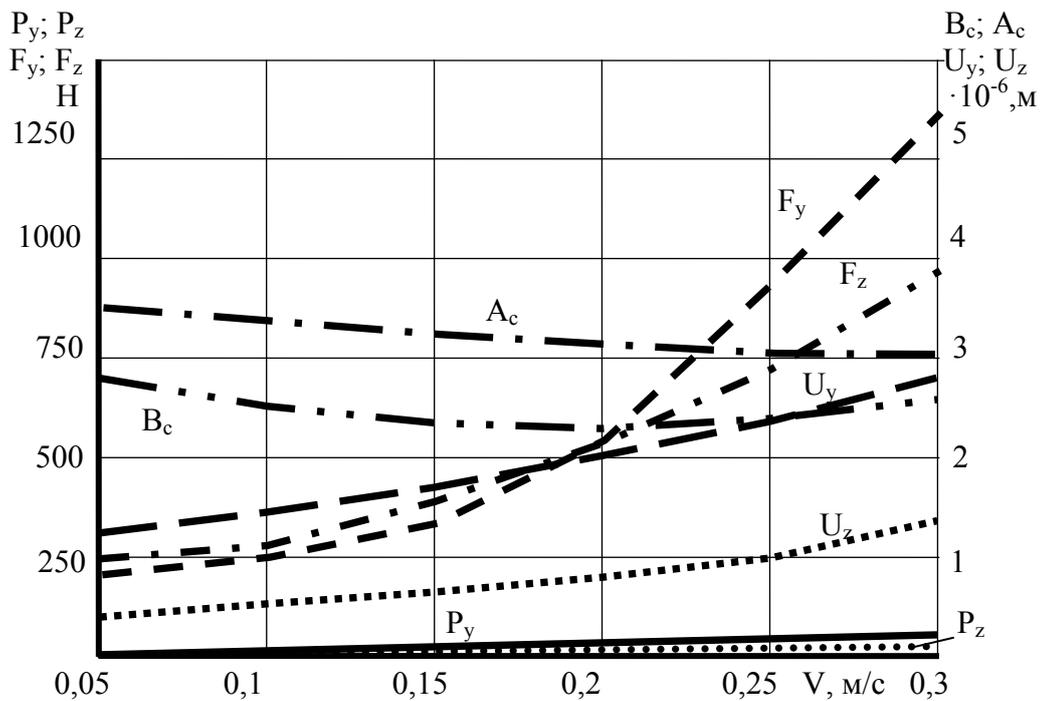


Рис.1. Зависимость силовых параметров и колебаний от скорости резания (при  $t - \text{const} = 50 \cdot 10^{-6}$  м)

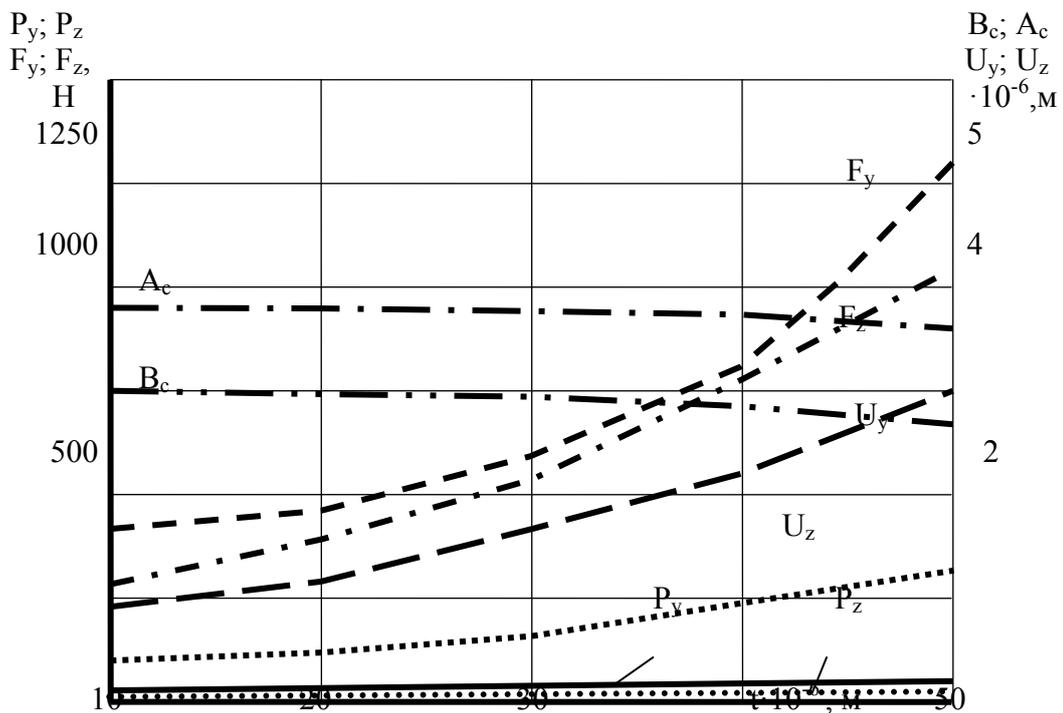


Рис. 2. Зависимость от глубины шлифования (при  $V - \text{const} = 0,3$  м/сек)

Результаты представлены на рис.1 (при изменяющейся скорости резания,  $V$  м/сек) и рис.2 (глубины шлифования,  $t \cdot 10^{-6}$  м). Из приведенных экспериментальных данных можно сделать вывод, что с увеличением режимов обработки силы резания ( $P_y$  и  $P_z$ ) увеличиваются, что в свою очередь сказывается на натяжении

в системе инструмент-деталь, и изменением жесткости в технологической системе. В результате такого воздействия уменьшаются амплитуды колебаний ( $A_c$ ,  $B_c$ ), вызванных дисбалансом инструмента. Это подтверждается также экспериментальными данными при сравнении амплитуды колебаний, связанных с дисбалансом инструмента на холостом ходу и при нагрузке. При наличии нагрузки на шпиндель (т.е. в процессе шлифования), амплитуды колебаний основной частоты относительно амплитуды колебаний при холостом ходе уменьшаются.

Так, например, для вертикальной составляющей амплитуда холостого хода составила  $A_{xx} = 3,9 \cdot 10^{-6}$  м, а амплитуда колебаний при наличии небольшой нагрузки на шпиндель (при  $V = 0,05$  м/сек)  $B_c = 2,8 \cdot 10^{-6}$  м. С увеличением нагрузки на шпиндель, особенно глубины шлифования амплитуда колебаний несущей частоты еще больше уменьшается. Аналогичная картина снижения амплитуды колебаний наблюдается и для горизонтальной составляющей.

Однако с увеличением скорости продольного перемещения стола шлифовального станка и глубины шлифования увеличивается относительная скорость соударения режущей кромки инструмента с обрабатываемой поверхностью, возрастает импульс силы и кинетическая энергия соударяющихся тел, зависящая от скорости

$$E_0 = \frac{M \cdot V^2}{2}.$$

В то же время, вследствие замкнутости системы „процесс резания - ЭУС”, изменение кинетической энергии удара, вызывает изменение амплитуды колебаний

$$A^2 = \frac{2 \cdot E_0}{m \cdot \omega^2},$$

увеличение ударной нагрузки ( $F_y$  и  $F_z$ ), согласно зависимости

$$F_{max} = \left( \frac{E_0}{b} \cdot \frac{1+n}{n} \right)^{\frac{1}{1+n}},$$

и увеличение амплитуды вынужденных колебаний ( $U_y$  и  $U_z$ ).

Таким образом, установив связь вибраций при прерывистом процессе шлифования с параметрами колебаний, можно сделать вывод, что это также будет отражаться на геометрических параметрах обрабатываемой поверхности, в частности возможности образования волнистости при шлифовании.

На рис.3 представлены профили волн, построенные при различных режимах обработки и их опорные кривые (рис.4), отражающие несущую способность данной волны. Анализ приведенных рисунков показал, что при различных режимах обработки, вследствие определенных сочетаний амплитуды и частоты колебаний прерывистого круга и многократного перерезания профиля, можно получить одинаковые параметры высоты волны (например, профили 1,2,3) (рис.3), имеющие примерно одинаковую величину несущей поверхности (кривые 2,3) (рис.4) и большую опорную поверхность (кривая 1). Аналогично можно сказать о профилях 4 и 5, имеющих одинаковую высоту неровностей ( $W_{z4} = 2,0$  мкм;  $W_{z5} = 2,1$  мкм), но несколько различные опорные кривые. До уровня  $P_w = 30$  % опорные кривые совпадают, а при  $P_w = 30 \dots 47$  % опорная кривая у профиля № 4 больше; при  $P_w = 50$  % возросла опорная поверхность у 5 профиля.

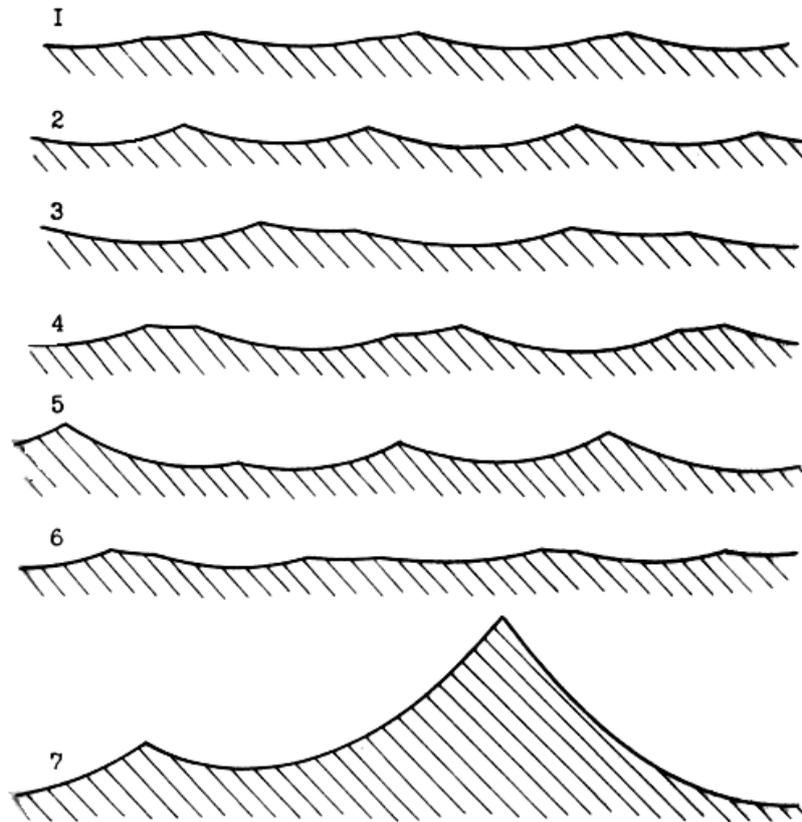


Рис. 3. Изменение профиля и величины волны при различных режимах обработки:

- 1)  $W_z = 1,5 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 1,48 \cdot 10^{-3}$  м (при  $V_{\partial} = 0,067$  м/с,  $t = 20 \cdot 10^{-6}$  м);
- 2)  $W_z = 1,5 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 1,34 \cdot 10^{-3}$  м ( $V_{\partial} = 0,117$  м/с,  $t = 50 \cdot 10^{-6}$  м);
- 3)  $W_z = 1,5 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 2,2 \cdot 10^{-3}$  м ( $V_{\partial} = 0,1$  м/с,  $t = 30 \cdot 10^{-6}$  м);
- 4)  $W_z = 2,0 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 1,84 \cdot 10^{-3}$  м ( $V_{\partial} = 0,083$  м/с,  $t = 30 \cdot 10^{-6}$  м);
- 5)  $W_z = 2,1 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 1,83 \cdot 10^{-3}$  м ( $V_{\partial} = 0,167$  м/с,  $t = 10 \cdot 10^{-6}$  м);
- 6)  $W_z = 1,05 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 1,16 \cdot 10^{-3}$  м ( $V_{\partial} = 0,133$  м/с,  $t = 10 \cdot 10^{-6}$  м);
- 7)  $W_z = 8,15 \cdot 10^{-6}$  м,  $S = 2,69 \cdot 10^{-3}$  м ( $V_{\partial} = 0,25$  м/с,  $t = 30 \cdot 10^{-6}$  м)

Из рис.3 видно, что в результате многократного прохождения формообразующих элементов круга и, происходящих при этом процессе перерезании волн, вершины профилей 1,4,6 более сглажены, а профили 2,5, более заостренные.

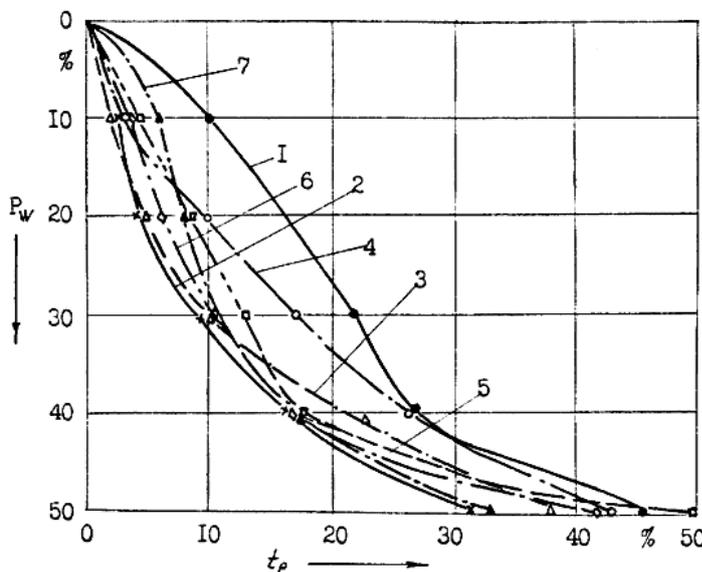


Рис. 4. Опорные кривые построенных профилей

Это же подтверждается проведенным расчетом радиуса выступа волны профиля №7  $R_{07} = 192,22$  мм, между тем, как профили, например, №1 и №6 имеют радиус вершины  $R_{01} = 374,6$  мм  $R_{06} = 298,95$  мм.

На рис.5 приведены профили, полученные экспериментально, и их различие по форме, шагу, высоте волн. Например, профили 2 и 3 пилообразную форму. Профиль 4 имеет более округлые вершины, чем профиль 3. У профиля 5 шаг волны примерно в 2 раза больше, чем у 4. Профиль 6 имеет более заостренные вершины.

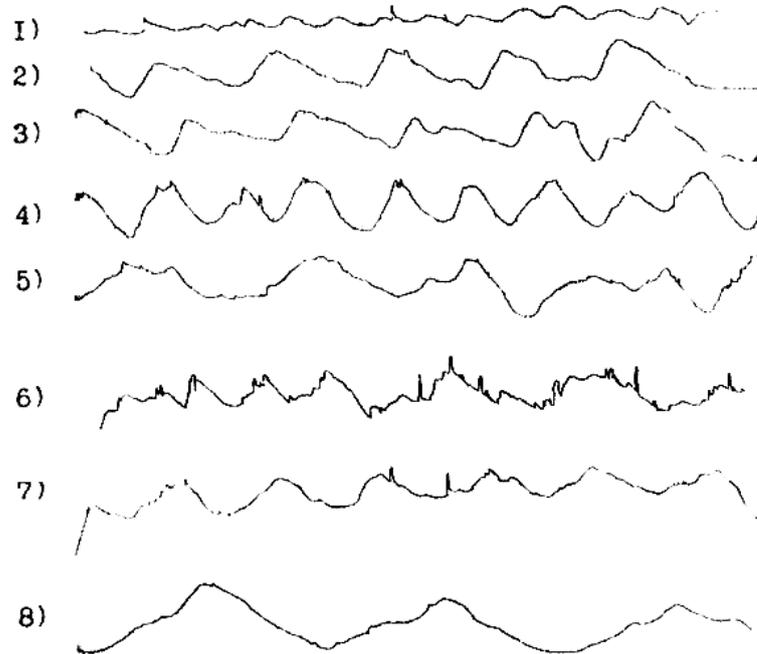


Рис. 5. Профили волнистости, полученные при различной обработке (Профиль №1 – записан при вертикальном увеличении ВУ = 2000, горизонтальном ГУ = 8; №2, №3 – ВУ = 1000, ГУ = 8; №4...№7 – ВУ = 4000, ГУ = 20; №8 – ВУ = 4000, ГУ = 40)

Таким образом, при шлифовании прерывистым кругом, зная его параметры и состояние технологической системы, можно прогнозировать параметры волнистости, возникающей на поверхности детали при обработке и управлять ими.

## СОДЕРЖАНИЕ

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

<b>Новиков Ф.В., Ковальчук А.Н., Нежебовский В.В.</b> Повышение качества и производительности обработки на операциях зубошлифования зубчатых колес приводов шахтных конвейеров .....	3
<b>Новиков Ф.В., Андилахай В.А.</b> Теоретический анализ энергоёмкости обработки при шлифовании .....	14
<b>Баланюк А.В., Гусарев В.С., Наддачин В.Б.</b> Технологический процесс и круговая автоматическая линия для сборки роликового подшипника .....	18
<b>Иванов И.Е.</b> Повышение производительности при шлифовании деталей из труднообрабатываемых материалов .....	21
<b>Андилахай А.А.</b> Струйные методы и конструкции установок для отделочной обработки деталей .....	24
<b>Лищенко Н.В., Мочуляк А.В.</b> Температура и глубина дефектного слоя при шлифовании .....	31
<b>Лищенко Н.В., Мочуляк А.В., Ларшин В.П.</b> Температурное поле при шлифовании с учётом охлаждающего влияния СОЖ .....	38
<b>Рыбалко А.П., Ларшин В.П., Лищенко Н.В., Рябенков И.А.</b> Бесступенчатый электропривод для адаптивного управления станками с ЧПУ .....	44
<b>Иванов Е.И.</b> Проблемы обработки отверстий большого диаметра в крупногабаритных корпусных деталях .....	48
<b>Баланюк А.В., Гусарев В.С., Наддачин В.Б.</b> Автоматическая сборка изделий (на примере конического роликового подшипника) .....	52
<b>Полянский В.И.</b> Определение путей повышения точности и производительности механической обработки на финишных операциях .....	55
<b>Вакуленко К.В., Казак И.Б., Полищук О.Ф., Пучков С.Ю., Ярещенко В.Г.</b> Изменение скорости нагрева стали ШХ 15 при усталостном нагружении .....	63
<b>Сизый Ю.А., Ушаков А.Н.</b> Нагрев поверхности детали при шлифовании ...	66
<b>Жовтобрюх В.А.</b> Повышение эффективности механической обработки деталей гидроаппаратуры .....	68
<b>Борисевич В.К., Сабакарь А.И., Третьяк В.В.</b> Состояние исследований по превращению одних элементов в другие с помощью энергии взрыва .....	73
<b>Рябенков И.А., Дерябин В.С.</b> Особенности изготовления сферических пар трения в агрегатах топливной аппаратуры .....	75
<b>Новиков Ф.В., Медведев А.В.</b> Технологическое обеспечение качества механической обработки поршней .....	77
<b>Остапченко В.А.</b> Повышение качества и производительности обработки елочного замка турбинных лопаток на основе применения глубинного шлифования высокопористыми абразивными кругами .....	83
<b>Дударев А.С.</b> Технология алмазно-абразивной обработки полимерных композиционных материалов .....	86

<b>Новиков Г.В.</b> Высокопроизводительная обработка природных алмазов в бриллианты и расширение технологических возможностей применения алмазных кругов на металлических связках .....	89
<b>Бондар О.О.</b> Аналіз стандартних циклів обробки на токарних верстатах з ЧПК та розширення їх технологічних можливостей .....	92
<b>Дитиненко С.А.</b> Оценка технологических возможностей различных схем механической обработки .....	99
<b>Воїнов О.П., Воїнова С.О.</b> Проблематика розвитку сфери виробництва і сфери споживання енергії в Україні .....	102
<b>Воїнова С.О.</b> Системний підхід до управління технологічною ефективністю технічних об'єктів .....	105
<b>Савченко Н.Н.</b> Особенности оценки эффективности повышения квалификации персонала .....	108
<b>Таньков К.Н.</b> Надежность системы управления производственной деятельностью .....	111

## **2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

<b>Шаровченко А.И., Горшков Ю.Б.</b> Особенности работы торговой инструментальной фирмы с технологическим сопровождением заказов .....	113
<b>Шаровченко А.И., Горшков Ю.Б.</b> Логика построения некоторых технологических процессов полирования металлов и сплавов .....	116
<b>Швед И.Г., Карпенко В.Н.</b> Компания ООО «ТЕХНОВЕД» .....	119
<b>Крамаренко С.Б.</b> Інноваційні технології в оцінці комплексу маркетингу для машинобудівних підприємств .....	122
<b>Бочаров В.Б.</b> Hexagon Metrology – ваш проводник в мире метрологии .....	126
<b>Манжар В.А.</b> Шлифовальные инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях мехобработки и перспективы их развития .....	130
<b>Струцинский А.В., Ляховенко И.Н.</b> Многофункциональный токарный-фрезерно-сверлильный центр GOODWAY GMS-2600 .....	131
<b>Струцинский А.В., Ляховенко И.Н.</b> EMAG – станки с изменяемой конфигурацией .....	133
<b>Макутонина Л.В.</b> Комбинированная инфраструктура открытых ключей, как система защиты электронного документооборота на производстве .....	136
<b>Никоноров А.С.</b> Установка для термозажима инструмента: особенности и целесообразность применения .....	139
<b>Новацкий С.А., Лыпка Ю.А., Грига Т.А.</b> Современные дисперсные цинковые антикоррозионные системы покрытий DELTA-MKS® для крепежных изделий ...	143
<b>Купа Л.В.</b> Компания «Алиста» презентует: «Safety» – специалист в области производства прецизионного металлорежущего инструмента .....	147
<b>Колиушко Д., Петков А.А.</b> Статистическая модель поражения плоскости разрядом молнии .....	153
<b>Баланюк А.В., Наддачин В.Б.</b> Связь вибраций с геометрическими параметрами шлифуемой поверхности .....	155

© Харьковская научно-производственная  
корпорация "ФЭД", 2011

## **Научное издание**

**Труды 17-й Международной научно-технической конференции**

**Физические и компьютерные технологии**

**20-21 сентября 2011 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 12.09.2011. Формат 60x90 1/16  
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 10,1. Уч.-изл. л. 8,3  
Тираж 150. Заказ № 121

Отпечатано в типографии завода "ФЭД". 61023, г. Харьков, ул. Сумская, 132