

*19 - я Международная научно-
практическая конференция*

**ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*25 – 26 июня
2014 г*

г. Харьков

ГП Харьковский машиностроительный завод "ФЭД"
Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця
Одесский национальный политехнический университет
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
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
Луцкий национальный технический университет
Московский государственный открытый университет
Тульский государственный университет
Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Ульяновский государственный технический университет
Саратовский государственный технический университет
Пермский государственный технический университет
ГП "Завод им. Малышева"
АО "Мотор - Січ"
ЗАО Завод "Южкабель"
ПАО ХМЗ "Свет шахтера"
ХГ Авиационное производственное предприятие
Харьковское агрегатное конструкторское бюро
НТК "Эльбор-4"
ООО Технический Центр "ВариУс"
Гомельское ПО "Кристалл"
Жешувский технологический университет, Польша
Высшая техническая школа, Цвикау, Германия
Международная академия по развитию технологий, Кельн, Германия
Компания "Foxenergy", Верона, Италия
Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к
проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

ТРУДЫ
19-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Харьков 2014

УДК 62-65: 621.382.82

Физические и компьютерные технологии.

Труды 19-й Международной научно-практической конференции, 25-26 июня 2014г. – Харьков: ГП ХМЗ "ФЭД", 2014. – 193 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, экономики и организации производства.

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

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНФЕРЕНЦИИ:

Сопредседатели:

Новиков Ф.В., д.т.н.	(Харьков)	Коломиец В.В., д.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)
		Морачковский О.К., д.т.н.	(Харьков)

Члены совета:

Гринева В.Н., д.э.н.	(Харьков)	Новиков Г.В., к.т.н.	(Харьков)
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)
		Шепелев А.А., д.т.н.	(Киев)
		Ямников А.С., д.т.н.	(Тула)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Андилахай А.А., д.т.н.	(Мариуполь)	Осипов В.А., к.т.н.	(Сумы)
Воробьев Ю.С., д.т.н.	(Харьков)	Орлов П.А., д.э.н.	(Харьков)
Евстратов В. А., д.т.н.	(Харьков)	Петков А.А., д.т.н.	(Харьков)
Ерошин С.С., д.т.н.	(Луганск)	Савченко Н.Ф., к.т.н.	(Харьков)
Жовтобрюх В.А, к.т.н.	(Днепропетровск)	Свирищев В.И., д.т.н.	(Пермь)
Карпушенко В.П., к.э.н.	(Харьков)	Скобло Т.С., д.т.н.	(Харьков)
Королев А.В., д.т.н.	(Саратов)	Сизый Ю.А., д.т.н.	(Харьков)
Крюк А.Г., к.т.н.	(Харьков)	Стрельчук Р.М., к.т.н.	(Харьков)
Лавриненко В.И., д.т.н.	(Киев)	Тернюк Н.Э., д.т.н.	(Харьков)
Лебедев В.Г., д.т.н.	(Одесса)	Тимонин А.М., к.э.н.	(Харьков)
Макаров В.Ф., д.т.н.	(Пермь)	Тимофеева Л.А., д.т.н.	(Харьков)
Марчук В.И., д.т.н.	(Луцк)	Ткачук Н.А., д.т.н.	(Харьков)
Матюха П.Г., д.т.н.	(Донецк)	Усов А.В., д.т.н.	(Одесса)
Наддачин В.Б., к.т.н.	(Одесса)	Хавин Г.Л., к.т.н.	(Харьков)
Новоселов Ю.К., д.т.н.	(Севастополь)	Худобин Л.В., д.т.н.	(Ульяновск)
Новиков С.Г., к.т.н.	(Курск)	Шкурупий В.Г., к.т.н.	(Харьков)

Труды воспроизводятся непосредственно с авторских оригиналов.

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

УДК 621.923

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Новиков Ф.В., докт. техн. наук,

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнеця)

Кленов О.С., канд. техн. наук

(Фирма “ДиМерус Инженеринг” ООО, г. Харьков)

*In this paper, a theoretical analysis of parameters of the power intensity machining machine parts.
On the basis of decisions justified choice of optimal schemes cutting and abrasive machining*

Из всего разнообразия технологий обработки материалов, основанных на использовании различных видов энергии, необходимо выделить механические технологии обработки материалов резанием, которые характеризуются наименьшей энергоемкостью и наибольшей производительностью обработки и обеспечивают высокие показатели качества и точности обрабатываемых поверхностей. Процессы резания материалов получили широкое применение в производстве и в ближайшие годы не утратят своей значимости. Поэтому их дальнейшее развитие имеет большое практическое значение в повышении точности, качества и производительности механической обработки.

Для выявления и обоснования новых технологических возможностей процесса резания разработана математическая модель определения силы резания при лезвийной обработке (точении), в результате чего получены аналитические зависимости для расчета тангенциальной P_z и радиальной P_y составляющих силы резания и условного напряжения резания σ [1, с. 11]:

$$P_z = \frac{a \cdot b \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right); \quad (1)$$

$$P_y = \frac{a \cdot b \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right); \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right), \quad (3)$$

де a , b – толщина и ширина среза, м; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м²; $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания.

Удельные составляющие силы резания описываются зависимостями:

$$P_{z_{y\delta}} = \frac{P_z}{a \cdot v \cdot \sigma_{сж}} = \frac{1}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right); \quad (4)$$

$$P_{y_{y\delta}} = \frac{P_y}{a \cdot v \cdot \sigma_{сж}} = \frac{1}{K_{рез}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right). \quad (5)$$

Как видно, параметры $P_{z_{y\delta}}$ и σ идентичны, т.к. описываются одной и той же зависимостью. Анализ рассчитанных на основе зависимостей (4) и (5) значений $P_{z_{y\delta}}$ и $P_{y_{y\delta}}$, которые приведены на рис. 1, показывает, что при условии $K_{рез}=1$ параметры $P_{z_{y\delta}}$ и $P_{y_{y\delta}}$ равны между собой, а при условии $K_{рез} < 1$ и $K_{рез} > 1$ справедливы соответственно условия $P_{z_{y\delta}} < P_{y_{y\delta}}$ и $P_{z_{y\delta}} > P_{y_{y\delta}}$.

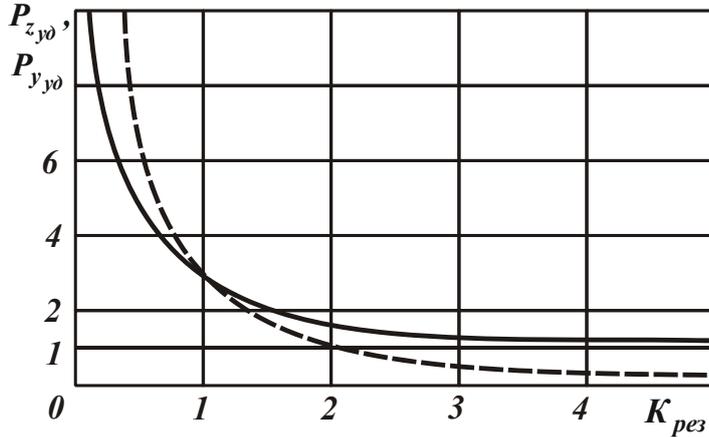


Рис. 1. Зависимости $P_{z_{y\delta}}$ (сплошная линия)

и $P_{y_{y\delta}}$ (пунктирная линия)

от коэффициента резания $K_{рез}$

Как известно, условие $K_{рез} < 1$ реализуется при абразивной обработке, а условие $K_{рез} > 1$ – при лезвийной обработке. Следовательно, при абразивной обработке наибольшее влияние на технологические параметры процесса оказывает радиальная P_y составляющая силы резания, а при лезвийной обработке – тангенциальная P_z составляющая силы резания. При этом составляющие силы резания при лезвийной обработке ($K_{рез} > 1$) меньше, чем при абразивной обработке ($K_{рез} < 1$), что свидетельствует о возможностях повышения точности и качества обработки при резании лезвийными инструментами. Данная закономерность обусловлена меньшими значениями условного напряжения резания $\sigma = P_{z_{y\delta}}$, которое при условии $K_{рез} \rightarrow \infty$ стремится принять значения $\sigma_{сж}$ (рис. 1). В этом случае условия стружкообразования соответствуют условиям разрушения прямолинейного образца при его сжатии.

Параметры $K_{рез}$, P_z , P_y и σ могут быть выражены также через угол действия $\omega = \psi - \gamma$:

$$K_{рез} = ctg(\psi - \gamma) = \frac{1 + f \cdot tg\gamma}{f - tg\gamma}; \quad (6)$$

$$P_y = a \cdot v \cdot \sigma_{сж} \cdot tg(\psi - \gamma) \cdot \left[tg(\psi - \gamma) + \sqrt{tg^2(\psi - \gamma) + 1} \right]; \quad (7)$$

$$P_z = a \cdot v \cdot \sigma_{сж} \cdot \left[tg(\psi - \gamma) + \sqrt{tg^2(\psi - \gamma) + 1} \right]; \quad (8)$$

$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left[\operatorname{tg}(\psi - \gamma) + \sqrt{\operatorname{tg}^2(\psi - \gamma) + 1} \right], \quad (9)$$

где ψ – условный угол трения на передней поверхности инструмента ($\operatorname{tg}\psi = f$ – коэффициент трения); γ – положительный передний угол инструмента.

Очевидно, лезвийная обработка реализуется при условии $\omega = \psi - \gamma < 45^0$, а абразивная обработка – при условии $\omega = \psi - \gamma > 45^0$ (с учетом отрицательного значения угла γ – при условии $\omega = \psi + \gamma > 45^0$).

Из зависимости (6) вытекает, что условие $K_{рез} \rightarrow \infty$ (или $\sigma \rightarrow \sigma_{сж}$) выполняется при угле действия $\omega = \psi - \gamma \rightarrow 0$ (или условию $f = \operatorname{tg}\gamma$). Наиболее просто данное условие реализуется при обработке алмазным инструментом, т.к. алмаз характеризуется наименьшим коэффициентом трения f с обрабатываемым материалом. Этим объясняется возможность существенного уменьшения силы резания при алмазном точении, что имеет место на практике.

При шлифовании ($K_{рез} < 1$), рассматривая передний угол режущего зерна круга γ отрицательным, зависимости (1) – (3) могут быть упрощены:

$$P_z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}}; \quad (10)$$

$$P_y = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}^2}; \quad (11)$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}} = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \operatorname{tg}(\psi + \gamma). \quad (12)$$

При условии $(\psi + \gamma) \rightarrow 90^0$ справедливо $\sigma \rightarrow \infty$. В этом случае процесс резания (стружкообразования) не реализуется, имеет место лишь упруго-пластическое деформирование материала без образования стружки. Следовательно, процесс резания лезвийными и абразивными инструментами может быть осуществлен при условии $\omega = \psi + \gamma < 90^0$.

Используя приведенные выше зависимости, появилась возможность направленного выбора эффективных методов обработки и осуществления обоснованного перехода на финишных операциях, например, от шлифования к лезвийной обработке или от процессов резания к процессам пластического деформирования обрабатываемых материалов и т.д. На основе полученных решений обоснован выбор оптимальных схем обработки, что позволило внедрить на ГП Харьковский машиностроительный завод “ФЭД” эффективные операции финишной механической обработки высокоточных деталей.

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.

УПРАВЛЕНИЕ УПРУГИМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ НАПЛАВОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнеця)

Иванов И.Е., канд. техн. наук

(ГБУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

The paper discusses the management issues elastic movements in the technological system in cylindrical grinding of large parts of metallurgical purposes with durable coating materials

В настоящее время широко используются методы упрочнения рабочих (контактных) поверхностей ответственных изделий высокотвердыми износостойкими наплавочными материалами. Это кардинальным образом решает проблему повышения ресурса и надежности их работы. Однако при этом возникает сложная проблема механической обработки данных поверхностей, обусловленная: 1) высокой твердостью наплавленных материалов (HRC 62-63); 2) необходимостью съема больших припусков – до 7 мм на сторону и более; 3) высокими требованиями по точности, шероховатости и качеству поверхностного слоя обрабатываемых изделий.

Традиционно обработка наплавленных материалов производится шлифованием абразивными кругами и резанием лезвийными инструментами из твердых сплавов и синтетических сверхтвердых материалов (СТМ). В ряде случаев оказалось эффективно применение алмазного шлифования, в особенности алмазного электроэрозионного шлифования, обеспечивающего поддержания в процессе высокой режущей способности алмазных кругов на высокопрочных металлических связках. Вместе с тем, эти методы показали хорошие результаты при обработке наплавленных материалов твердостью менее HRC 60. При обработке наплавленных материалов твердостью более HRC 60 проблема не решена. В особой мере это относится к обработке рабочих контактных поверхностей (упрочненных наплавленными материалами твердостью HRC 62-63) малых и больших конусов и чашам засыпных аппаратов доменных печей, которые изготавливаются в ПАО “Азовмаш” и Мариупольском металлургическом комбинате имени Ильича, а также других крупногабаритных изделий металлургического назначения (прокатные валки и т.д.). В настоящее время обработка поверхностей этих изделий производится методом круглого абразивного шлифования и характеризуется чрезвычайно высокой трудоемкостью (обработка длится более двух недель) в связи с необходимостью обеспечения высоких требований по точности и качеству поверхностного слоя детали при съеме значительных припусков (до 7 мм на сторону). Кроме того, имеет место большой расход абразивных кругов. Попытки применения более прогрессивного метода алмазного

шлифования не дали положительных результатов, т.к. алмазные круги на прочных металлических связках быстро затуплялись и засаливались, а организация их электроэрозионной правки оказалась малоэффективной. Также малоэффективной оказалась и лезвийная обработка в связи с интенсивным износом и разрушением режущих инструментов. Применение современных твердосплавных и алмазных резцов производства ведущих зарубежных фирм по стойкости оказалось экономически неприемлимым. Поэтому важно выработать научно обоснованную концепцию решения крупной научной и практической проблемы высококачественной и высокопроизводительной обработки указанных выше деталей и на ее основе выбрать наиболее эффективные технологические методы, схемы и условия механической обработки.

Для нормального функционирования засыпных аппаратов доменных печей необходимо обеспечить плотное прилегание контактных (рабочих) поверхностей конусов и чаш. Поэтому должна быть обеспечена высокая точность обработки их наплавленных поверхностей. При этом необходимо обеспечить главным образом точность формы обрабатываемых поверхностей, поскольку при контроле соединения чаши и конуса не должно пропускать воду. В связи с этим, проведены теоретические исследования точности обработки при шлифовании, определяемой упругими перемещениями, возникающими в технологической системе.

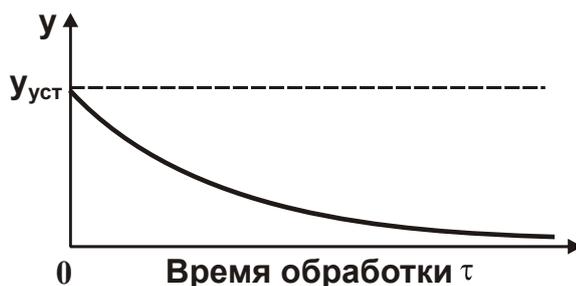


Рис. 1. Зависимость y от τ

(оптимальный цикл шлифования)

Установлено, что наиболее производительным циклом круглого шлифования, обеспечивающим заданную точность обработки, является цикл, включающий этап ускоренного создания в технологической системе начального натяга $y_{уст}$, а затем шлифование по схеме выхаживания (рис. 1). Основное время обработки определяется в этом случае по зависимости [1, с. 298]:

$$\tau_{min} = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l \cdot \sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \ln \left(\frac{y_{уст}}{y_0} \right), \quad (1)$$

где $D_{дет}$, l – диаметр и длина обрабатываемой детали, м; $y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр}}$ –

установившееся значение величины y , м; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_z , P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; $Q_{ном} = S \cdot V_{дет} \cdot t$ – номинальная производительность обработки, м³/с; S – продольная подача, м/об; $V_{дет}$ – скорость вращения детали, м/с; t – номинальная глубина шлифования, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; y_0 – заданная погрешность обработки (после выхаживания), м.

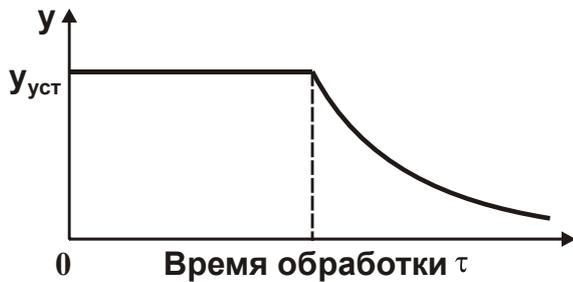


Рис. 2. Зависимость y от τ

(цикл шлифования, включающий этапы черного шлифования и выхаживания)

В случае $\Pi \gg y_{уст}$ (где Π – величина снимаемого припуска, м) целесообразно использовать цикл шлифования, показанный на рис. 2. В этом случае между $y_{уст}$ и номинальной производительностью обработки $Q_{ном}$ существует пропорциональная связь по зависимости:

$$y \approx y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр}} \quad (2)$$

Основными условиями повышения $Q_{ном}$ с учетом ограничения по точности обработки являются (рис. 3): применение многопроходного, глубинного шлифования и шлифования по упругой схеме, поскольку, согласно (2), величина $y_{уст}$ не зависит от схемы шлифования, а определяется номинальной производительностью обработки $Q_{ном}$.

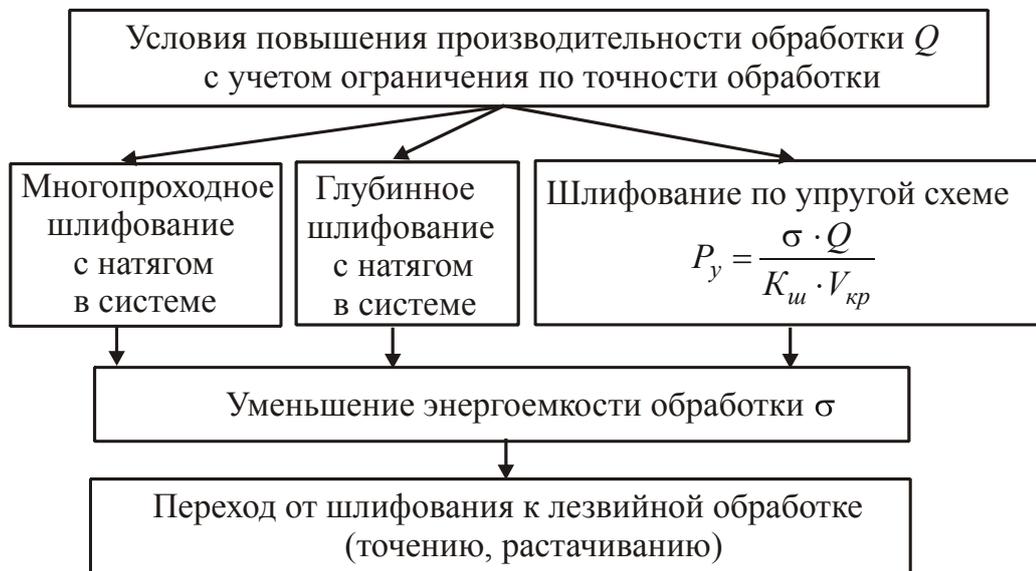


Рис. 3. Структурная схема условий повышения производительности обработки

Необходимо отметить, что создание и непрерывное поддержание в технологической системе заданного натяга $y_{уст}$ является основным направлением эффективного ведения процесса круглого шлифования рабочих контактных поверхностей (упрочненных наплавленными материалами твердостью HRC 62-63) малых и больших конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей, поскольку данный процесс осуществляется в условиях низкой жесткости технологической системы. Установлено, что жесткость применяемой на практике системы, созданной на базе токарно-карусельного станка, составляет всего 3000 Н/мм. Поэтому определение оптимального значения натяга $y_{уст}$ является важной задачей. Поддержание в процессе заданного значения $y_{уст}$ позволит обеспечить равенство фактической и номинальной глубины шлифования, т.е. максимальное использование режущих свойств шлифовального круга.

Уменьшить погрешность обработки без снижения номинальной производительности обработки $Q_{ном}$ можно уменьшением условного напряжения резания (энергоемкости обработки) σ и увеличением параметров $K_{ш}$, c и $V_{кр}$. Это достигается в первую очередь обеспечением высокой режущей способности шлифовального круга. Поскольку, как известно, при шлифовании параметр σ всегда больше, чем при резании лезвийным инструментом, то целесообразно при финишной обработке переходить от шлифования к лезвийной обработке.

Также получена аналитическая зависимость для определения погрешности формы отверстия в детали при лезвийной обработке (точении, растачивании и рассверливании) [2, с. 163-164]:

$$y_n = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)^n}, \quad (3)$$

где Δ_0 – исходная погрешность обработки, м; $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; φ – угол резца (сверла) в плане; n – количество проходов инструмента.

Из зависимости (3) следует, что, увеличивая n , появляется возможность уменьшения величины погрешности y_n до требуемого значения. Как видно,

при условии $\frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi} \ll 1$ фактически нельзя устранить исходную погреш-

ность обработки Δ_0 , т.к. будет иметь место копирование погрешности. Поэтому необходимо уменьшать отношение $\sigma / K_{рез}$, подачу S и увеличивать жесткость технологической системы c . Чем больше выражение в скобках знаменателя зависимости (3), тем меньше n для достижения заданной точности и соответственно меньше время обработки. Очевидно, при лезвийной обработке n будет меньше, чем при шлифовании, поскольку меньше отношение $\sigma / K_{рез}$.

Выполнить данное условие при рассверливании отверстия можно за счет определенного числа проходов сверла, увеличивая с каждым проходом диаметр сверла, т.к. при обработке сверлом с одинаковым диаметром будет происходить “разбивка” отверстия. Это принципиально новое теоретическое решение, которое согласуется с практикой сверления. Этими исследованиями показана возможность достижения требуемой точности при обеспечении высокой производительности обработки как при шлифовании, так и лезвийной обработке, что открывает новые перспективы повышения эффективности механической обработки наплавленных контактных поверхностей чаш, конусов и других крупногабаритных изделий металлургического назначения.

Список литературы: 1. Новіков Ф.В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей : монографія / Ф.В. Новіков, І.О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с. 2. Новіков Ф.В. Особенности формирования погрешностей обработки при растачивании и рассверливании отверстий / Ф.В. Новіков, И.Е. Иванов // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 139/2013. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 161-165.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ОПЕРАЦІЇ ЗУБОШЛІФУВАННЯ

Гершиков І.В. (ЗАТ “Азовський машинобудівний завод”, м. Бердянськ)

Новіков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

Нежебовський В.В., канд. техн. наук

(ПАТ Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря”)

The paper discusses the laws governing the formation of error processing operations gear grinding method using a copy of the profile of highly abrasive wheels

В останні роки у зв'язку з освоєнням виробництва високопористих абразивних кругів усе ширше застосовується високопродуктивний процес зубошліфування за методом профільного копіювання [1]. Однак, як відомо, даний метод характеризується відносно низкою точністю обробки у зв'язку з виникненням значних сил різання, підвищенням зношування круга й порушенням профілю його робочої поверхні. Істотним фактором утворення похибок обробки слід також розглядати нерівномірність припуску, що знімається, через виникнення термопружних деформацій зубів колеса при його термічній або хіміко-термічній обробці й неправильній установці круга в оброблюваній западині зубчастого колеса. Дані закономірності в меншій мірі проявляються при зубошліфуванні за методом обкатування, коли обробка виконується за схемою багатопрохідного шліфування з відносно невеликою глибиною шліфування [2]. Тому ціллю роботи є теоретичний аналіз закономірностей формування погрешностей обробки на операції зубошліфування за методом профільного копіювання з використанням високопористих абразивних кругів.

При зубошліфуванні за методом профільного копіювання на обох сторонах робочих поверхонь конусного круга (з кутом α при вершині) будуть діяти

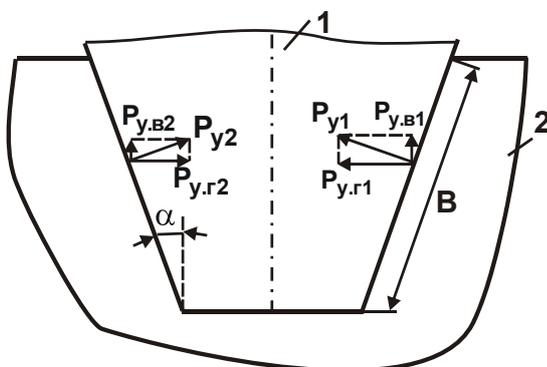


Рис. 1. Розрахункова схема параметрів зубошліфування за методом профільного копіювання: 1 – круг; 2 – оброблюваний матеріал

дві різні по величині радіальні складові сили різання P_{y1} й P_{y2} (рис. 1). У загальному вигляді кожен із цих сил можна розкласти на дві складові – горизонтальну й вертикальну. Тоді горизонтальні складові сили $P_{y.r1}$ й $P_{y.r2}$ будуть згинати конусний круг, що приведе до деформації елементів технологічної системи в горизонтальному напрямку за умови нерівності сил $P_{y.r1}$ і $P_{y.r2}$. Очевидно, чим більше буде різниця сил $P_{y.r1}$ і $P_{y.r2}$, тим значніше будуть пружні переміщення, що виникають у технологічній системі в горизонтальному на-

прямку. Властиво, різниця сил $P_{y.z1}$ і $P_{y.z2}$ й буде визначати основну похибку обробки зубів колеса у зв'язку з нерівномірністю припуску, що знімається.

Вертикальні складові сили $P_{y.e1}$ й $P_{y.e2}$ будуть виштовхувати шліфувальний круг із западини зубчастого колеса й формувати похибку обробки у вертикальному напрямку. Однак, дана похибка обробки буде проявлятися в меншій мірі в порівнянні з похибкою обробки в горизонтальному напрямку, тому що горизонтальні складові сили $P_{y.z1}$ й $P_{y.z2}$ будуть значно більше вертикальних складових сил $P_{y.e1}$ і $P_{y.e2}$ у зв'язку з відносно невеликим кутом α . Тим більше, що похибки обробки у вертикальному напрямку, викликані дією сил $P_{y.e1}$ і $P_{y.e2}$, будуть вісесиметричними відносно западини зубчастого колеса, тоді як похибки обробки в горизонтальному напрямку, викликані дією сил $P_{y.z1}$ і $P_{y.z2}$, будуть несиметричними, усунути які, очевидно, значно складніше.

Для спрощення розрахунку величини пружного переміщення, що виникає в технологічній системі, бічні робочі поверхні круга будемо розглядати не криволінійними, а прямолінійними. Оскільки при шліфуванні в роботі беруть участь одночасно дві сторони круга, то це не внесе принципових змін у виконуваних розрахунки. Виходячи із цього, величину пружного переміщення y , що виникає в технологічній системі в горизонтальному напрямку, визначимо:

$$y_1 = \frac{(P_{y.z1} - P_{y.z2})}{c} = \frac{(P_{y1} - P_{y2}) \cdot \cos \alpha}{c} = \frac{(P_{z1} - P_{z2}) \cdot \cos \alpha}{c \cdot K_{ш}}, \quad (1)$$

де c – жорсткість технологічної системи в горизонтальному напрямку, Н/м; P_{z1} , P_{z2} – відповідно тангенціальні складові сили різання, що діють на обох сторонах круга, Н; $K_{ш} = P_{z1} / P_{y1} = P_{z2} / P_{y2}$;

$$P_{z1} - P_{z2} = \sigma \cdot \frac{(Q_1 - Q_2)}{V_{кр}} = \sigma \cdot \frac{(V_{дем} \cdot B \cdot \Pi_1 - V_{дем} \cdot B \cdot \Pi_2)}{V_{кр}}, \quad (2)$$

σ – умовна напруга різання, Н/м²; $Q_1 = V_{дем} \cdot B \cdot \Pi_1$, $Q_2 = V_{дем} \cdot B \cdot \Pi_2$ – значення продуктивності обробки, які досягаються умовно при зніманні припусків із двох суміжних зубів колеса шліфувальним кругом, м³/с; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с; $V_{дем}$ – швидкість переміщення деталі уздовж оброблюваного зуба (швидкість деталі), м/с; B – довжина оброблюваної частини зуба, м; Π_1 , Π_2 – відповідно величини припусків, що знімаються з бічних поверхонь двох суміжних зубів колеса (утворюючих западину на зубчастому колесі), м.

Внаслідок виникаючих у технологічній системі пружних переміщень фактичні величини припусків, що знімаються, відрізняються від номінальних припусків Π_1 та Π_2 , і відповідно рівні $\Pi_1 - y_1$ та $\Pi_2 + y_1$. Тоді залежність (1) після перетворень виразиться:

$$y_1 = \frac{0,5 \cdot \Delta \Pi_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{2 \cdot \sigma \cdot V_{дем} \cdot B \cdot \cos \alpha}\right)}, \quad (3)$$

де $\Delta\Pi_1 = \Pi_1 - \Pi_2$.

Аналогічно визначається величина пружного переміщення y_n після n -го проходу круга:

$$y_n = 0,5 \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot V_{дем} \cdot B \cdot \cos \alpha}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \right)^n \cdot \Delta\Pi_1. \quad (4)$$

Уточнення на n -му проході круга:

$$\varepsilon_n = \frac{y_{n-1}}{y_n} = \frac{0,5 \cdot C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot V_{дем} \cdot B \cdot \cos \alpha}. \quad (5)$$

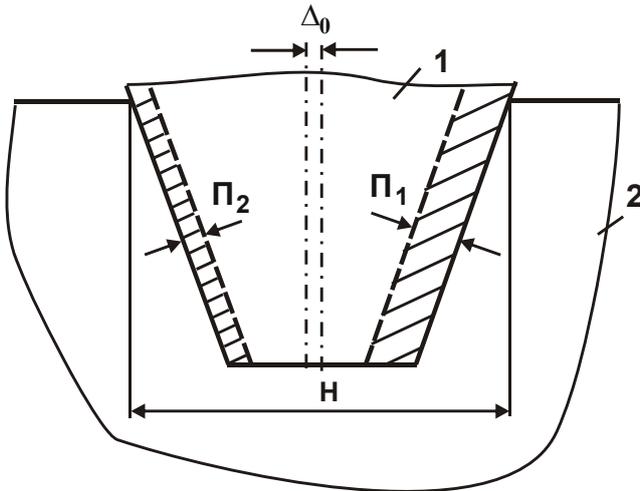


Рис. 2. Розрахункова схема величини відхилення осі конусного круга відносно осі западини Δ_0

конусного круга відносно осі западини, м. Даний випадок обробки може мати місце після операції зубонарізування, коли утворюється досить точний профіль зубчастого колеса. Тоді

$$y_n = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot V_{дем} \cdot B \cdot \cos \alpha}{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \right)^n \cdot \Delta_0. \quad (6)$$

Установлено, що уточнення на кожному проході круга однаково й визначається:

$$\varepsilon = \frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \dots = \frac{y_{n-1}}{y_n} = \frac{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{2 \cdot \sigma \cdot V_{дем} \cdot B \cdot \cos \alpha}. \quad (7)$$

Відповідно сумарне уточнення $\varepsilon_{сум}$ дорівнює:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{\Delta_0}{y_n} = \left(\frac{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{2 \cdot \sigma \cdot V_{дем} \cdot B \cdot \cos \alpha} \right)^n. \quad (8)$$

У цьому випадку величини Δ_0 й y_n задані, тому відомим є й сумарне уточнення $\varepsilon_{сум} > 1$. З урахуванням отриманих залежностей (7) і (8) величина пружного переміщення y_n , що виникає в технологічній системі й описується залежністю (6), аналітично виразиться:

$$y_n = \frac{\Delta_0}{\varepsilon^n}. \quad (9)$$

Зі збільшенням кількості проходів круга n величина пружного переміщення y_n безупинно зменшується (табл. 1, рис. 3).

Таблиця 1

Розрахункові значення відношення y_n / Δ_0

n	1	2	3	4	5	6
y_n / Δ_0	0,367	0,135	0,05	0,018	0,0067	0,0025

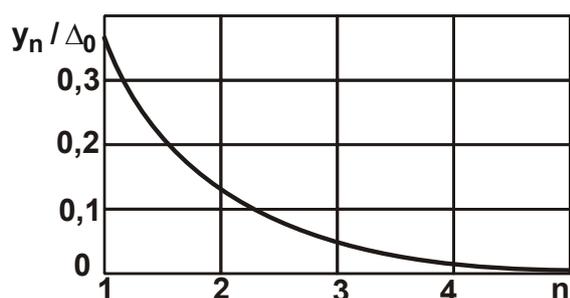


Рис. 3. Залежність відношення y_n / Δ_0 від кількості проходів круга n

Підставляючи залежність (7) в (8), маємо:

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \varepsilon^n. \quad (10)$$

Із залежності (10) випливає, що чим більше уточнення на проході круга ε , тим за меншу кількість проходів круга n можна досягти заданого сумарного уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$. Основний час обробки τ в загальному вигляді описується залежністю:

$$\tau = \frac{2 \cdot n \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{\text{сум}}} \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos \alpha}{C \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}, \quad (11)$$

де L – довжина оброблюваного зуба колеса, м.

Очевидно, зі збільшенням кількості проходів круга n основний час обробки τ змінюється неоднозначно, тому що зі збільшенням n множник $\sqrt[n]{\varepsilon_{\text{сум}}}$ зменшується. Отже, існує екстремум основного часу обробки τ від кількості проходів круга n . Для його визначення слід скористатися необхідною умовою екстремуму $\tau'_n = 0$:

$$\tau'_n = \frac{2 \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos \alpha}{C \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{\text{сум}}} \cdot \left(1 - \frac{\ln \varepsilon_{\text{сум}}}{n}\right) = 0. \quad (12)$$

Рішення рівняння (12):

$$n = \ln \varepsilon_{\text{сум}} \quad (13)$$

або

$$\varepsilon_{\text{сум}} = e^n. \quad (14)$$

У підсумку отримано залежність, яка аналогічна залежності (10). Порівнюючи залежності (10) і (14), маємо:

$$\varepsilon = e. \quad (15)$$

Отже, у точці екстремуму основного часу обробки τ уточнення на проході круга ε дорівнює числу $e \approx 2,72$.

Розрахунками встановлено, що в точці екстремуму функції τ її друга похідна завжди позитивна. Тому має місце мінімум функції τ .

Отримане теоретичне рішення (14) погодиться з відомим і широко застосовуваним на практиці рішенням, описуваним емпіричною залежністю [3]:

$$k_j = \frac{\lg \varepsilon_{0j}}{a}, \quad (16)$$

де k_j – кількість операцій або переходів; a – коефіцієнт ($a = 0,45 - 0,5$); $j = d$; R_z , Δ – індекс, який позначає параметр геометричного розміру, параметр шорсткості й параметр взаємного розташування поверхонь.

Стосовно до розглянутого випадку залежність (16) зміниться:

$$k_j = \frac{\lg \varepsilon_{d0}}{a}. \quad (17)$$

Величина ε_{d0} по суті визначає сумарне уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$.

Залежність (17) можна представити у вигляді:

$$\varepsilon_{d0} = 10^{a \cdot k_j} \approx 3,1^{k_j}. \quad (18)$$

Порівнюючи залежності (14) і (18), видно, що вони описуються степеневою функцією, але з різними основами. Однак, основи $e \approx 2,72$ й $3,1$ відрізняються незначно, що дозволяє розглядати залежності (14) і (18) ідентичними.

Отже, отримане теоретичне рішення відповідає відомому емпіричному рішенням, що свідчить про його вірогідність.

На рис. 4 і в табл. 2 наведені розраховані за залежністю (13) значення сумарного уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$ (у точці екстремуму основного часу обробки τ) для різної кількості проходів круга n . Як видно, за 3–4 проходи круга можна забезпечити великі значення сумарного уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$, що погодиться із практикою.

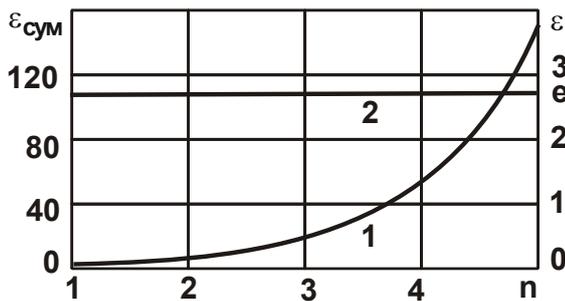


Рис. 4. Залежності сумарного уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$ (1) і уточнення на проході круга ε (2) від кількості проходів круга n

Таблиця 2

Розрахункові значення сумарного уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$

n	1	2	3	4	5	6
$\varepsilon_{\text{сум}}$	2,72	7,4	20,1	54,7	148,9	405

На рис. 4 також показаний характер зміни уточнення на проході круга ε (у точці екстремуму основного часу обробки τ) від кількості проходів круга n . У цьому випадку уточнення на проході круга ε залишається постійним зі збільшенням кількості проходів круга n , рівним $\varepsilon = e \approx 2,72$.

Екстремальна швидкість деталі $V_{\text{дет}}$ виражається:

$$V_{\text{дет}} = \frac{C \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{2 \cdot e \cdot \sigma \cdot B \cdot \cos \alpha}. \quad (19)$$

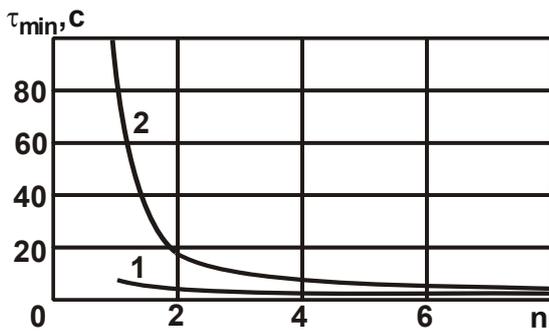


Рис. 5. Залежність основного часу обробки τ від кількості проходів круга n для різних значень сумарного уточнення:
 1 – $\varepsilon_{\text{сум}} = 10$; 2 – $\varepsilon_{\text{сум}} = 100$

же, кількість проходів круга n не настільки істотно впливає на основний час обробки τ за умови забезпечення необхідної точності обробки.

Таблиця 3

Розрахункові значення основного часу обробки τ для $\varepsilon_{\text{сум}} = 100$

n	1	2	3	4	5	6
$\tau, \text{с}$	100,0	20,0	13,95	12,6	12,6	12,9

Для визначення мінімального значення основного часу обробки τ_{min} слід підставити в залежності (13) і (14) у залежність (11):

$$\tau_{\text{min}} = \frac{2 \cdot e \cdot \sigma \cdot B \cdot L \cdot \cos \alpha}{C \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \ln \varepsilon_{\text{сум}} \quad (20)$$

Необхідно відзначити, що в наведені вище залежності не входить такий параметр як висота круга H . Забезпечення заданої погрішності обробки y_n досягається в результаті встановлення оптимальної кількості проходів круга n . Отже, як відзначалося вище, при зубошліфуванні за методом профільного копіювання можна за різними законами задавати глибини шліфування, по суті, на кожному із проходів круга. Це не внесе змін у закономірності формування похибок обробки. В остаточному підсумку буде отримана задана величина y_n .

Розрахунок швидкості деталі $V_{\text{дет}}$ за залежністю (19) для вихідних даних: $C = 3 \cdot 10^4$ Н/мм; $K_{\text{ш}} = 0,4$; $V_{\text{кр}} = 40$ м/с; $\sigma = 10^5$ Н/мм²; $B = 20$ мм; $\alpha = 30^\circ$ показав, що $V_{\text{дет}} = 3,06$ м/хв. Для $\Delta\Pi_1 = 0,4$ мм і $y_n = 0,005 \dots 0,01$ мм сумарне уточнення дорівнює $\varepsilon_{\text{сум}} = 20 \dots 50$. Виходячи з табл. 4, це припускає здійснення 4-х проходів круга для забезпечення заданої точності обробки. З метою зменшення основного часу обробки доцільно на першому проході круга здійснити попереднє шліфування за схемою однопрохідного глибинного шліфування зі зніманням основної частини припуску – 0,37 мм, а на трьох наступних проходах – остаточне шліфування за схемою багатопрохідного шліфування зі зніманням припуску на проході, рівного 0,01 мм. Такий маршрут обробки при зубош-

ліфуванні дозволить забезпечити максимально можливу продуктивність обробки з урахуванням заданої точності оброблюваної поверхні.

Для оцінки вірогідності отриманого теоретичного рішення були проведені експериментальні дослідження технологічних параметрів зубошліфування за методом профільного копіювання на сучасному зубошліфувальному верстаті моделі *HOFLEER RAPID 1250* (тобто в умовах глибинного шліфування) із застосуванням високопористого профільного абразивного круга. Обробка здійснювалася зі швидкістю обертання круга 35 м/с з глибиною шліфування на першому проході 0,37 мм і на трьох наступних проходах – 0,01 мм, швидкістю переміщення круга (уздовж оброблюваного зуба зубчастого колеса) – 3 м/хв.

Таким чином, знімання припуску величиною 0,4 мм на сторону здійснювалося за 4 проходи круга. При цьому забезпечувалася необхідна точність обробки – у межах 0,01 мм, на оброблюваних поверхнях були відсутні припикання й інші температурні дефекти, що свідчить про відносно низьку температуру шліфування й високу ріжучу здатність круга в умовах глибинного шліфування. У порівнянні із традиційно застосовуваною схемою зубошліфування за методом обкату це дозволило до 5 разів збільшити продуктивність обробки.

Список літератури: 1. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами / В.К. Старков. – М. : Машиностроение, 2007. – 688 с. 2. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии изготовления зубчатых колес редукторов приводов шахтных конвейеров / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский, И.В. Гершиков // Труды 18-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2012. – С. 59-68. 3. Технологія машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В.М. Царюк, О.О. Якимов и др. – Одеса : Астропринт, 2001. – 608 с.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ НОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Стрельчук Р.М., канд. техн. наук, **Дитиненко С.А.**, канд. техн. наук
(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

The paper discusses the issues of efficient use of diamond grinding spark new tool materials characterized by high physical-mechanical properties and low workability grinding

Разработка и создание новых конструкционных материалов является необходимой предпосылкой для изготовления и совершенствования современных машин и механизмов; механическая обработка этих материалов будет возрастать и приобретать важное значение. Решение задач, связанных с высокопроизводительной и качественной механической обработкой, вызывает необходимость дальнейшего развития инструментальной промышленности, особенно в части создания новых инструментальных материалов.

Как известно, твердосплавные инструментальные материалы на основе карбида вольфрама и кобальта, карбида титана – карбида вольфрама и кобаль-

та наиболее широко применяются в металлообработке. Применяемый в качестве связующего, кобальт обеспечивает необходимую прочность и позволяет получить материал при сравнительно низкой температуре спекания за счет образования жидкой фазы. Современное станочное оборудование обеспечивает возможности высокопроизводительной обработки материалов в диапазоне скоростей 3...5 м/с; при таких высоких скоростях резания температура в зоне контакта может достигать 800 – 1000°С, что приводит к снижению твердости инструментального материала главным образом из-за наличия кобальта и соответственно к резкому падению износостойкости инструмента. С учетом тенденции широкого применения в промышленности труднообрабатываемых материалов и сплавов для их эффективной обработки возникает необходимость поиска способов повышения работоспособности и долговечности инструментов. Это, в первую очередь можно отнести к разработке и созданию новых инструментальных материалов, повышению их качества; они должны обеспечивать по своим физико-механическим свойствам и химическому составу потребности соответствующего технологического уклада. Если под технологическим укладом понимать совокупность технологий, определяющих признаки экономики, то создание новых инструментальных материалов является одним из факторов, который может обеспечить высокоэффективную обработку современных и новых труднообрабатываемых конструкционных материалов.

В мировой практике в последнее время резко увеличивается производство тонкодисперсных твердых сплавов. В соответствии с современной классификацией, в зависимости от величины зерна карбидной фазы, структура тонкодисперсных твердых сплавов подразделяется на субмикронную (величина зерна – 0,5–1,2 мкм), ультрадисперсную (0,2–0,5 мкм) и нанофазную (менее 0,2 мкм). Задача повышения качества инструментальных материалов во всем мире решается путем создания новых наноструктурных твердых сплавов. Вследствие специфических физико-механических свойств, прежде всего, высокой твердости, низкой теплопроводности и вязкости разрушения, рассматриваемый инструментальный материал обладает низкой обрабатываемостью, а традиционные методы алмазно-абразивной обработки не обеспечивают качества изготовления инструментов и необходимой производительности. Поэтому возникают задачи эффективной обработки наноструктурных сплавов.

Как известно, для обработки труднообрабатываемых материалов применяются комбинированные процессы шлифования. Одним из таких процессов является процесс алмазно-искрового шлифования (АИШ) [1, с. 40]. Он характеризуется стабилизацией высоких показателей работоспособности алмазных кругов, которая достигается введением в зону резания дополнительной энергии в виде электрических импульсов, выявлением условий шлифования, характеризующихся устойчивым состоянием рельефа и обеспечивающих качественное состояние поверхностного слоя (остаточные напряжения, микрогеометрия). Вместе с тем, следует заметить, что процесс АИШ не только позволяет значительно расширить технологические возможности алмазного шлифования, что само по себе имеет большое практическое значение, но и создает предпосылки для прогнозирования и расчета показателей работоспособности и износа алмазных кру-

гов при обработке наноструктурных твердых сплавов, а также оценить их качественные характеристики.

Особенность алмазно-искрового шлифования твердых сплавов по сравнению со шлифованием железо-углеродистых материалов состоит в том, что при шлифовании, например, сталей обрабатываемый материал является анодом, а рабочая поверхность круга – катодом (прямая полярность). Это объясняется возможностью достижения предразрушения поверхности обрабатываемого материала и тем самым облегчения процесса более производительного его съема [1, с.41]. При шлифовании твердых, хрупких материалов с высоким значением модуля упругости подобный подход может привести к образованию трещин, так как большая часть энергии разряда направлена на обрабатываемую поверхность (анод). Поэтому при осуществлении АИШ наноструктурного твердого сплава «ВолКар» применялась обратная полярность, при которой анодом является круг, а катодом – обрабатываемый материал. Это обеспечивает хорошую развитость режущей поверхности алмазных кругов, и их активную самозатачиваемость. К преимуществам можно отнести достижение устойчивого режущего рельефа алмазного круга; при этом необходимая производительность может быть достигнута при значительно меньшей энергии единичных разрядов, что положительно отразится на качестве поверхности твердого сплава.

Список литературы: 1. Беззубенко Н. К. Особенности работы алмазного инструмента в интенсифицированном режиме // Резание и инструмент. – Харьков, 1981. – Вып. 25. – С. 39-43.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

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

The questions of technological ensure accuracy machining of critical parts of machines using the blade and abrasive tools

Перспективными направлениями изготовления высокоточных деталей является применение современных высокооборотных станков типа “обрабатывающий центр” с ЧПУ, прогрессивных конструкций твердосплавных режущих инструментов с износостойкими покрытиями и новых методов высокоскоростного резания. Для их эффективного использования необходимо располагать научно обоснованными рекомендациями для каждого конкретного случая обработки, а также знать технологические возможности различных методов механической обработки с целью выбора из них наиболее эффективных. Поэтому целью работы является определение технологических закономерностей формирования параметров точности при механической обработке, включая резание

абразивными и лезвийными инструментами. Для этого воспользуемся зависимостью для определения величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе, которая предопределяет погрешности обработки при круглом продольном шлифовании (рис. 1) [1, с. 12]:

$$y = y_{уст} \cdot (1 - \varepsilon^{-n}), \quad (1)$$

где $y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр}}$ – установившееся значение y , м; $\varepsilon = 1 + \frac{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot t}{\sigma \cdot Q_{ном}}$ –

уточнение на проходе круга; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; $Q_{ном} = S \cdot V_{дет} \cdot t$ – номинальная производительность обработки, м³/с; S – продольная подача, м/об; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; t – номинальная глубина шлифования, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; n – количество проходов круга.

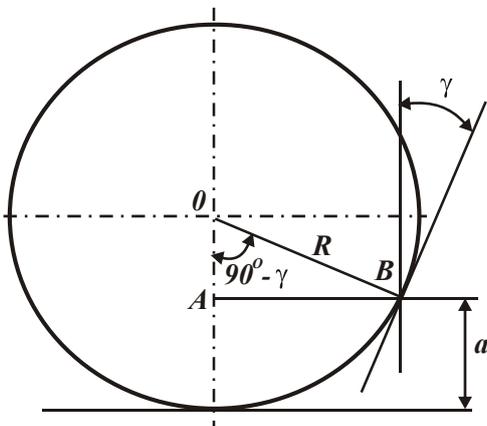


Рис. 1. Расчетная схема угла γ

С увеличением n величина y увеличивается, асимптотически приближаясь к установившемуся значению $y_{уст}$. Очевидно, чем больше ε , тем меньше по времени переходной процесс, в течение которого величина y достигает наибольшего значения $y_{уст}$. Чтобы исключить переходной процесс и повысить эффективность обработки, необходимо создать в технологической системе начальный натяг, равный величине $y_{уст}$.

Уменьшить величину $y_{уст}$ и соответственно погрешность обработки без снижения номинальной производительности обработки $Q_{ном}$ можно уменьшением отношения $\sigma / K_{ш}$ и увеличением параметров c и $V_{кр}$. Это достигается в первую очередь обеспечением высокой режущей способности круга.

Рассматривая режущее зерно в форме шара радиусом R , определим коэффициент шлифования $K_{ш}$ [2, с. 11]:

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

где ψ – условный угол трения режущего зерна с обрабатываемым материалом, изменяется в пределах $0 \dots 45^\circ$ ($tg\psi = f$ – коэффициент трения); γ – отрицательный условный передний угол режущего зерна.

Функцию $tg\gamma$ установим на основе расчетной схемы (см. рис. 1):

$$ctg(90^\circ - \gamma) = \frac{OA}{AB} = \frac{R - a}{\sqrt{R^2 - (R - a)^2}} \approx \sqrt{\frac{R}{2a}}, \quad (3)$$

где a – толщина среза отдельным зерном круга, м.

Упрощенная зависимость (3) получена с учетом того, что $R > a$. Как известно, $\operatorname{ctg}(90^\circ - \gamma) = \operatorname{tg}\gamma$, тогда зависимость (2) примет вид:

$$K_{\text{ш}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{2R}} - f. \quad (4)$$

Соответственно, условное напряжение резания σ [2, с. 12] выразится

$$\sigma = \frac{2\sigma_{\text{сж}}}{K_{\text{ш}}} = \frac{\sigma_{\text{сж}}}{\left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \frac{f}{2}\right)}. \quad (5)$$

Тогда

$$\frac{\sigma}{K_{\text{ш}}} = \frac{\sigma_{\text{сж}}}{2 \cdot \left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \frac{f}{2}\right)^2}. \quad (6)$$

Как видно, отношение $\sigma / K_{\text{ш}}$ тем меньше, чем больше отношение a / R и меньше коэффициент трения f . Исходя из зависимостей (5) и (6), при условии $\left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \frac{f}{2}\right) < 0$ процесс резания (стружкообразования) неосуществим, возможен лишь процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого материала. В этом случае $\sigma / K_{\text{ш}} \rightarrow \infty$. Следовательно, процесс резания начинается при значениях $a / R > f^2 / 2$. Например, при $f = 0,2$ предельное значение $a / R = 0,02$, при $f = 0,3$ соответственно $a / R = 0,045$, а при $f = 0,4$ предельное значение $a / R = 0,08$. Это согласуется с известными экспериментальными данными профессоров Богомолова Н.И. и Крагельского И.В.

Предельная толщина среза a , при которой процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого материала переходит в процесс резания (стружкообразования), исходя из зависимости (5), равна $a = 0,5 \cdot R \cdot f^2$. Полученная зависимость позволяет принципиально по-новому объяснить закономерности изменения предельного отношения a / R . Как видно, оно обусловлено коэффициентом трения f : чем больше f , тем больше a / R . Собственно, этим и определяется значительный разброс известных экспериментальных предельных значений $a / R = (0,04 \dots 0,17)$, при которых происходит переход от упруго-пластического деформирования материала к процессу резания.

Применительно к процессу точения зависимость (1) принимает вид:

$$y = \frac{\sigma \cdot Q_{\text{ном}}}{K_{\text{рез}} \cdot c \cdot V}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{ном}} = S \cdot V \cdot t$ – номинальная производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; S – подача, $\text{м}/\text{об}$; V – скорость резания, $\text{м}/\text{с}$.

Как видно, уменьшить величину y при заданной номинальной производительности обработки $Q_{\text{ном}}$ можно в первую очередь за счет увеличения скорости резания V . Постоянство $Q_{\text{ном}}$ достигается за счет уменьшения подачи S

и глубины резания t . С другой стороны, увеличить $Q_{ном}$ при заданном значении y также можно за счет увеличения скорости резания V , т.е. применяя высокоскоростное резание. Таким образом, на основе проведенного анализа показано, что добиться высокой точности обработки можно как при абразивной, так и лезвийной обработках, реализуя условия высокоскоростного резания.

Список литературы: 1. Рябенков И.А. Повышение эффективности финишной обработки деталей гидроаппаратуры на основе выбора рациональной структуры и параметров операций: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / И.А. Рябенков. – Одесса, 2009. – 21 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. 1. ”Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.

УДК 621.922 : 62 – 752

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАШИН

Сталинский Д.В., докт. техн. наук, **Сизый Ю.А.**, докт. техн. наук,
Романченко П.В., **Любимый Ю.Н.**

(Национальный технический университет “ХПИ”)

The paper presents the results of experimental studies of the vibration characteristics of hand grinders

Ручное обдирочное шлифование широко распространено на предприятиях металлургической и машиностроительных отраслях промышленности.

Вибрационная характеристика (ВХ) работы ручных шлифовальных машин (РШМ) имеет важное значение, поскольку превышение уровня вибраций, воздействующих на оператора РШМ, приводит к развитию профессиональных заболеваний и негативно сказывается на ресурсе работы РШМ.

Авторами данной статьи выполнен достаточно широкий комплекс теоретических исследований влияния неуравновешенности масс абразивных кругов и погрешностей их геометрической формы на ВХ РШМ. Установлено [1], как в литературе [2] существенное превышение уровня вибраций РШМ действующих санитарных норм. Разработанные модели вибраций РШМ основаны на теоретических положениях динамики механических систем [3] и созданной авторами схематизации объекта моделирования.

Одним из основных требований к разработанным моделям, как и вообще к любой модели, является ее достоверность, адекватность реальному объекту. Последнее можно установить только сравнением результатов моделирования с поведением реального объекта.

Попытки сравнить результаты моделирования с описанными в литературе экспериментальными исследованиями вибраций РШМ показали, что эти исследования обладают рядом методических недостатков, которые искажают каче-

ственное поведение РШМ. По результат этих исследований сделаны, по нашему мнению, неправильные выводы такие как: несущественное влияние погрешностей формы круга на уровень вибраций [4] игнорирование влияния потери оборотов РШМ в режиме рабочего хода по сравнению с холостым.

Поэтому авторами поставлена задача проведения собственных экспериментальных исследований вибраций РШМ, с тем, чтобы выполнить качественный анализ поведения динамической системы РШМ, опираясь на который провести дальнейшее совершенствование моделей и обоснование их адекватности.

В качестве объекта исследований взята пневматическая РШМ ИП2014П производства Львовского автомобильного завода выпуска 2011г. Объект исследований выбран случайно из партии выпуска.

Для проведения экспериментальных исследований разработана установка, позволяющая измерять уровень вибраций, обрабатывать полученные результаты и предоставлять их в графическом и цифровом виде. Комплекс аппаратуры для измерения вибраций приведена на рис.1.

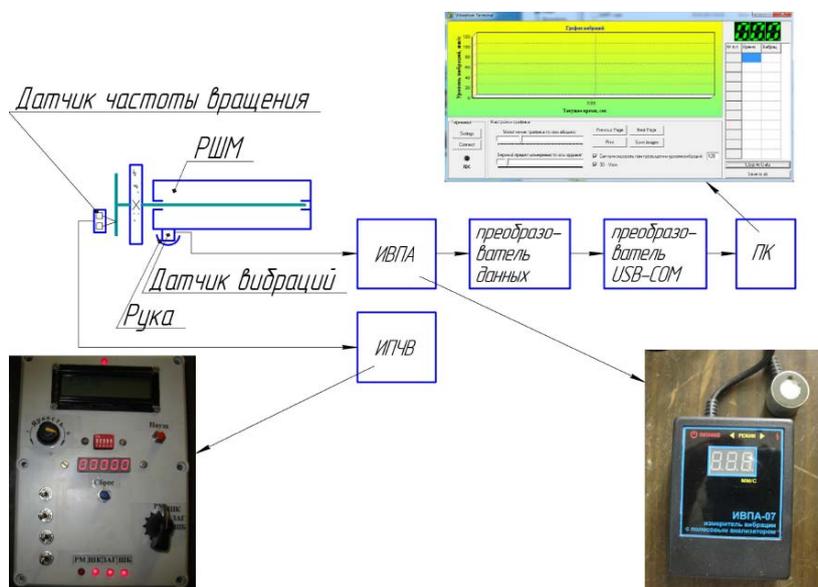


Рис. 1. Комплекс аппаратуры для проведения экспериментов

Оценка уровня вибраций производилась при помощи серийно выпускаемого прибора ИВПА-07 - измеритель вибраций с полосовым анализатором разработки института проблем машиностроения (ИПМ) Украины, г. Харьков. Это показывающий прибор, измеряющий среднеквадратическое значение (СКЗ) вибрации. Для регистрации результатов измерений прибор ИВПА-07 был скомутирован с персональным компьютером (ПК).

В общем виде, как показано рис.1, такая измерительная система состоит из нескольких блоков:

1. Измеритель вибрации ИВПА-07 с пьезоэлектрическим датчиком вибраций.
2. Преобразователь данных поступающих с измерителя вибраций, на базе микроконтроллера *ATMega8* микросхемы *MAX232N*.
3. Преобразователь *USB-COM* для подключения системы к порту ПК.

На рис.1 выведено окно на дисплее ПК, в котором настраивается программа обработки результатов измерений, в виде графика и в виде дискретных числовых значений для соответствующих значений времени.

Датчик вибрации удерживался в левой руке оператора и прижимался к левой рукоятке РШМ.

РШМ подключалась к пневмосети и дросселированием потока сжатого воздуха подаваемого к РШМ создавался расход воздуха обеспечивающий частоту вращения РШМ равную 85м/с, что для абразивного круга ПП 150x25x32 соответствует рекомендуемой скорости шлифования, равной 40м/с. Настройка частоты вращения осуществлялась по разработанному показывающему прибору ИП4В, показанном на рис. 1. В качестве датчика этого прибора использовалась оптическая пара, которая испускает оптический сигнал и принимает его отражение от торца полимерного диска. Половина торца этого диска окрашена в белый цвет, отражающий луч света, а другая – в черный, поглощающий луч света. Таким образом, создается один ступенчатый сигнал за оборот круга РШМ, а число их вычисляется прибором ИП4В и представляет визуально при помощи семисегментных индикаторов. При выполнении экспериментальных исследований авторами решались следующие задачи:

1. Определение внутренних источников колебаний РШМ при работе на холостом ходу без абразивного круга.

2. Влияние шлифовального круга высокой точности (дисбаланс круга сведен к минимуму) на ВХ РШМ при холостом режиме работы. В качестве шлифовального круга использовался металлический диск – имитатор диаметром и массой равными диаметру и массе абразивного круга.

3. Определение влияния дисбаланса абразивного круга на ВХ РШМ. Задача решалась при установке на РШМ имитатора абразивного круга с заданным дисбалансом.

4. Определение влияния направления вектора дисбаланса абразивного круга на ВХ РШМ. Задача решалась установкой на имитатор груза заданной массы в различных угловых положениях.

5. Определения влияния частоты вращения шпинделя РШМ на уровень вибрации. Задача решалась с целью косвенной оценки изменения вибраций РШМ при потере оборотов на рабочем ходе в сравнении с холостым ходом.

6. Определение ВХ РШМ при холостом ходе

- 7.Измерение вибраций на рабочем ходе РШМ с абразивными кругами ПП150x25x32 серийного производства, случайно отобранных из партии. Задача решалась сравнением вибраций на холостом и рабочем ходах с одними и теми же абразивными кругами.

Условия проведения экспериментов представлены на схеме рис. 2.

В результате экспериментального определения ВХ РШМ при работе на холостом ходе без абразивного круга установлено, что СКЗ виброскорости составляет около 20 мм/с. ВХ РШМ приведена на рис. 3. Уровень вибрации в 20 мм/с достаточно высок и близок к предельно допустимому для заданной рабочей частоты значению в 25мм/с, что свидетельствует о наличии интенсивного внутреннего источника вибраций.

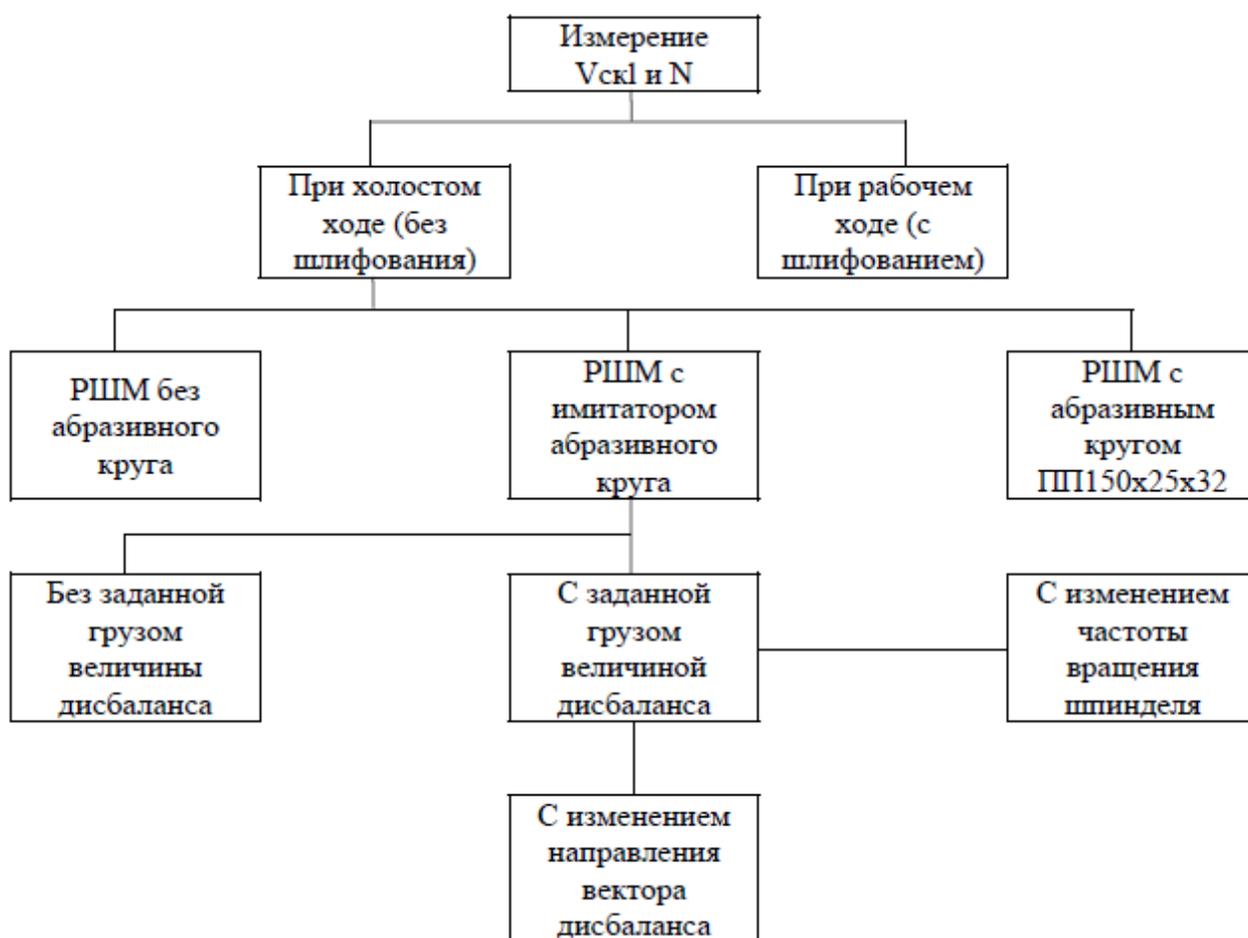


Рис. 2. Схема условий проведения экспериментальных исследований

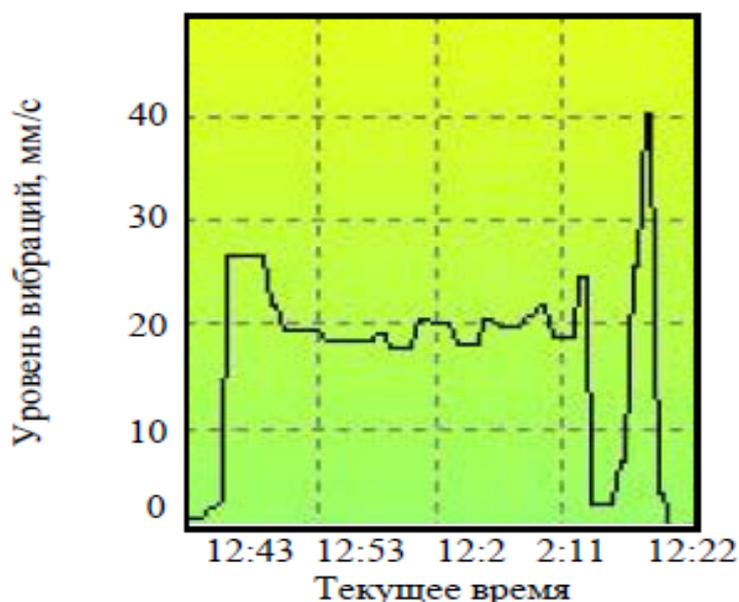


Рис. 3. ВХ РШМ при работе на холостом ходе без абразивного круга

Основным источником внутренних вибраций РШМ несомненно является неуравновешенность ротора ротационного пневмодвигателя, т.к. прочие источники такие как биение шпинделя РШМ, муфты соединения шпинделя с ротором и пр. имея небольшую массу, очевидно не могут быть превосходящими не-

уравновешенность ротора. Теоретически, при установке на РШМ абразивного круга с дисбалансом, сведенным к минимуму, влияние внутреннего источника колебаний на ВХ РШМ должно снизиться за счет заметного увеличения массы системы, а, следовательно, увеличения ее инертности. В результате экспериментального определения ВХ РШМ при работе на холостом ходу с имитатором абразивного круга ПП150х25х32 установлено, что, вопреки ожиданиям, уровень СКЗ виброскорости увеличился по сравнению с ВХ РШМ при холостом ходе без абразивного круга и составил около 27мм/с. ВХ РШМ приведена на рис. 4. Из полученного результата можно сделать вывод, что имитатор абразивного круга полностью не обеспечивает отсутствие дисбаланса и, очевидно, биение подшипников шпинделя РШМ с кругом – имитатором приводит к значительно большей центробежной силе, чем без абразивного круга.

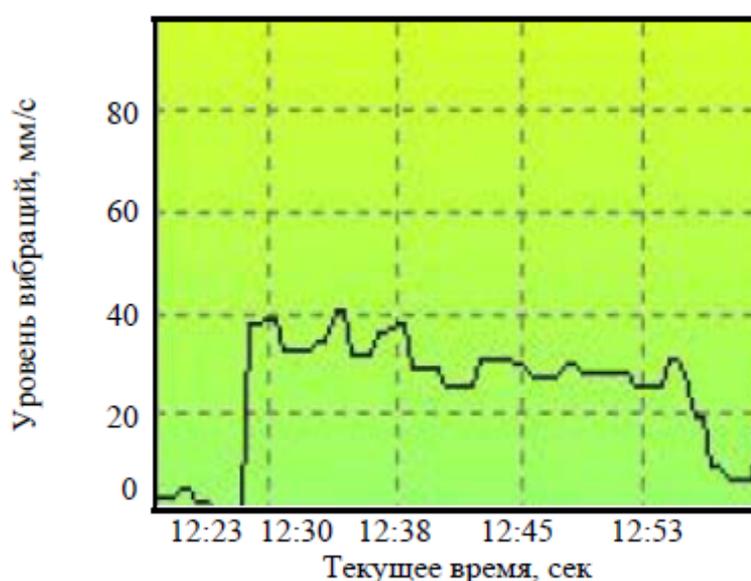


Рис. 4. ВХ РШМ при работе на холостом ходу с имитатором абразивного круга ПП150х25х32

Для определения влияния дисбаланса абразивного круга на ВХ РШМ в имитаторе выполнены четыре отверстия, равнорасположенные по окружности. В одно из отверстий устанавливается груз определенной массы, имитирующий дисбаланс.

Для оценки соответствия требований стандартов, предъявляемых к неуравновешенности масс абразивных кругов для РШМ [5] требованиям санитарных норм на локальные вибрации [6] грузом 7,5 г был обеспечен дисбаланс круга, равный $0,004 \times M_{кр} = 0,004 \times 1,139 = 4,5$ г на диаметре 150 мм, где $M_{кр}$ – масса абразивного круга в кг. ВХ РШМ для такой системы приведена на рис. 5.

Установлено, что СКЗ виброскорости при использовании абразивного круга с предельно допустимым дисбалансом составляет около 41 мм/с, что в 1,64 раза превышает допустимое санитарными нормами значение. Результаты эксперимента качественно подтверждают результаты ранее выполненных авторами теоретических исследований.

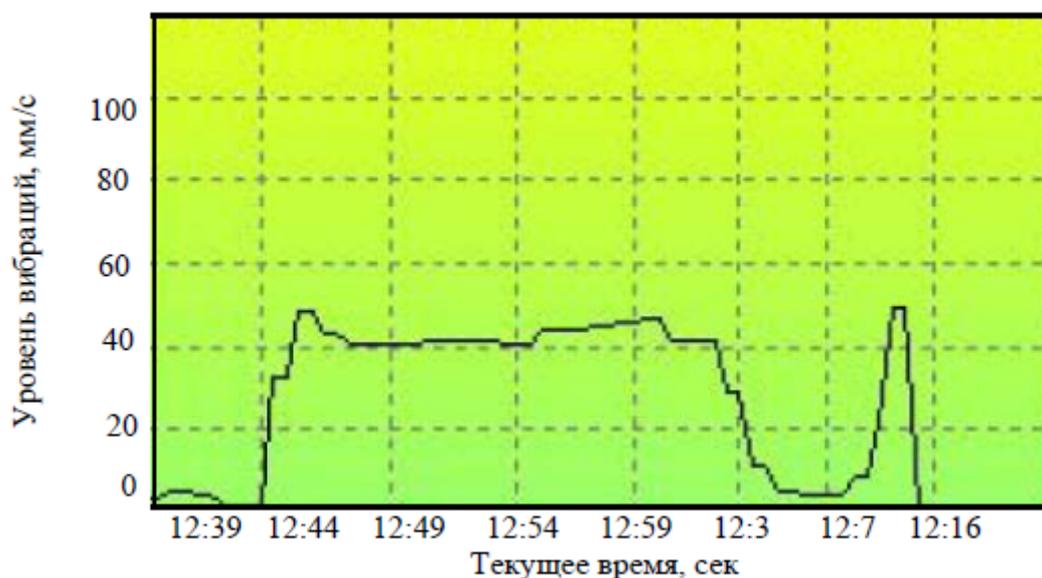


Рис. 5. ВХ РШМ при работе на холостом ходу с имитатором абразивного круга ПП150x25x32 с дисбалансом, равным допустимому значению

Как ранее было отмечено в настоящей статье, при работе РШМ имеет место существенное воздействие внутреннего источника колебаний. Результат воздействия двух источников колебаний, несомненно, зависит от взаимного положения их векторов.

Для выявления влияния взаимного положения векторов дисбаланса ротора РШМ и дисбаланса абразивного круга экспериментальные исследования ВХ РШМ выполнялись при последовательной установке груза, имитирующего дисбаланс, в четыре равнорасположенные с шагом 90° отверстия в имитаторе. Результаты эксперимента при первоначальном угловом положении груза, равном 0° соответствуют ВХ РШМ, приведенной на рис. 5, для последующих угловых положений груза, равных 90° , 180° и 270° – на рис. 6.

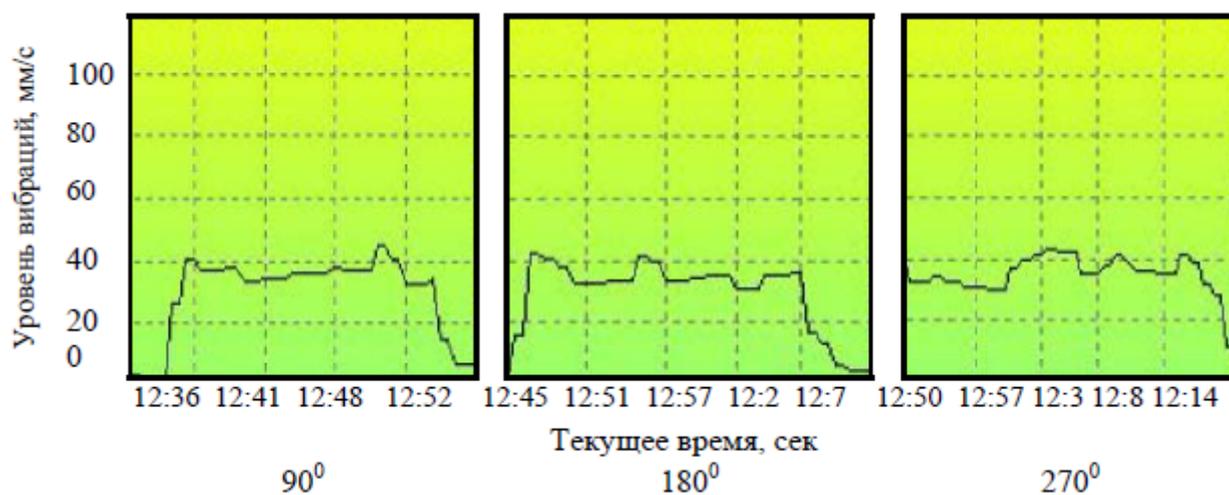


Рис. 6. ВХ РШМ при работе на холостом ходу с имитатором абразивного круга ПП150x25x32 с дисбалансом, равным допустимому значению и различными взаимными положениями векторов неуравновешенности ротора РШМ и неуравновешенности абразивного круга

Из приведенных на рис. 6 и рис. 7 ВХ РШМ видно, что в зависимости от взаимного положения векторов неуравновешенности ротора РШМ и абразивного круга СКЗ виброскорости существенно изменяется, в нашем случае от 35 мм/с до 41 мм/с, что также подтверждает существенное влияние внутренних источников вибрации на ВХ РШМ. Исследования влияния величины дисбаланса на ВХ РШМ проводились при установке грузов в положение наибольшего уровня вибраций массами 4,7 г, 7,5 г и 10,65 г, что для абразивного круга диаметром 150 мм соответствует дисбалансу 2,8 г, 4,5 г и 6,4 г. Результаты измерений приведены в табл. 1.

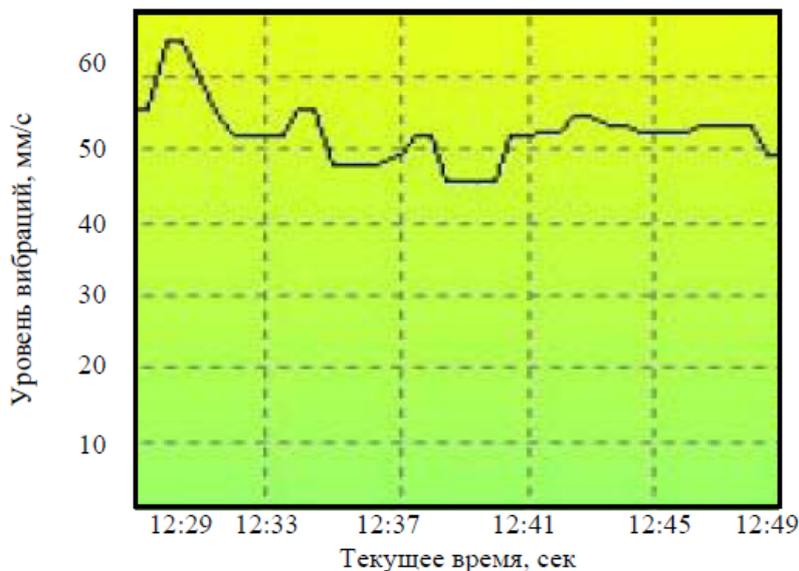


Рис. 7. ВХ РШМ при работе на холостом ходу с абразивным кругом ПП150х25х32 серийного производства, случайно отобранном из партии

Таблица 1

№ п/п	$M_{гр}$, гр	$M_{д}$, гр	$V_{скз}$, мм/с
1	4,7	2,8	36
2	7,5	4,5	41
3	10,65	6,4	45

Результаты исследования влияния частоты вращения абразивного круга для допустимого дисбаланса в угловом положении 0^0 приведены в табл. 2.

Таблица 2

N , об/с	85	70	60
$V_{скз}$, мм/с	41	32	29

Полученные результаты подтверждают ожидаемую закономерность изменения СКЗ виброскорости в зависимости от величины дисбаланса абразивного круга и частоты его вращения.

Важным результатом проведенных экспериментов является выполненное сравнение ВХ РШМ на холостом ходе с имитатором с предельно допустимым дисбалансом и абразивными кругами серийного производства, случайно отобранными из партии. Результаты таких исследований приведены на рис. 7.

Из приведенных ВХ РШМ видно, что СКЗ виброскорости находится в пределах от 45 до 65 мм/с или, в среднем, примерно на уровне 53 мм/с, что на 10 мм/с больше максимальных вибраций РШМ с имитатором с допустимым дисбалансом. При этом неизвестно взаимное положение векторов дисбаланса абразивного круга и ротора РШМ, изменение которого, как было установлено ранее, приводит к изменению СКЗ виброскорости в пределах 6 мм/с. Таким образом, если допустить маловероятное событие, что при проведении эксперимента взаимное расположение векторов дисбаланса абразивного круга, случайно отобранного из партии, и ротора РШМ было наиболее благоприятным, тот в реальных условиях СКЗ виброскорости может иметь еще большие значения.

На заключительном этапе экспериментальных исследований были оценены ВХ РШМ на рабочем ходе, т.е. при выполнении операции обдирочного шлифования. ВХ РШМ на рабочем ходе приведены на рис. 8, из которого видно, что СКЗ виброскорости на рабочем ходе находится в диапазоне от 35 мм/с до 60 мм/с, т.е. практически на том же уровне, что и на холостом ходе.

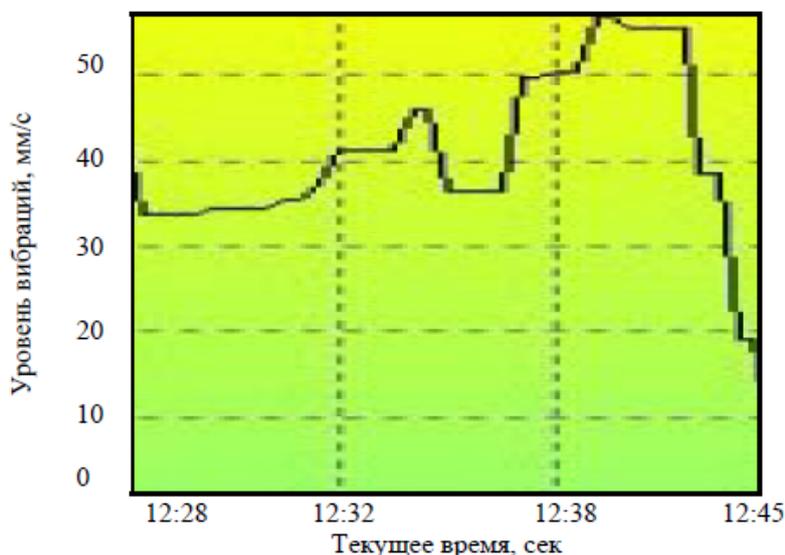


Рис. 8. ВХ РШМ при работе на рабочем ходу с абразивным кругом ПП150х25х32 серийного производства, случайно отобранным из партии

При этом отмечено, что при рабочем ходе частота вращения шпинделя РШМ (при неизменной настройке дросселя экспериментальной установки) снижается с 85 об/с до 70 – 75 об/с. На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Большое влияние на ВХ РШМ оказывает внутренний источник вибрации – неуравновешенность ротора пневмодвигателя РШМ.
2. Затруднительно экспериментально оценить вибрации от внутренних источников при работе РШМ с абразивным кругом в связи со сложностью изготовления имитатора без дисбаланса с сохранением конструкции его установки на РШМ.
3. Установлено значительное влияние взаимного положения векторов неуравновешенности абразивного круга и ротора РШМ.

4. Вибрации РШМ с кругом на холостом и рабочем ходе находятся примерно на одном уровне, что в некоторой степени объясняется потерей оборотов на рабочем ходу и, возможно, сопротивлением нормальной составляющей силы резания радиальному перемещению абразивного круга за счет его дисбаланса.

5. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что экспериментально выделить из всех факторов, влияющих на ВХ РШМ, влияние только погрешностей формы абразивного круга и его установки на шпиндель РШМ затруднительно и, несомненно, что такую задачу рационально решать моделированием.

Список литературы: 1. Сталинский Д.В. Вибрации ручной шлифовальной машины при рабочем и холостом ходе / Д.В. Сталинский, П.В. Романченко, Ю.А. Сизый. – Х.: НТУ «ХПИ». №40, 2011. – С. 3-8. 2. Микулинский А.М. Защита от вибрации при работе с пневматическими шлифовальными машинами / А.М. Микулинский, Г.А. Стариков, Л.С. Шейман. – М.: Машиностроение, 1976. – 86 с. 3. Левин А.И. Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков / А.И. Левин. – М.: Машиностроение, 1978. – 183 с. 4. Страмцав Ю.Ю. О влиянии абразивных кругов на вибрацию ручных шлифовальных машин / Ю.Ю. Страмцав, Я.Г. Готлиб // Механизированный инструмент и отделочные машины: научн.-техн. сб., 1969. – Вып. 2. С. 44-51. 5. ГОСТ 23182-78. (СТ СЭВ 559-77) Круги шлифовальные для ручных машин. Технические условия. 6. ГОСТ 17770-86. Машины ручные. Требования к вибрационным характеристикам. – Взамен ГОСТ 17770-72.

УДК 67.02:66.083

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СПЕКАНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКОПЛОТНОЙ СТРУКТУРОЙ

Гуцаленко Ю.Г.

(Национальный технический университет «ХПИ»)

The paper discusses the theory and practice of optimal organization of electric pressure sintering technology and diamond grinding powders with high-density structure

С позиций ускорения эффективной реализации соответствующих современному, шестому технологическому укладу нанопорошковых материаловедческих инноваций актуализируется проблематика прогнозирования оптимальных условий осуществления рабочих процессов предварительного (спекание) и окончательного (шлифование) формообразования их объектов. Физические особенности и преимущества комбинированных прямым токоподводом в операционную зону технологий spark plasma sintering (SPS) и алмазно-искрового шлифования (АИШ) обусловлены действием электрических разрядов.

В практике обоих технологических методов, SPS и АИШ, параметром управления и фактором варьирования в поиске наилучшего технического результата является давление, испытываемое объектом рабочего процесса. При спекании, например, высокоплотного тонкодисперсного композита Al_2O_3-WC

(50/50 мас. %) с исходной зернистостью порошков 40–80 нм, диапазон оптимальных давлений первых ступеней цикла примерно от 7,5 до 25 МПа (рис.1).

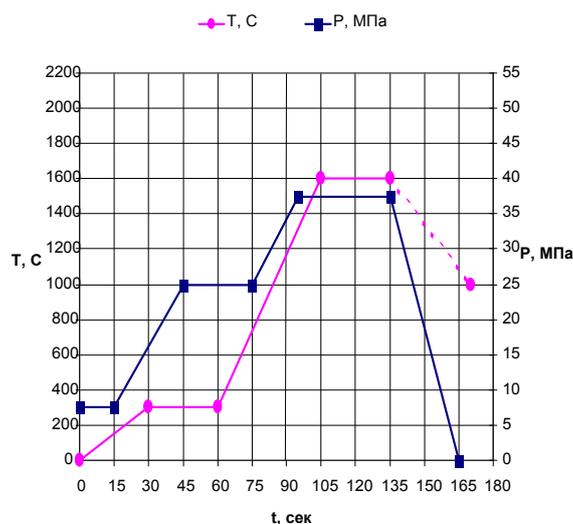


Рис. 1. SPS-циклограммы Al_2O_3 –WC [1, с. 15]

В АИШ полученного спеканием по технологии SPS карбида вольфрама формирование его функционально оптимальной по критерию напряженного состояния шлифованного материала высокоплотной поверхностной структуры также происходит при некотором внутреннем значении давления в экспериментальном диапазоне давлений шлифовального рабочего контакта (рис. 2).

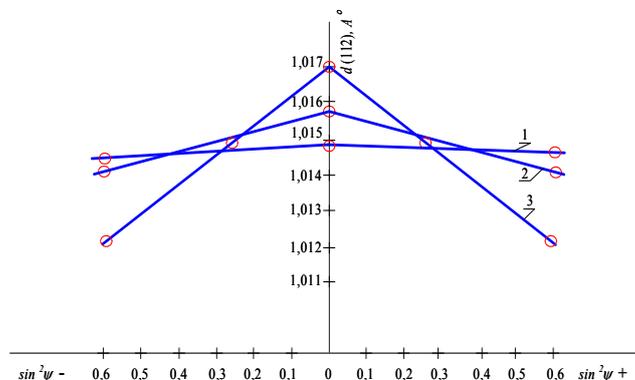


Рис. 2. $\sin^2 \psi$ – графики WC: 1 – исходное состояние после SPS; 2, 3 – после АИШ под давлением 1,2 МПа (2) и 0,4 МПа (3) [2, с. 155]

Теоретическое объяснение эффективных условий для возбуждения электроразрядных процессов рассмотрим с преимущественным вниманием к подавлению наибольших пор, размер которых h принято считать [3, с. 122] соизмеримым с исходной зернистостью спекаемых порошков. При этом будем исходить из схематизации электроразрядного тока [4, с. 8], при определенных условиях допускающей его прохождение в порошковых средах непосредственно в промежутках пористости. Очевидно, что с позиций энергоэффективного преодоления (уменьшения) пористости наибольший интерес представляет минимизация потенциала зажигания электрических разрядов (U_{np}) в наибольших порах.

Предположим далее, что эти условия с некоторым приближением могут быть определены из известных закономерностей Пашена-Пеннинга, описывающих вовлечение газовых сред в электроразрядные процессы, во-первых, для однокомпонентных сред (Пашен): по механизму с $U_{np\ opt} = U_{np\ min}$ для данного газа при соответствии конкретным U_{np} конкретным $P \cdot h = (P \cdot h)_{np}$; во-вторых, для компаундных (с примесями) газовых структур (Пеннинг): с дополнительным понижением минимумов Пашена, если потенциал энергии возбуждения метастабильного уровня для этих примесей ниже, чем в чистом основном газе.

Тогда, исходя из определяющей роли электроразрядного фактора в уплотнении порошковых структур и экспериментальных закономерностей Пашена-Пеннинга, можно предположить, что оптимальное давление прессования P_{opt} , во всяком случае в первом приближении, подчиняется зависимости вида $P_{opt} = k \cdot (P \cdot h)_{opt} / h$, где k – поправочный коэффициент, учитывающий состав газовой среды, а также криволинейность геометрии промежутка в порах (кривые Пашена получены в экспериментальных условиях с плоскими электродами и однородным электрическим полем) и др.

Из разрешения закона Пашена для газовой среды (в приближенной оценке по [5, с. 193] $(P \cdot h)_{opt} = 0,8 \text{ Па} \cdot \text{м}$) относительно определяющей максимальной пористости консолидата реальной практики исходных зернистостей спекаемых порошков следует диапазон P_{opt} от 10 до 20 МПа (рис.1), с последовательной ориентацией на преимущественное подавление максимальных исходных пор от более ($h = 80 \text{ нм}$) к менее крупным ($h = 40 \text{ нм}$).

Из сопоставления давлений, установленных опытно-экспериментальным путем на начальных этапах реализации полного технологического цикла нанопорошковой электроконсолидации (рис. 1) и из $(P \cdot h)_{opt}$ по Пашену в пределах диапазона исходной максимальной пористости, следует, что теоретический диапазон является внутренним по отношению к опытному, с отклонениями каждой границы опытного диапазона на 25 %. При этом коэффициент k соответственно изменяется от $k = 0,75$ (нижняя граница) до $k = 1,25$ (верхняя граница). Таким образом обеспечивается повышенная надежность формирования оптимальных условий электроразрядного подавления пористости в условиях реальной форморазмерной статистики максимальных пор. При этом условия выдержки $P_{opt} = 25 \text{ МПа}$ (рис. 1) уже соответствуют запуску как преобладающего механизма деформационной реструктуризации спекаемого компаунда с уплотнительным скольжением границ смежных зерен друг относительно друга.

Наилучший качественный результат при шлифовании (рис. 2, кривая 3) при некотором фиксированном плане экспериментальных исследований значении рабочего напряжения U_{np} электроразрядной инициации в зоне резания также, по-видимому, соответствует следствию из закономерностей Пашена-Пеннинга $P_{np} = k \cdot (P \cdot h)_{opt} / h$ в физико-геометрическом рассмотрении идентичными условий возбуждения электроразрядных эффектов в порах в объеме спекаемого консолидата и в приповерхностном слое шлифуемого твердого тела.

Исходя из рассмотренного практического опыта, изложенные теоретические представления о механизме эффективного подавления пористости нанопорошковых консолидатов в их объеме (при спекании) и поверхностном слое (при

шлифовании) применимы на стадии подготовки производства в разработке предварительных технологических регламентов заготовительного (SPS) и окончательного (АИШ) формообразования изделий из тугоплавкой керамики.

Работа выполнена по комплексному проекту ХНУ, НТУ «ХПИ», УГАЖТ (г. Харьков) и СГУ (г. Сумы) «Многокомпонентные композиционные материалы и покрытия на основе наносоединений тугоплавких металлов», номер государственной регистрации 0113U001340 (Украина).

Список литературы: 1. Геворкян Э.С., Гуцаленко Ю.Г. Подбор оптимальных режимов горячего прессования нанопорошковых смесей Al_2O_3-WC для инструментальных применений // Восточно-европ. журнал передовых технологий. – 2010. – №5/1(47). 2. Стрельчук Р.М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбіду вольфраму: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Харків, 2011. – 205 с. 3. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 4. Физика и практика электроконсолидации под давлением вольфрамокарбидных материалов и композитов [электронный ресурс] / Ю.Г. Гуцаленко // 2-я междунар. школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей» [материалы докладов]; г. Москва, Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», ЛЭМПНМ, 20-23 мая 2013 г. – Электрон. дан. (32 с.: 26,3 Мб). – Режим доступа: <http://lemc-lab.mephi.ru/content/file/news/gutsalenko.pdf> . 5. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1983.

УДК621.923

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ДОВОДКЕ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Шкурупий В.Г., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

The paper discusses the issues of technological quality assurance parts machined surfaces with loose abrasive finishing

Геометрические и физико-химические свойства поверхностных слоев определяют функциональное состояние ответственных деталей новой техники. Поверхностный слой деталей формируется в процессе их обработки.

На производительность обработки и достижимое качество поверхности при доводке свободным абразивом оказывают влияние некоторые факторы: абразив, состав смазывающей жидкости, удельное давление, скорость резания, обрабатываемый материал и материал притира и др. Качество поверхностных слоев деталей машин определяется методами и оптимальными режимами их обработки. На финишных операциях обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей [1, с.345]. Тем не менее, на результат этого формирования влияют предыдущие операции, включая заготовительные.

Целенаправленное формирование поверхностного слоя с заданными свойствами является одной из важнейших задач технологии изготовления дета-

лей. Управляя финишной операцией, можно получить поверхностный слой, который отвечает требованиям чертежа и техническим условиям. Проблема управления геометрическими характеристиками и физико-химическим состоянием поверхностей деталей актуальна.

В современной литературе рассматривается большое количество технологических факторов, по-разному влияющих на процесс доводки свободным абразивом [2, с. 32-34]. К основным из них относятся: материал и зернистость абразива, материал и конструкция притира, режимы обработки, материал обрабатываемой детали. Основными абразивными материалами для доводки являются электрокорунд нормальный, электрокорунд белый, карбид кремния зеленый.

В работе [3, с. 172] изучены параметры шероховатости поверхности, достигаемые в результате полирования образцов из стали марки 30ХГСА алмазными лентами, однако, отсутствует анализ изменения высотных параметров шероховатости от технологических факторов полирования. В связи с этим важно оценить изменение высотных параметров шероховатости поверхности и съема материала в процессе обработки.

Для исследований были выбраны часто применяемые сплавы с особыми свойствами поверхностных слоев и с их использованием проведены опыты по установлению влияния материала притира на съем металла и чистоту поверхности при доводке стальных образцов. Опыты проводились совместно с кандидатом технических наук, доцентом кафедры техники и технологии Харьковского национального экономического университета Дудко Петром Дмитриевичем, одним из основоположников теории обработки свободным абразивом.

При проведении исследований обработке подвергались образцы из стали 20Х, рабочая поверхность которых после цементации и термической обработки имела твердость HRC = 61–64. Диаметр обрабатываемой поверхности – 25 мм, длина – 85 мм. Обрабатываемая поверхность имела две кольцевых канавки шириной по 2 мм. Доводка производилась на специальной установке, созданной на базе круглошлифовального станка, у которого шлифовальная бабка была заменена гидравлической головкой. Образцы закреплялись в центрах и получали вращательное движение.

Притир в виде бруска шириной 25 мм закреплялся на гидравлической головке и совершал вдоль оси обрабатываемой детали медленные возвратно-поступательные движения (60 двойных ходов в минуту с длиной хода 15 мм) и быстрые осциллирующие движения (800 колебаний в минуту с длиной хода 5 мм). В качестве материала для изготовления притиров был принят серый чугу́н. Этот материал выбран для исследования в связи с тем, что он широко доступен, легко обрабатывается и получил большое распространение при изготовлении притиров. Абразивные смеси состояли из порошка электрокорунда разной зернистости и керосина.

Изучение зависимости съема металла при доводке в зависимости от продолжительности обработки поверхности образцов из стали марки 20Х показало (рис. 1), что съем металла в зависимости от времени обработки сначала возрастает, а затем стабилизируется при прекращении подачи абразива в рабочую зону. Это, на наш взгляд, связано с дроблением зерен, снижением удельного дав-

ления притира, изменением состава рабочей среды (наличие частиц обрабатываемого материала). При этом значения высотного параметра шероховатости поверхности R_a с течением времени обработки уменьшаются, а затем по достижении определенных значений (присущих данной зернистости абразива) стабилизируются и почти не изменяются.

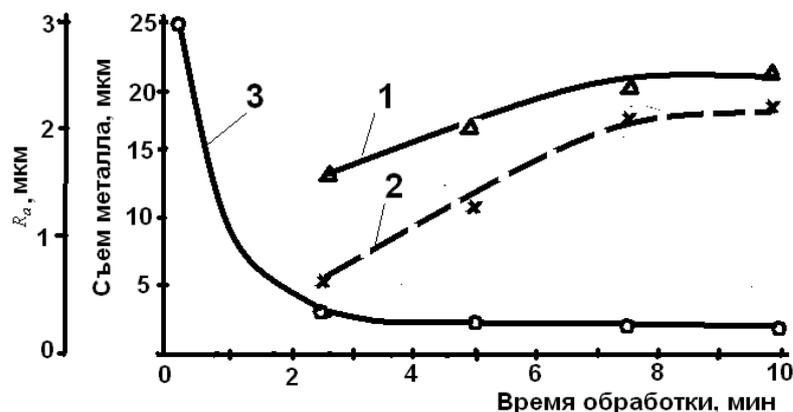


Рис. 1. Съём металла (1, 2) и среднее арифметическое отклонений профиля шероховатости поверхности R_a (3) в зависимости от времени обработки (значения параметра R_a до обработки 1 – 3 мкм и 2 – 0,8 мкм)

Абразивные зерна в зоне обработки находятся в свободном или закрепленном состоянии. Это зависит от давления и материала притира, геометрии и природы абразивных зерен, состава паст. Остаточные напряжения значительно выше в поверхностном слое доведенных поверхностей с превалирующим количеством перекатывающихся зерен. Это можно объяснить спецификой формирования поверхностного слоя, так как перекатывающиеся абразивные зерна не срезают микро гребешки, а пластически деформируют их, что способствует повышению сжимающих напряжений в поверхностном слое. С повышением давления количество закрепленных (шаржированных) зерен увеличивается.

Выводы. 1. В процессе доводки с превалирующим количеством активных закрепленных зерен на обрабатываемой поверхности образуются глубокие риски, способствующие более интенсивному съему металла и увеличению значений высотных параметров шероховатости обрабатываемой поверхности.

2. Для получения высокого качества формирования поверхностного слоя деталей в процессе доводки необходима обработка с превалирующим количеством перекатывающихся абразивных зерен.

3. Стабилизация значений съема металла в процессе обработки происходит значительно позже, чем стабилизация значений высотных параметров шероховатости поверхности R_a .

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов.: Справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 2. Шубников А. В. Элементарные механические явления при шлифовании и полировании / А.В. Шубников // Качество поверхности деталей машин. – М.: Изд. АН СССР, 1957. – №3. – С. 32-35. 3. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке /Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий. – Киев: Наук. думка, 1979. – 244 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ СОПЛА ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Андилахай А.А., докт. техн. наук

(ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

The paper presents the results of experimental studies nozzle configuration by the maximum number of abrasive grains injected into the jet into the abrasive slurry

При финишной обработке мелких точных деталей (массой до 3 г) малой жесткости и сложной конфигурации эффективно применение метода абразивной обработки деталей затопленными струями, расширяющего технологические возможности струйно-абразивной обработки [1]. Он осуществляется с помощью струй сжатого воздуха, затопленных абразивной суспензией, т.к. при такой схеме обеспечивается сохранность (долговечность) сопел, подающих сжатый воздух, и стабильность процесса обработки [2].

Сущность данного метода обработки заключается в том, что в рабочую камеру, содержащую свободно помещенные обрабатываемые детали и абразивную суспензию, подают сжатый воздух в виде струй, расположенных таким образом, чтобы достигались обработка и перемешивание деталей, а также обеспечивалась сохранность внутренних поверхностей рабочей камеры. Обеспечение равномерного перемешивания обрабатываемых деталей и всестороннее воздействие абразивных зерен на их поверхности являются важнейшими условиями достижения высоких показателей качества и производительности абразивной обработки. Эффективность метода зависит от геометрической формы сопла. Поэтому представляется актуальным проведение комплекса экспериментальных исследований конфигурации сопел по критерию максимального количества абразивных зерен, инжектируемых в струю, истекающую в абразивную суспензию.

Для этого испытывались цилиндрические, конические расширяющиеся, конические сужающиеся и сверхзвуковые сопла Лаваля с длиной каналов 3, 6, 10 мм [3]. Критерием выбора наилучшей конфигурации сопла является количество отпечатков абразивных зерен, инжектированных в струю после среза сопла на полированных латунных пластинах-экранах. Экраны устанавливали перед соплом на расстоянии 10, 20, 30 и 50 мм и удерживали неподвижно 5 секунд. Эксперименты выполняли на лабораторной установке с завихрителем (сопловым аппаратом), оснащенным сменными соплами и углублениями перед соплом на указанных расстояниях. Пластины, в виде экрана устанавливали перед соплом с помощью направляющего устройства (рис. 1), благодаря чему обеспечивалась возможность точной выдержки периода 5 секунд и расстояния от среза сопла до экрана.



а



б

Рис. 1. Внешний вид устройства для установки экрана перед соплом завихрителя на период, равный 5-ти секундам:

- а – положение над соплом (вне струи);
- б – перед соплом (в зоне действия струи)

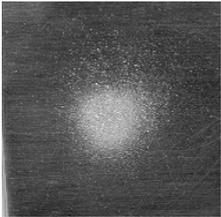
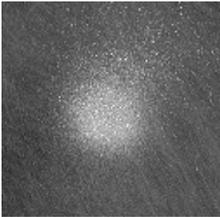
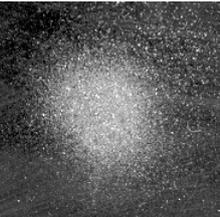
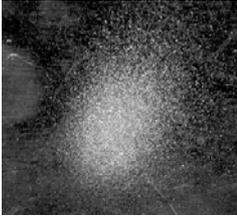
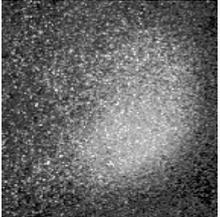
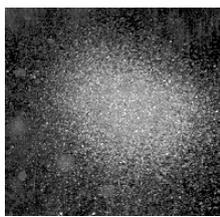
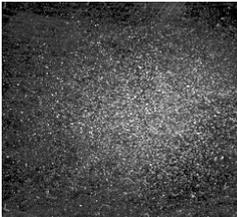
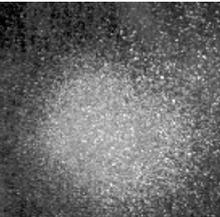
Важным условием проведения опытов является постоянство концентрации абразивной суспензии и условий подачи абразивного материала в зону расположения испытуемого сопла. В связи с этим использовали завихритель с шестью соплами диаметром 2 мм и суспензию с количественным составом: 3 л воды и 0,18 л абразивного материала, в качестве которого использовали шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый) зернистостью 63П (630 мкм). Конфигурацию и длины каналов сопел варьировали в соответствии с перечнем опытов по выявлению наибольшей скорости, перечисленных выше. В результате каждого опыта получали отпечатки абразивных зерен в виде пятна на полированной пластине. Каждый образец фотографировали, а затем снимали профилограмму по линии, проходящей через центр пятна.

В табл. 1 приведены фотографии отпечатков абразивных зерен.

Из таблицы видно, что наиболее плотными по количеству следов на единицу площади являются отпечатки, полученные для сверхзвукового сопла Лаваля. Особенностью инжекции в струю, истекающую из этого сопла, является присоединение большего количества абразивных зерен уже в начале струи, т. е. на расстоянии 10 мм от среза сопла. Это объясняется отсутствием ядра струи в виде конуса на расстоянии 3–4-х диаметров канала сопла, т.е. на расстоянии 6–8 мм от среза сопла, характерного для цилиндрических и конических сопел. Профилограммы, снятые с участков сосредоточения следов абразивных зерен на полированных экранах записаны на электротермическую ленту с поперечным увеличением в 2000 раз и продольным – в 400 раз (рис. 2, рис. 3).

Таблица 1

Сравнительная характеристика отпечатков абразивных зерен на полированных латунных образцах. Условия обработки: абразивный материал – шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм); давление сжатого воздуха – 0,4 МПа; время обработки – 5 секунд

Расстояние до среза сопла, мм	Коническое расширяющееся сопло	Коническое сужающееся сопло	Цилиндрическое сопло	Сверхзвуковое сопло
10				
20				
30				
50				

Из четырех разновидностей профилограмм, снятых с обработанных латунных экранов, явно выделяются профилограммы с образцов, обработанных из сверхзвукового сопла Лаваля. Характер профилограмм свидетельствует о том, что отпечатки имеют не только наиболее плотное расположение следов абразивных зерен, но наибольшую глубину, судя по размаху кривой.

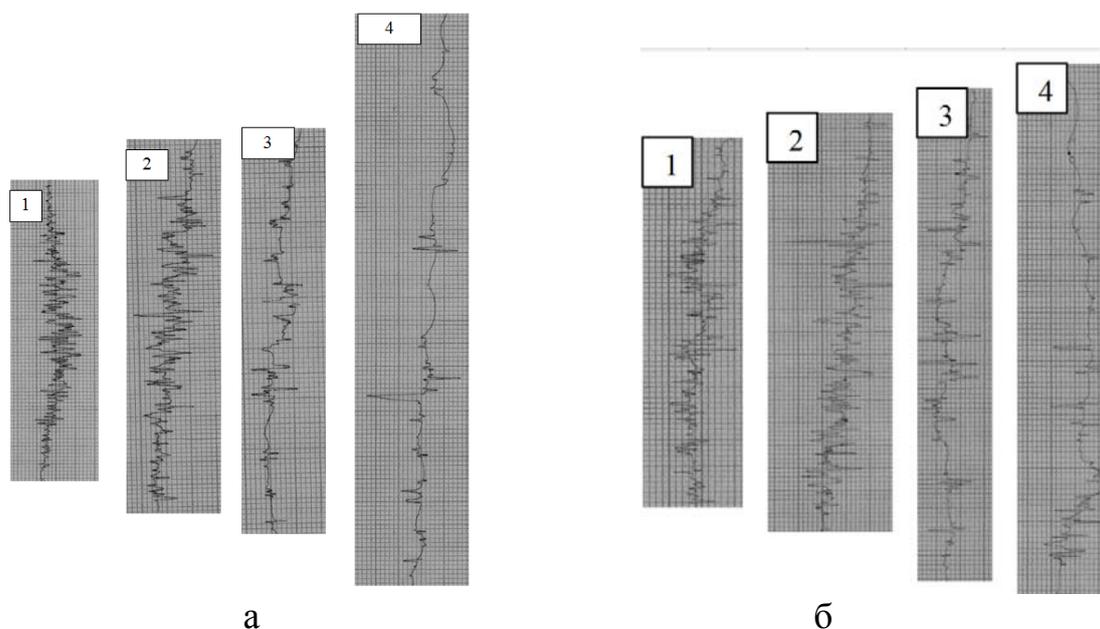


Рис. 2. Профилограммы отпечатков абразивных зерен, присоединенных к струям, истекающим из конического расширяющегося сопла (а) и конического сужающегося сопла (б)

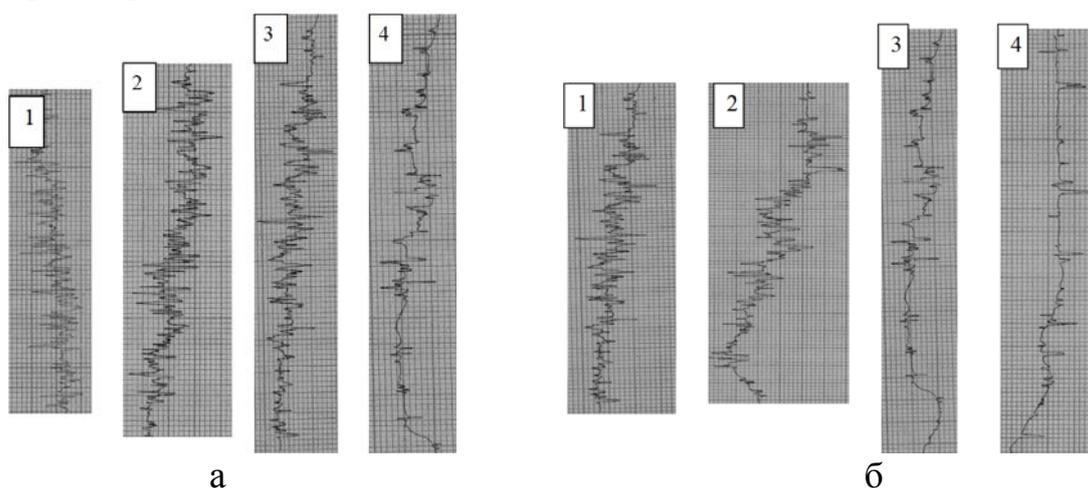


Рис. 3. Профилограммы отпечатков абразивных зерен, присоединенных к струям, истекающим из цилиндрического сопла (а) и сверхзвукового сопла Лаваля (б)

Выводы. Проведены экспериментальные исследования по установлению наиболее эффективной конфигурации сопла по критерию обеспечения максимального количества абразивных зерен, инжектируемых в струю, истекающую в абразивную суспензию, на основе определения количества следов зерен на обработанных полированных латунных пластинах-экранах. Показано, что наиболее плотное расположение следов абразивных зерен, которые также характеризуются и наибольшей глубиной, обеспечивается при использовании сверхзвукового сопла Лаваля. Следовательно, применение сверхзвукового сопла Лаваля обеспечивает двойной эффект обработки: увеличение скорости потока и увеличение количества абразивных зерен, инжектируемых в затопленную струю сжатого воздуха.

Список литературы: 1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К: Техника, 1989. – 177 с. 2. Андилахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А. А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с. 3. Андилахай А. А. Кинетическая энергия абразивного зерна, инжектированного в струю сжатого воздуха при истечении из сопла в суспензию / А. А. Андилахай // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. – Мариуполь: ПДТУ, 2012. – Вип. 24. – С. 224–230.

УДК 621.9.02

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Брижан Т.М.

(ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

The paper deals vibro stability deployment process deep holes, which were experimentally determined components of the cutting force and tool depending on the angle of the teeth, in terms of the sweep angle and cutting speed. Substantiated conditions reduce vibration when machining holes

Обработка глубоких отверстий $L/d \geq 15 \div 20$ развертками сопровождается интенсивными вибрациями, что снижает параметры точности обрабатываемых поверхностей [1, 2]. Поэтому актуальной проблемой является исследование технологических закономерностей процесса развертывания глубоких отверстий [3]. На устойчивость процесса развертывания основное влияние оказывают силы резания, которые в свою очередь существенно влияют на параметры точности и качества обработанной поверхности. Тангенциальная составляющая силы резания P_z производит работу, связанную с процессом стружкообразования и трения по заборной и калибрующей частям инструмента. От этой силы, главным образом, зависит тепловой режим и контактные нагрузки на рабочие поверхности инструмента, интенсивность и характер их износа, а, следовательно, точность и шероховатость обработанной поверхности. Величину нагрузки на деталь, механическую подачу станка предопределяет осевая составляющая силы резания P_x , которая влияет на точность обработанного отверстия. Радиальная составляющая силы резания P_y не совершает механической работы.

При равномерном расположении зубьев развертки радиальные силы взаимно уравновешиваются. При нарушении условия равновесия сил возникает неуравновешенная радиальная составляющая силы резания, которая периодически меняется по величине и направлению и является причиной возникновения колебаний инструмента. Радиальная составляющая силы резания оказывает решающее влияние на износ инструмента, точность и шероховатость поверхности обработанных отверстий. Поэтому исследовалось влияние элементов режима резания: скорости V , подачи S_0 , величины припуска t и геометрических параметров, характеризующих положение режущих лезвий относительно отверстия: угла наклона зубьев ω и главного угла в плане φ на составляющие силы резания (табл. 1).

Таблица 1

Геометрические параметры развертки и режимы резания при развертывании

Диаметр Развертываемого отверстия, мм	Износ h_3 , мм	Обрабатываемый материал	Геометрические параметры развертки						Режимы развертывания			Число зубьев Z , шт
			L зуба, мм	γ_N , град	α_0 , град	φ , град	ω , град	f , мм	V , м/с	S_z мм/зуб	t , мм	
20, 26, 34, 40	0.4	Сталь 45 Сталь 40X	25;40	0;5;10	6,8	5...15	0	0.15	0.05-1	0.05-0.2	0.05-0.3	6;8
20, 26, 34, 40	0.4	Сталь 45 Сталь 40X	25;40	0;5;10	8	5...15	10	0.15	0.05-1	0.05-0.2	0.05-0.3	6;8
20, 26, 34,40	0.4	Сталь 45 Сталь 40X	25;40	0;5;10	8	5...15	20	0.15	0.05-1	0.05-0.2	0.05-0.3	6;8
20, 26, 34, 40	0.4	Сталь 45 Сталь 40X	25;40	5;10	8	5...15	30	0.15	0.05-1	0.05-0.2	0.05-0.3	6
20, 26, 34, 40	0.4	Сталь 45 Сталь 40X	25;40	5;10	8	5...15	45	0.15	0.05-1	0.05-0.2	0.05-0.3	6

Влияние угла наклона зубьев развертки ω на составляющие силы резания показано на рис. 1.

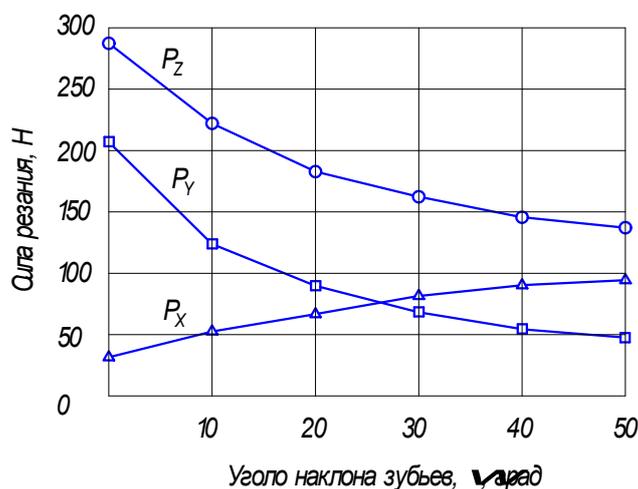


Рис. 1. Зависимости составляющих силы резания P_x , P_y и P_z от угла наклона зубьев ω . Условия обработки: сталь 40X; $V=0,12$ м/с; $S_z=0,1$ мм/зуб; $t=0,2$ мм; $h_3=0,3$ мм; $L_{зуба}=20$ мм; СОЖ – Аквол II.

Из графиков следует, что при изменении ω от 0 до 45° составляющие силы резания P_x , P_y , P_z изменяются по-разному. Угол наклона ω изменяет положение передней поверхности зуба относительно системы координат, при этом увеличивается рабочая длина зуба и уменьшается коэффициент усадки стружки. При увеличении ω увеличивается ширина срезаемого слоя b и отношение ширины к толщине срезаемого слоя b/a , что вызывает рост силы P_z . На рост главной составляющей силы резания оказывает влияние увеличение рабочей длины зуба. Однако, с увеличением ω уменьшается интенсивность роста P_z за счет снижения нормальной силы и нормального относительного сдвига, что подтверждается уменьшением силы P_z при развертывании с постоянной длиной зуба. На силы P_x и P_y угол ω влияет значительно сильнее, чем на силу P_z . Возрастание осевой составляющей силы P_x с увеличением угла ω объясняется изменением положения передней поверхности зуба и увеличением длины зуба:

$$L_3 = \frac{L_p}{\cos \omega}, \quad (1)$$

где L_3 – длина зуба, мм; L_p – длина рабочей части развертки, мм.

Передний угол в торцевом сечении γ_N растет, а в осевом сечении γ_X – уменьшается, что увеличивает осевые нагрузки и уменьшает радиальные, обуславливающие величину силы P_y . Уменьшение составляющих силы резания P_z и P_y с увеличением угла наклона зубьев ω , способствует повышению стойкости разверток (рис. 2).

За критерий стойкости разверток принималась величина износа h_3 , не превышающая 0,5 мм. При $h_3 > 0,4 - 0,5$ мм резко возрастает колебательный процесс и наблюдаются выкрашивание лезвий зубьев. Для разверток с углом $\omega = 30^\circ - 45^\circ$ величина критического износа равна $h_3 \leq 0,4$ мм, что объясняется снижением прочности режущего лезвия, в связи с увеличением заднего угла в нормальном сечении γ_N , при постоянном значении заднего угла в торцевом сечении для $\omega = 0^\circ \dots 45^\circ$. Минимальная величина заднего угла ограничивается толщиной срезаемого слоя и диаметром обрабатываемого отверстия. Максимальная стойкость обеспечивалась развертками с углом режущего лезвия $\beta = 73^\circ - 78^\circ$, при передних углах $\gamma_N = 5^\circ - 10^\circ$.

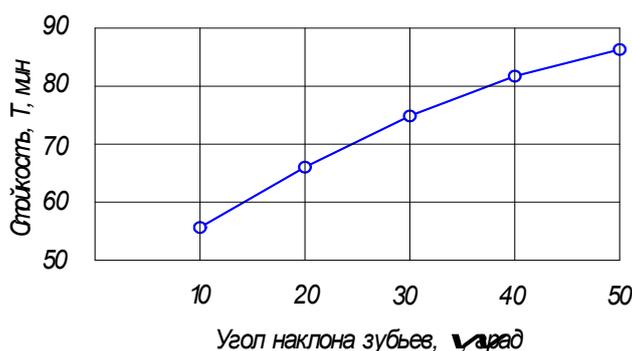


Рис. 2. Зависимость стойкости инструмента T от угла наклона зубьев ω .
Условия обработки: сталь 40Х; $V=0,1$ м/с; $t=0,2$ мм; $Sz=0,1$ мм/зуб; $h_3=0,4$ мм;
СОЖ – Аквол II.

Проведенные эксперименты показали, что при различных оптимальных сочетаниях геометрических параметров γ_N ; α_0 ; ω угол лезвия β_N остается постоянным и равным $\beta = 73^\circ - 78^\circ$ (табл. 1).

Если исключить один из главных факторов, который является источником колебаний – это волнистость от предыдущей обработки обуславливающая вторичное возбуждение, связанное с регенерацией, по "следу", то на основании проведенных опытов и данных других авторов, можно заключить, что вибрации возникают под действием неуравновешенной радиальной силы $P_{ун}$. Если сила P_x вызвана несоосностью развертки и обрабатываемого отверстия, то чем меньше радиальные силы P_y , тем меньше неуравновешенная радиальная сила $P_{ун}$. Этим объясняется уменьшение интенсивности колебаний при возрастании угла наклона зубьев ω . При возникновении неуравновешенной радиальной си-

лы, обусловленной неодинаковой заточкой режущих зубьев, наличием твердых включений в обрабатываемом материале и т.д., малые радиальные силы у разверток с $\omega > 40^\circ$ не обеспечивают уравнивание развертки – неуравновешенная радиальная сила оказывает преобладающее действие. В этом случае виброустойчивость развертки с углом наклона $\omega > 40^\circ$ снижается.

Таблица 1

Углы режущего лезвия в зависимости от угла наклона зуба

ω , град.	α_0 , град.	α_N , град.	γ_N , град.	γ_0 , град.	β_N , град.
0	6	6	5	5	79
			10	10	74
			15	15	69
10	6	6°30'	5	5,2	78,5
			10	10,2	73,5
			15	15,6	68,5
20	6	7	5	5,3	78
			10	10,6	73
			15	16,2	68
30	6	8	5	5,7	77
			10	11,5	72
			15	17,3	67
45	6	9	5	7,1	76
			10	1,4	71
			15	21	66

На разницу в изменении виброустойчивости разверток с большим углом наклона зубьев ($\omega=45^\circ$) оказывает влияние большая осевая сила P_x . При отклонении оси развертки от оси отверстия, при прямом методе развертывания, сила стремится изогнуть развертку – возникает изгибающий момент. Это приводит к изменению сечения срезаемого слоя, увеличению неуравновешенной радиальной силы, которая усиливает колебания. При применении тянущего развертывания изгибающий момент от отклонения стремится выровнять ось развертки и тем самым способствует уравниванию радиальной силы и уменьшению колебаний.

Следовательно, основное влияние на виброустойчивость разверток оказывает величина отношения радиальной силы к осевой P_y/P_x . Одним из факторов, подтверждающих влияние величины радиальных сил на возникновение вибраций, является обработка отверстий развертками после их переточки с целью обновления режущей и калибрующей кромок. При обработке отверстий острозаточенной разверткой наблюдается увеличение явно выраженной огранки и разбивка при входе в отверстие. Снижение устойчивости процесса при обработке отверстий острозаточенной разверткой связано с уменьшением демпфирования. Здесь преобладает неуравновешенная радиальная сила. С увеличением ленточки износа и количества обработанных отверстий высота волнистости и разбивки несколько уменьшается, а затем по мере увеличения износа выше критического – увеличивается. Это наблюдается после каждой переточки

разверток, что можно объяснить интенсивным возрастанием неуравновешенных радиальных сил с увеличением износа. Когда ленточка износа по задней поверхности зуба достигает величины $h_3 = 0,4-0,5$ мм, которая является технологическим критерием стойкости, возрастает неуравновешенная радиальная сила. Это связано с неравномерным износом зубьев и появлением налипов стружечной пыли на изношенных участках. Угол в плане φ оказывает влияние на силы резания через активную длину режущей кромки.

При постоянных значениях глубины срезаемого слоя t и подачи S_0 с увеличением угла в плане φ уменьшается отношение ширины срезаемого слоя b к его толщине a при постоянном сечении срезаемого слоя, что приводит к уменьшению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания и к увеличению осевой (рис. 3). Уменьшение длины активной части режущей кромки уменьшает силы трения, а нагрузка на переходный участок режущей кромки увеличивается. При углах в плане более 30° ($\varphi > 30^\circ$) ослабляется переходный уголок, что увеличивает интенсивность износа, что связано с уменьшением теплоотдачи из зоны резания и наблюдается наибольший износ в месте перехода режущей кромки в калибрующую.

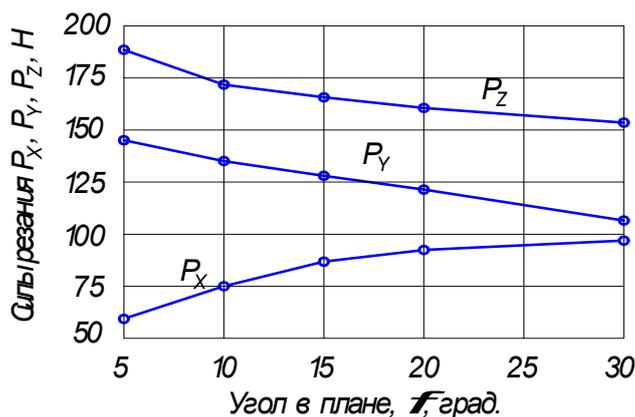


Рис. 3. Зависимости составляющих силы резания P_x , P_y и P_z от угла в плане φ . Условия обработки: сталь 40X, $V=0,12$ м/с; $S_Z=0,1$ мм/зуб; $t=0,2$ мм; $h_3=0,3$ мм; $l_p=20$ мм; $\omega=30^\circ$; СОЖ – Аквол II.

При малых углах в плане $\varphi \leq 5^\circ$ максимальная ширина ленточки износа наблюдается в месте контакта режущей кромки с обрабатываемой поверхностью отверстия. Аналогичный износ наблюдается при больших углах в плане, но малых подачах. Такой износ появляется вследствие того, что толщина срезаемого слоя очень мала и эта часть режущего лезвия снимает наиболее наклепаный слой. С уменьшением толщины срезаемого слоя увеличивается удельная сила резания и силы трения, которые характеризуют величину радиальной силы. При толщине срезаемого слоя a , соизмеримой с радиусом округления режущей кромки ρ , происходит выглаживание обрабатываемого отверстия, возникают интенсивные вибрации, резко возрастает износ. Для нормальной работы должно соблюдаться требование:

$$a_z - \delta \geq \rho, \quad (2)$$

где a_z – толщина срезаемого слоя; $\delta = 0,02$ мм – допустимое биение развертки (шпинделя); ρ – радиус округления режущего лезвия.

Для разверток из быстрорежущей стали Р6М5 $\rho \approx 0,02$ мм должно соблюдаться условие $a_z \geq 0,05$ мм. Угол в плане должен удовлетворять требованиям: $\sin \varphi \geq \frac{0,05}{S_z}$, где S_z – подача на зуб (или $\sin \varphi = \frac{\rho + \delta}{S_z}$).

Можно предположить, что угол в плане φ будет оказывать влияние на силы резания через активную длину режущей части и отношение b/a . Исследования показали, что при постоянном отношении b/a угол в плане φ существенного влияния на силы резания не оказывает. При увеличении t или S_0 при постоянном сечении срезаемого слоя, силы резания возрастают интенсивнее с увеличением подачи в диапазоне подач $S_z = 0,05 - 0,3$ мм/зуб и глубины резания $t = 0,05 - 0,2$ мм. При увеличении скорости резания наблюдается небольшое уменьшение составляющих силы резания P_x, P_y, P_z в исследуемом диапазоне скоростей $V = 0,05 \dots 0,5$ м/с (рис. 4).

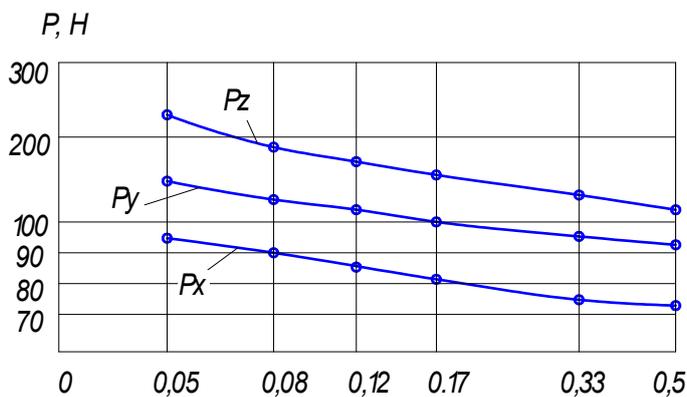


Рис. 4. Зависимости составляющих силы резания P_x, P_y и P_z от скорости резания V

Анализ проведенных исследований показывает, что режимы резания и геометрические параметры разверток по-разному влияют на силы резания и стойкость. С увеличением угла наклона зубьев увеличивается стойкость разверток, однако уменьшается радиальная и увеличивается осевая силы, которые оказывают основное влияние на виброустойчивость разверток. При случайном отклонении оси развертки возникает изгибающий момент от осевой силы, с увеличением которого растет разбивка отверстия, и возникают вибрации. Применение тянущего развертывания приводит к меньшей разбивке отверстий и снижению вибрации за счет восстановления оси развертки под действием изгибающего момента от осевой силы. Осевая сила возрастает с увеличением подачи S_0 , глубины резания t , угла наклона зубьев ω , угла в плане φ и величины износа h_3 . С увеличением скорости резания уменьшается коэффициент трения по передней и задней поверхности зуба развертки, что снижает виброустойчивость развертки. По результатам проведенных исследований получены зависимости сил резания и стойкости разверток из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке сталей 45 и 40Х от режимов резания и угла наклона зубьев (рис. 4):

$$P_X = C_{px} \cdot V^{-0,14} \cdot S_0^{0,87} \cdot \varphi^{0,24} \cdot \omega^{0,46} \cdot K_{px}; \quad C_{px} = 102; \quad (3)$$

$$P_Y = C_{py} \cdot V^{-0,14} \cdot S_0^{0,44} \cdot \varphi^{-0,36} \cdot \omega^{-0,63} \cdot K_{py}; \quad C_{py} = 236; \quad (4)$$

$$P_Z = C_{pz} \cdot V^{-0,28} \cdot S_0^{0,68} \cdot \varphi^{-0,28} \cdot \omega^{-0,21} \cdot K_{pz}; C_{pz} = 285, \quad (5)$$

где K_p - обобщенный коэффициент, равный произведению поправочных коэффициентов, каждый из которых выражает влияние условий резания на величину силы.

При обработке стали 40X развертками из быстрорежущей стали Р6М5:

$$T = \frac{91,5 \cdot \omega^{0,27}}{V^{0,96} \cdot S_0^{0,31} \cdot t^{0,20}}. \quad (6)$$

Полученные выражения справедливы при исследуемых пределах режимов резания и геометрических параметрах развертки, когда скорость резания $V = 0,05 \dots 0,5$ м/с; подача $S_Z = 0,07 - 0,2$ мм/зуб; глубина резания $t = 0,05 \dots 0,2$ мм; угол в плане $\varphi = 5^\circ \dots 30^\circ$; угол наклона зубьев $\omega = 0 - 45^\circ$ с использованием смазывающе-охлаждающей жидкости и значениях величины износа $h_s = 0,1 \dots 0,4$ мм.

Список литературы: 1. Колев К.С. Технология машиностроения / К.С. Колев – М.: Высшая школа, 1977. – 254 с. 2. Варфоломеев Д.И. Влияние жесткости инструмента на точность отверстий при развертывании / Д.И. Варфоломеев // Вестник машиностроения, 1969. – № 6. – С. 15-18. 3. Брижан Т.М. Повышение точности обработки глубоких отверстий / Т.М. Брижан // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции (17 апреля 2014 г.). В 4-х томах, Том 1. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 159-166.

УДК 621.923

ОБРАБОТКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛКОВ В ЦЕНТРАХ НА СТАНКАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ МЕТОДОМ КОНТУРНОГО ТОЧЕНИЯ

Лещенко А.И., канд. техн. наук, **Иванов Е.И.**, канд. техн. наук
(ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

We substantiated the main directions of improving the technology of the finish machining of rolls of rolled

На сегодняшний день в экспортном потенциале Украины продукция металлургического комплекса занимает основное место. Если экспорт листового проката остается экспортом сырья, то профильный сортовой прокат – это уже готовая продукция. Поэтому задачи постоянного совершенствования прокатного производства требуют постоянного улучшения качества прокатных валков. Как показывает практика, валки, изготовленные по действующей технологии, не соответствуют современным требованиям и имеют следующие недостатки: сравнительно небольшое, по сравнению с зарубежными аналогами, количество прокатанного металла в тоннах за одну установку валков; отсутствует взаимозаменяемость валков в комплекте одной клетки стана, нет возможности прока-

тывания более длинных заготовок (свыше 25 м) с короблением в пределах допуска. Все эти факторы непосредственно связаны с точностью и шероховатостью поверхностей калибра валка – просвета, образованного вырезами (ручьями) двух сопряжённых прокатных валков, через который пропускают обжимаемый металл для придания ему требуемой формы (рис. 1).

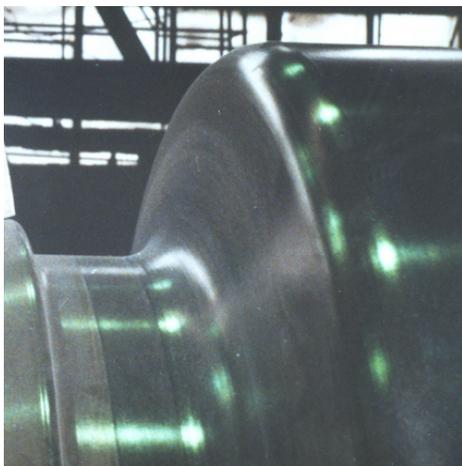


Рис. 1. Профиль калибра валка сортов (рельсового) проката

Основу технологии на станках с ручным управлением составляет схема обработки, при которой готовый верхний валок 3 (рис. 2) является «копиром» для расточки ручьев нижнего валка 4 фасонным инструментом. В процессе обработки периодический контроль шаблоном (рис. 3) на просвет ставит перед станочником задачу доводки фасонными резцами тех мест профиля калибра, где остается зазор. Такая корректировка носит длительный характер и зависит от квалификации станочника и его способности выделить для исправления нужную поверхность, т. е. возможно, не ту образующую,

где прилегание шаблона происходит с зазором, а сопрягаемую с ней или образующую калибра симметрично расположенную относительно осевого сечения.

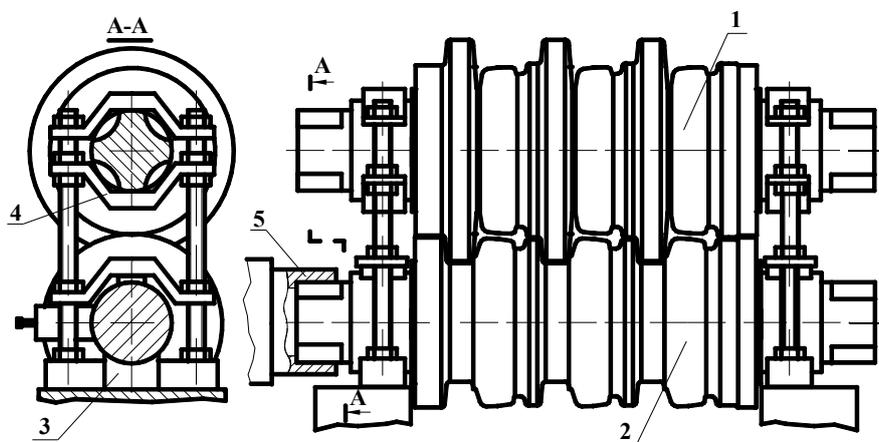


Рис. 2. Базирование и закрепление верхнего 1 и нижнего 2 валков рельсового калибра на подушках нижнего 3 и верхнего 4 люнетов; 5 – шпиндель станка с поводковым устройством.

Существующая технология в основном ориентирована на фасонный инструмент, работающий поперечной подачей. Такая схема обработки не только перерезает волокна, валкового материала и затрудняет получение поверхности с низкой шероховатостью, но и негативно влияет на точность формообразования. Это связано с тем, что проектирование фасонных инструментов происходит с некоторыми допущениями, которые вносят погрешности в профиль обработанной детали. Кроме того, режущие инструменты даже с идеально точной режущей кромкой не всегда обеспечивают точную обработку заданной поверхности детали. Это объясняется тем, что при обработке переточенным ин-

струментом кинематика резания может изменяться по сравнению с работой нового инструмента [1].

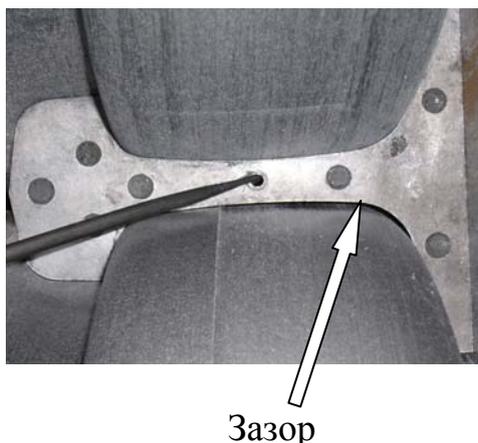


Рис. 3. Контроль калибров валка в процессе выполнения операции.

Детальный анализ существующей технологии, а также данные о конструктивных параметрах вальцетокарных станков с ЧПУ мировых производителей, позволяет сделать вывод о необходимости нового подхода к проектированию технологического процесса чистовой обработки валков, т. е. создания технологии, обеспечивающей повышение точности обработки валков и реализующей принцип их полной взаимозаменяемости [2, 3]. Для новой технологии принята обработка валков в центрах на станках с программным управлением, методом контурного точения резцами, оснащенными стандартными режущими пластинами круглой формы с углом заострения 90^0 . Целью работы является обеспечение требуемой точности валков на основе оптимизации параметров операции чистового точения и получение научно обоснованной концепции перехода от наладки на операцию чистовой обработки валков методом «пробных ходов и промеров» к методу наладки на «предварительно настроенных станках». Для достижения поставленной цели в работе разработана математическая модель формообразования поверхностей детали резцом с круглой пластиной при равномерном, без возмущающих воздействий, перемещении суппорта [4]. Такая модель позволила провести анализ точности статической настройки инструментальной системы, что особенно важно в том случае, когда конструктивные параметры заготовки валка не предоставляет удобной базы (торцевых поверхностей) для размерной привязки по оси Z , левых и правых резцов.

Широко известные в научно-технической литературе такие погрешности как «бочкообразность», «седлообразность» и другие дают лишь словесные описания причин их появления. Поэтому были получены аналитические функции образующей фасонной поверхности в системе координат детали (СКД), аргументами которых являются вылеты резца (рис. 4, рис. 5) в горизонтальной плоскости $\bar{F}_{И}^X$, $\bar{F}_{И}^Z$, погрешность установки вершины резцов относительно оси центров $\bar{F}_{И}^Y$, угловые отклонения оси детали A_x , A_y , от оси центров станка, т. е. положение оси Z_d детали и оси $Z_{СТ}$ станка. Полученное уравнение образующей в СКД, конической поверхности позволяет методами математического

анализа выделить те ошибки статической наладки, которые в наибольшей степени влияют на точность формообразования детали. На основании анализа сделан вывод: для поверхностей близких к цилиндрическим погрешность конусности от исследуемых факторов меньше, чем для поверхностей близких к торцевым, причем, большее влияние имеет угловое отклонение в вертикальной плоскости Ax .

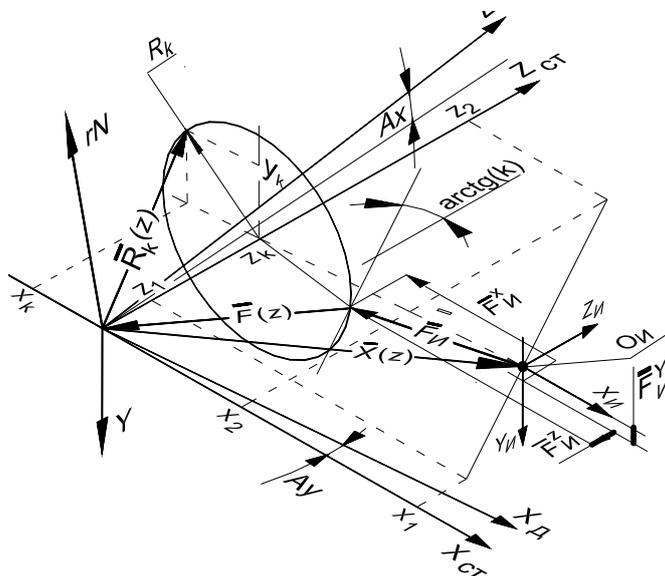


Рис. 4. Погрешность формы цилиндрической поверхности детали от статической настройки инструмента $\bar{F}_{И}^X, \bar{F}_{И}^Y, \bar{F}_{И}^Z$ (а) и углов оси детали с осью шпинделя: Ax в вертикальной и Ay в горизонтальной плоскостях.

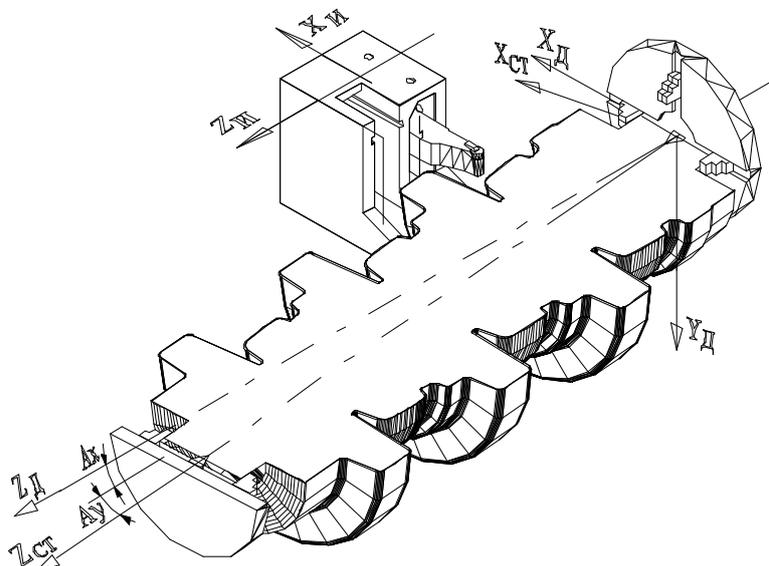


Рис. 5. Базирование валка на вальцетокарном станке с УЧПУ в центрах с закреплением четырьмя кулачками планшайбы.

При значительных габаритах детали (от $\varnothing 800 - \varnothing 1000$ мм до $L=3000$ мм) большое значение имеет точность позиционирования суппорта станка. Известный метод повышения точности позиционирования программных станков заключается в измерении погрешности выхода на позицию (при движении в

«плюс» и «минус» координатной оси) на равных интервалах перемещения рабочих органов станка, с последующим вводом этих данных в системную область памяти УЧПУ станка. При работе привода станка эти данные алгебраически складываются с заданием программируемых перемещений, что повышается точность позиционирования. Чем меньше интервалы измерений, тем точнее будет отработан выход на позицию. Вместе с тем, увеличение числа измерений, т. е. уменьшение длины интервалов контроля, повысит не только трудоемкость процесса, но и вероятность ошибок измерений. Предлагаемый метод отличается от известных тем, что по данным измерений методом кубической сплайн интерполяции строится функция, которая с учетом поля рассеивания, позволяет прогнозировать значение ошибки позиционирования в срединных точках измеренных интервалов. Например, на длине перемещения 3000 мм были сделаны 10 измерений через 300 мм. Расчет погрешности с помощью полученной функции позволяет получить 20 значений коррекций или 30, т. е. в данном случае число значений коррекций ограничивает объем системной области памяти УЧПУ станка.

Выбор формы режущей пластины при обработке высокопрочного чугуна

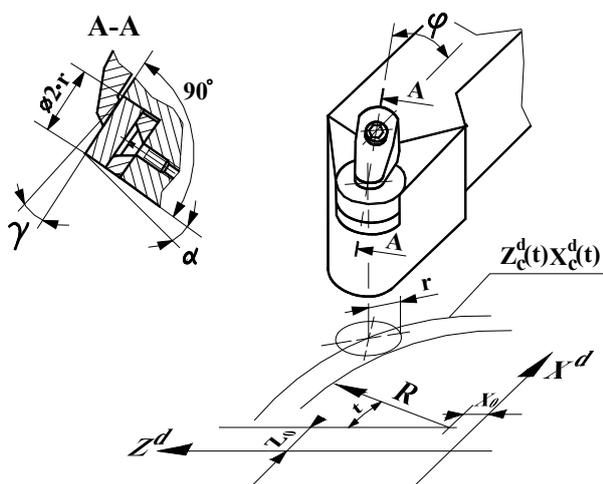


Рис. 6. Формирование траектории перемещения круглой пластины.

должен, прежде всего, отвечать требованиям максимальной стойкости. Пластины в виде прямого кругового цилиндра (без заднего угла, т. е. с углом заострения 90^0) отвечают этому требованию. Как геометрическое тело (рис. 6), режущие пластины этого типа представляют прямой круговой цилиндр. Поэтому задний и отрицательный передний углы резца образуются наклоном опорной поверхности гнезда под пластину в державке резца. Вследствие неперпендикулярности оси пластины основной плоскости, ее режущие кромки – окруж-

ности в основаниях прямого кругового цилиндра, проектируются на основную плоскость как эллипс. Теоретически точное формирование профиля детали будет обеспечено, если управляющая программа задает траекторию перемещения инструмента с учетом эллиптичности проекции круглой пластины на основную плоскость. Поэтому была поставлена задача, получить параметрическую функцию координат центра пластинки формирующую перемещение инструмента с учетом эллипсности проекции круглой пластины. Такая функция была получена для поверхностей с радиусной образующей, для которой частными случаями являются уравнения траектории перемещения при обработке поверхностей с прямолинейной образующей. Данный способ повышает точность формообразования и в отличие от известных, дает возможность программировать траекторию перемещения инструмента способом отличным от эквидистантного, с

функционально зависимым смещением центра пластины относительно координат точек контакта образующей и режущей кромки пластины.

Время обработки без размерной подналадки зависит от пути резания, при котором износ резца, измеренный в направлении нормали к обрабатываемой поверхности, не превышает допустимого отклонения на получаемый размер. Рабочие диаметры и длины прокатных валков (от $\varnothing 800$ – $\varnothing 1000$ мм до $L=3000$ мм) обуславливают значительную длину пути резания при механической обработке. При этом износ резцов вначале исследований оказывался настолько интенсивным, что без подналадки не удается обработать не только один ручей валка, а даже коническую поверхность $\varnothing 720$ – $\varnothing 1000$ мм, $\gamma = 4,725^\circ$

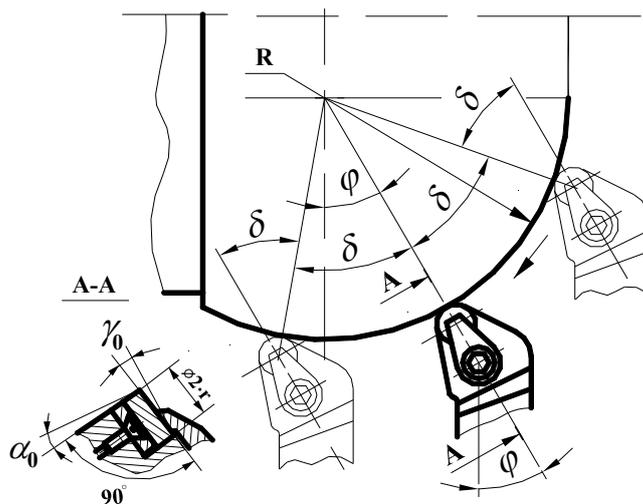


Рис. 7. Обработка фасонной поверхности резцом с круглой пластиной, отогнутым на угол φ .

При выбранной конструкции резцов и режущих пластин значения углов динамически изменяются в процессе резания. Обработка тороидальной поверхности (рис. 7) радиуса R выполняется резцом, отогнутым на угол φ , с круглой пластиной, для которого передний и задний углы резца в статике равны $\alpha_0 = \gamma_0$. В радиальном сечении А–А, плоскость которого построена под углом φ и совпадает с осевой плоскостью резца, динамические и статические углы равны. В процессе формообразования режущая кромка пластины контактирует по дуге с центральным углом δ разными точками с образующей радиуса R . Стандарт ISO 242.1975 определяет понятие «допустимой эффективной длины» режущей кромки пластины. В данном случае это представление соотносится к участку дуги с центральным углом $\pm \delta$, для которого заданы предельные значения углов резца, динамически изменяющихся в процессе резания. Изменение рабочих углов резца происходит вследствие изменения координат точек линии режущей кромки относительно горизонтальной плоскости проходящей через ось центров заготовки. В результате аналитических расчетов получена формула:

$$\alpha(\delta, \alpha_0) = \arctg\left(\frac{\sin(\alpha_0) \cdot \cos(\delta)}{\cos(\alpha_0)}\right) = \arctg(\operatorname{tg}(\alpha_0) \cdot \cos(\delta)), \quad (1)$$

где α_0 – статический задний угол; δ – центральный угол круглой пластины.

Анализ формулы (1) позволяет сделать вывод: в процессе резания угловой параметр δ определяет точки контакта круглой пластины и поверхности детали, при этом равные по модулю $\alpha(\delta) = -\gamma(\delta)$ динамические передний и задний углы резца изменяются по закону косинуса. Например, при резании круглой пластиной со статическим задним углом $\alpha_0 = 8^\circ$ контакт ее режущей кромки с центральным углом относительно осевого сечения $\delta = 36^\circ$, будет происходить с динамическим задним углом $\alpha = 6,49^\circ$.



Рис. 8. Критический износ круглой пластины

При чистовой обработке чугуновых прокатных валков из легированного отбеленного чугуна СПХН-49 – СПХН-62 пластинами цилиндрической формы из оксидно-карбидной керамики было замечено, что с течением времени (после начального износа) интенсивность износа пластинами не только не увеличивается, но даже снижается. Поэтому был проведен ряд испытаний для пластин разных диаметров, результатом которых был вывод: с увеличением диаметра пластины размерный износ снижается. Анализ материалов по этому вопросу показал, что ранее проведенные исследования (экспериментальные и теоретические) касались резцов с режущей частью в форме клина. В этом

случае размерный износ и массовый износ связаны прямо пропорциональной зависимостью. Для резцов с круглой пластиной эта зависимость имеет нелинейный характер, что доказано аналитически и подтверждено экспериментально. Именно эта особенность может служить объяснением снижения износа резцов с круглой пластиной при работе в зоне нормального износа.

Проведена оптимизация стойкости инструмента по критерию минимального размерного износа h_r , где задача интерполяции (данные для интерполяционных формул получены в ходе эксперимента) функции нескольких переменных – подачи S и скорости резания V^h , решается последовательным интерполированием функции одной переменной, принимая значения остальных переменных постоянными. Поэтому получение аналитической зависимости определения радиального износа h_r , для данных, соответствующих режимам резания при проведении эксперимента, разделено на два этапа: интерполяция зависимости скорости резания от подачи $V(S)$, по точкам минимального износа, полученным при каждом значении подачи; интерполяция зависимости радиального износа от скорости резания $h_r(V^h)$.

Проведен анализ отличия шероховатости поверхностей с радиусной образующей, вогнутой и выпуклой, после их обработки с одинаковыми режимами резания. Установлено, что причиной различия в шероховатости является не соотношение площадей среза близкое к единице, а геометрия обрабатываемой поверхности и физика процесса резания чугуна с шаровидным графитом.

Выводы. Разработана технология обработки фасонных поверхностей валков на станках с ЧПУ на основе построения траектории перемещения инструмента параметрическими программами. Технология внедрена на МК “Азов-сталь”, в результате обеспечено повышение точности сортового проката и увеличение жизненного цикла валка в среднем на 5%.

Список литературы: 1. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов / П.Р. Родин – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 455 с. 2. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 4. Лещенко А.И. Обеспечение параметров точности и шероховатости формообразующих поверхностей валков сортового проката при обработке на станках с ЧПУ: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / А.И. Лещенко. – Мариуполь, 2011. – 22 с.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Г.В., канд. техн. наук (НТК “Эльбор”, г. Харьков)

Дитиненко С.А., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

Theoretically defined basic conditions increase the accuracy and productivity of machining

Задачи повышения точности и производительности механической обработки являются важными для технологии машиностроения. В работах [1-5] предложен теоретический подход к решению данных задач. Аналитически установлено, что с течением времени обработки по схеме выхаживания можно уменьшить упругие перемещения в технологической системе практически до нуля и приблизиться к идеальной точности обрабатываемой поверхности. Однако, реализовать это условие затруднено, что связано с высокой силовой напряженностью процесса резания при абразивной обработке. Поэтому целью работы является определение условий повышения точности и производительности механической обработки на основе исследований силовой напряженности процесса механической обработки.

В работе [5] получены аналитические зависимости для определения производительности обработки Q и величины упругого перемещения y в технологической системе при абразивной обработке по схеме выхаживания:

$$Q = \frac{P}{\left(\frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot v} + \frac{\sigma}{c \cdot K_{рез} \cdot V} \right)}; \quad (1)$$

$$y = \frac{\Pi}{\left(1 + \frac{\tau}{\pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot v} \cdot \frac{c \cdot K_{\text{рез}} \cdot V}{\sigma}\right)}, \quad (2)$$

где Π – величина снимаемого припуска, м; τ – время обработки, с; v – ширина резания, м; $D_{\text{дем}}$ – диаметр обрабатываемой детали, м; V – скорость резания, м/с; c – жесткость технологической системы, Н/м; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{\text{рез}} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н.

Отношение $K_{\text{рез}} / \sigma$ определяется зависимостью [5]:

$$\frac{K_{\text{рез}}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{\rho}\right)^2}}, \quad (3)$$

где HV , $\tau_{\text{сдв}}$ – соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого металла, Н/м²; a_z – толщина среза при абразивной обработке, м; ρ – радиус округления режущей кромки инструмента, м.

В зависимость (3) входит известная величина a_z / ρ , определяющая условия перехода от упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла к процессу резания. Процесс стружкообразования (процесс резания) начинается при $a_z / \rho \geq 0,04$ (по данным проф. Богомолова Н.И.). При меньших значениях a_z / ρ происходит лишь упруго-пластическое деформирование обрабатываемого металла без образования стружки.

Первоначально рассмотрим процесс выхаживания, реализуемый при радиальном точении. Выразим производительность обработки Q в виде $Q = a \cdot v \cdot V$, где $a = a_z$ – толщина среза, м; v – ширина среза, м; V – скорость резания, м/с. Тогда зависимость (1), с учетом зависимости (3), примет вид:

$$\frac{\tau}{\pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot v} \cdot Q + \frac{3}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot (\rho \cdot v \cdot V)^2} \cdot Q^{\frac{1}{3}} - \Pi = 0. \quad (4)$$

В результате пришли к трансцендентному уравнению, относительно неизвестной величины Q . Решить данное уравнение можно лишь численным методом, задавая вполне конкретные значения всех входящих в уравнение величин и подбором определяя искомое значение Q . Однако, таким образом можно получить частные решения. Для того, чтобы получить общее решение, разрешим уравнение (4) относительно времени обработки τ :

$$\tau = \frac{1}{\frac{2}{Q^3}} \cdot \left[\frac{\pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot v \cdot \Pi}{\frac{1}{Q^3}} - \frac{3}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \tau_{\text{сдв}} \cdot (\rho \cdot v \cdot V)^2} \right]. \quad (5)$$

В результате пришли к аналитической зависимости, связывающей между собой две переменные величины τ и Q . Нетрудно видеть, что с увеличением производительности обработки Q время обработки τ непрерывно уменьшает-

ся, рис. 1,а. Из этого можно сделать вывод: с увеличением времени обработки τ при выхаживании (т.е. с течением времени обработки) производительность обработки Q уменьшается. Следовательно, уменьшается и толщина среза

$$a = \frac{Q}{v \cdot V} \text{ (рис. 1,б).}$$

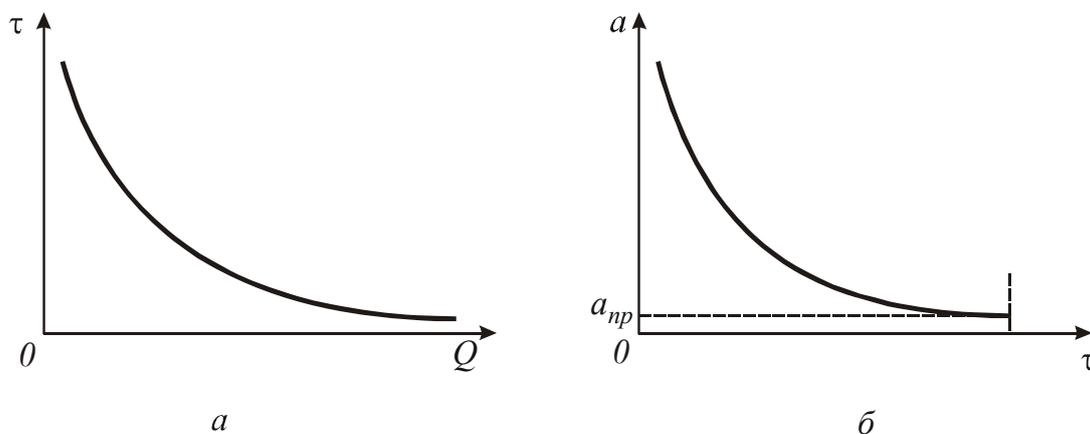


Рис. 1. Зависимости τ от Q (а) и a от τ (б)

Однако, как отмечалось ранее, существуют предельные значения отношения $a_z / \rho \geq 0,04$, ниже которых процесс резания (стружкообразования) неосуществим. Следовательно, должны существовать предельные значения толщины среза a_{np} (для заданных значений радиуса округления режущей кромки инструмента ρ), т.е. $a_{np} = 4 \cdot \rho$.

Учитывая важность данных результатов, получим аналитическое решение уравнения (4), принимая с определенными допущениями во втором слагаемом вместо $Q^{1/3}$ величину $Q^{1/2}$. В результате получено квадратное уравнение:

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{\frac{1}{2}} - \Pi = 0 \quad \text{или}$$

$$x^2 + \frac{N}{M} \cdot x - \frac{\Pi}{M} = 0, \quad (6)$$

где $x^2 = Q$; $M = \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot v}$; $N = \frac{3}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{сдв} \cdot (\rho \cdot v \cdot V)^2}$.

Его решение:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2} + \frac{M}{\Pi}} \right)}}. \quad (7)$$

С увеличением времени обработки τ (с увеличением параметра M) производительность обработки Q уменьшается. Уменьшаются также толщина среза $a = \frac{Q}{v \cdot V}$, отношения a / ρ и $K_{рез} / \sigma$. При этом толщина среза a и отношение $K_{рез} / \sigma$ описываются зависимостями:

$$a = \frac{1}{\epsilon \cdot V \cdot \sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2} + \frac{M}{\Pi}} \right)}}; \quad (8)$$

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \frac{1}{\epsilon^2 \cdot V^2 \cdot \rho^2 \left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2} + \frac{M}{\Pi}} \right)}}. \quad (9)$$

Если подставить зависимость (9) в зависимость (2), то видим, что с течением времени обработки τ величина упругого перемещения y уменьшается. Следовательно, характер изменения отношения $K_{рез}/\sigma$ с течением времени обработки τ не вносит принципиальных изменений в закономерности изменения величины y . Вместе с тем, с уменьшением толщины среза a уменьшается отношение a/ρ . При уменьшении a/ρ до значения 0,04, процесс резания прекратится, что не позволит выполнить условие $y \rightarrow 0$, согласно зависимости (2). Из этого следует, что основным препятствием достижения высокой точности обработки является уменьшение отношения a/ρ ниже предельного значения, при котором процесс резания прекращается и сьем металла не происходит.

Поэтому важнейшим условием повышения точности и производительности обработки необходимо рассматривать увеличение отношения a/ρ . Так как толщина среза a с течением времени обработки непрерывно уменьшается, увеличить отношение a/ρ можно путем уменьшения радиуса округления режущей кромки инструмента ρ . Для этого необходимо применять инструментальные материалы, обеспечивающие высокую остроту режущей кромки и характеризующиеся высокой износостойкостью. В первую очередь, широко применяемые на практике, синтетические сверхтвердые материалы (синтетические алмазы и т.д.).

В процессе обработки необходимо, чтобы выполнялось условие $a/\rho \geq 0,04$ при уменьшении величины упругого перемещения y до значения предельной толщины среза, равного $a_{np} = 0,04 \cdot \rho$ (т.е. на протяжении всего времени обработки). Поэтому установим время обработки τ , за которое величина упругого перемещения y уменьшится до значения предельной толщины среза $a_{np} = 0,04 \cdot \rho$. Для этого в зависимость (2) подставим зависимость (3) с учетом $y = a_{np} = a$ и $a_{np} = 0,04 \cdot \rho$. Тогда

$$\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot \epsilon}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{\Pi}{a} - 1 \right) \quad (10)$$

или

$$\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot \epsilon}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{\Pi}{0,04 \cdot \rho} - 1 \right). \quad (11)$$

Из приведенных зависимостей следует, что время обработки τ тем меньше, чем меньше параметры $D_{дет}$, v , HV , $\tau_{сов}$, Π и больше параметры c , V и a (или ρ). За данное время τ , при выполнении условия $\frac{a}{\rho} = \frac{y}{\rho} \geq 0,04$, величину упругого перемещения y можно уменьшить до значения $y = 0,04 \cdot \rho$. Если в качестве радиуса округления режущей кромки инструмента ρ рассматривать радиус абразивного или алмазного режущего зерна R при абразивной или алмазно-абразивной обработке, то по формуле $y = 0,04 \cdot R$ можно рассчитать величину y в зависимости от зернистости $\bar{X} = 2 \cdot R$ абразивного или алмазного порошка. В таблице приведены расчетные значения величины y .

Таблица

Расчетные значения величины y

\bar{X} , мкм	5	10	20	40	80
y , мкм	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6

Из зависимостей (8) и (11) следует, что с течением времени обработки τ величины a и y непрерывно уменьшаются, однако, с разной интенсивностью. Так, интенсивность уменьшения величины y выше интенсивности уменьшения толщины среза a . Этим и объясняется возможность уменьшения величины y в процессе обработки вплоть до нуля.

По физической сущности параметр a при абразивной обработке определяет максимальную высоту микронеровностей на обрабатываемой поверхности или параметр шероховатости обработки R_{max} . Из этого следует, что с течением времени обработки параметр R_{max} должен уменьшаться, причем с меньшей интенсивностью, чем величина упругого перемещения y . Это хорошо согласуется с многочисленными экспериментальными данными, согласно которым параметры шероховатости обработки R_{max} и R_a с течением времени обработки уменьшаются, однако не достаточно интенсивно. Например, установлено, что в процессе выхаживания (при шлифовании) происходит довольно интенсивный съем удаленного металла (уменьшается величина y) во времени, тогда как параметр шероховатости обработки R_{max} уменьшается не существенно, а через определенное время обработки становится практически постоянным.

Следовательно, при нормальном протекании процесса обработки величина y стремится принять значение, равное толщине среза a , что равносильно параметру шероховатости обработки R_{max} , т.е. по сути, процесс выхаживания должен обеспечить равенство значений парамет-

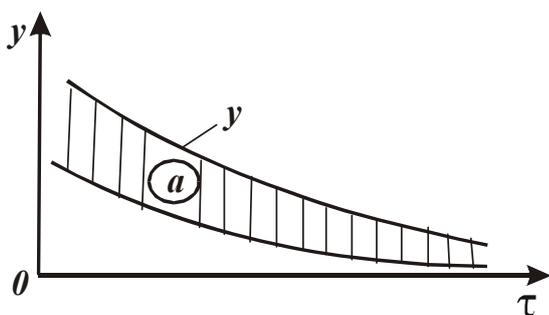


Рис. 2. Зависимость y от τ

ров y и R_{max} . Если процесс резания (по причине невыполнения условия $a_z / \rho \geq 0,04$) прекратится раньше, то справедливо неравенство $y > R_{max}$. На рис. 2 показан характер изменения параметров y и $a = R_{max}$ с течением времени обработки (заштрихованным показана величина a). Таким образом, установлено, что в конечном итоге величина упругого перемещения y и параметр шероховатости обработки R_{max} определяются из условия $a_z / \rho = 0,04$, рассматривая $a = R_{max} = y$. Уменьшить значение $a = R_{max} = y$ можно двумя путями: уменьшением радиуса округления режущей кромки ρ и предельного значения a_z / ρ , при котором возможен процесс стружкообразования (процесс резания) (рис. 3).

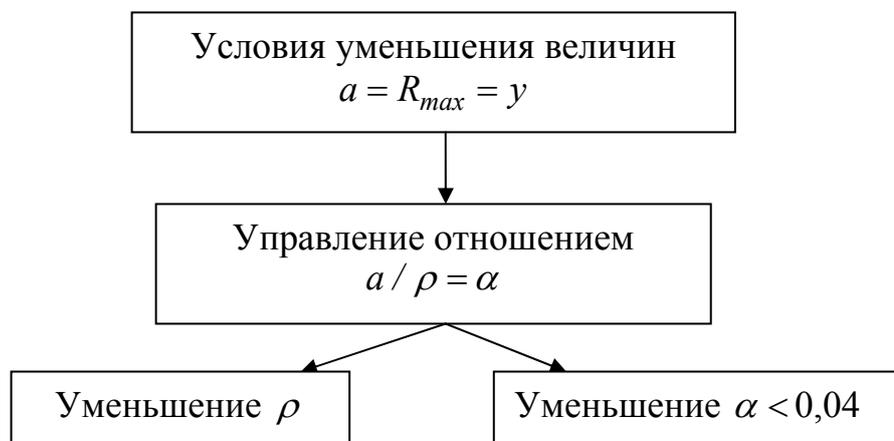


Рис. 3. Условия уменьшения величин $a = R_{max} = y$

В первом случае необходимо использовать методы, обеспечивающие непрерывное микроразрушение режущих кромок абразивных или алмазных зерен в процессе обработки, исключая затупление зерен. Во втором случае необходимо использовать методы обработки, позволяющие уменьшить предельное значение a_z / ρ , при котором возможен процесс резания, т.е. методы обработки, расширяющие границы осуществления процесса резания.

Список литературы: 1. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: Дис...канд. техн. наук: 05.02.08. – Харьков, 1989. – 210 с. 2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 3. 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. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФИНИШНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Фадеев В.А., докт. техн. наук
(ГП Харьковский машиностроительный завод “ФЭД”)

This work contains the theoretical justification of basic ways of accuracy and final machining productivity rise

При изготовлении ответственных агрегатов авиационной техники наиболее существенной проблемой по-прежнему остается обеспечение высокой точности обрабатываемых поверхностей на финишных операциях. И это несмотря на то, что в производстве используются достаточно совершенные станки, инструменты и технологические процессы.

Проблема высокоточной обработки обусловлена, прежде всего, наличием упругой системы станка – источника возникновения упругих перемещений и колебаний, вызывающих погрешности обработки. Исключить упругую систему станка практически невозможно. Поэтому, основным путем повышения точности обработки следует рассматривать управление упругими перемещениями и колебаниями при обработке.

Общеизвестно, что упругое перемещение y в радиальном направлении равно отношению радиальной составляющей силы P_y и приведенной жесткости системы c . Неограниченно уменьшая силу P_y , можно реализовать условие $y \rightarrow 0$. Однако, это связано с существенным уменьшением производительности обработки, что не всегда эффективно. Поэтому проблему точности необходимо решать одновременно с проблемой производительности обработки.

В общем виде сила P_y аналитически описывается [1]:

$$P_y = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot S, \quad (1)$$

где σ - условное напряжение резания, н/м²; $K_{рез} = P_z / P_y$ - коэффициент резания; P_z - тангенциальная составляющая силы резания, н; S - площадь поперечного сечения среза (для шлифования $S = Q / V_{кр}$; Q - производительность обработки, м³/с; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с).

Исходя из зависимости (1), уменьшить силу P_y без уменьшения параметра S (производительности обработки), можно уменьшением соотношения $\sigma / K_{рез}$, определяющего интенсивность силовой напряженности механической обработки. Данное соотношение связано с известным соотношением a_z / R обратно пропорциональной зависимостью, где a_z – толщина среза; R – радиус округления вершины режущего инструмента. Следовательно, чем больше a_z и

меньше R , тем меньше соотношение $\sigma / K_{рез}$. Поскольку параметр a_z линейно связан с S , уменьшить силу P_y можно уменьшением параметра R , обеспечивая высокую остроту режущего инструмента. Это достигается в первую очередь применением лезвийных и абразивных инструментов из синтетических сверхтвердых материалов, обладающих чрезвычайно высокой твердостью и износостойкостью.

Преобразуя зависимость (1), величину упругого перемещения y окончательно можно представить в виде:

$$y = \frac{v}{c} (4R HV)^{0,67} \cdot (a_z \cdot \tau_{сдв})^{0,33}, \quad (2)$$

где v – ширина резания, м; c – приведенная жесткость системы, н/м²; HV , $\tau_{сдв}$ – твердость и предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, н/м²; a_z – толщина среза, м.

Из зависимости (2) вытекают основные пути уменьшения величины y , состоящие в уменьшении параметров v , R , a_z и увеличении c . Наибольшее влияние на величину y оказывают параметры v и c . Однако, уменьшение v и a_z связано с уменьшением производительности обработки. Поэтому эффективно увеличивать c и уменьшать R , как отмечалось выше.

Радиус R связан линейной зависимостью с зернистостью абразивного или алмазного порошка при алмазно-абразивной обработке. Поэтому, важнейшим условием повышения точности обработки следует рассматривать снижение зернистости, что подтверждается экспериментальными данными.

Если все возможности уменьшения y за счет уменьшения R и c исчерпаны, дальше необходимо уменьшать параметр v , затем a_z , так как v в значительно большей степени влияет на y , чем a_z .

При точении параметр v описывается зависимостью $v = t / \cos \varphi$, где t – глубина резания, м; φ – угол в плане резца. Следовательно, уменьшение v предполагает уменьшение t . При этом важно, чтобы соотношение a_z / R было больше предельного значения, при котором резание не осуществимо, а возможно лишь упруго-пластическое деформирование обрабатываемого материала. Исходя из этого, зависимость (2) может быть представлена:

$$y = \frac{R \cdot v}{c} \cdot (4HV)^{0,67} \cdot (\alpha \cdot \tau_{сдв})^{0,33}, \quad (3)$$

где $\alpha = a_z / R > 0,04$.

При заданном значении α , уменьшить y можно уменьшением параметров R , v , c , которые в одинаковой степени влияют на y . При обеспечении наименьшего значения $R \cdot v / c$, зависимость (3) определяет минимально возможное значение y , достигаемое в процессе резания. Из зависимости (2) вытекает, что решать проблему повышения точности и производительности обработки можно за счет уменьшения ширины среза v и увеличении толщины среза a_z , так как эти параметры с различной степенью входят в зависимость.

Проведем анализ зависимости (2) для различных процессов алмазно-абразивной обработки. Очевидно, наименьших значений параметров R и a_z можно достичь при обработке свободным абразивом или инструментом со связанным мелкозернистым абразивом, изготовленным гальваническим методом. Эти инструменты (шлифовальные круги) обеспечивают однослойное (одно-высотное) расположение режущих зерен, чего не обеспечивают традиционные абразивные и алмазные круги. Кроме того, изготовить обычные круги мелкой зернистости практически невозможно, что ограничивает возможности уменьшения параметра R в зависимости (2).

Более высокие значения R при шлифовании требуют увеличения параметра a_z для обеспечения условия $a_z / R = const$. Отсюда вытекает, что шлифование имеет существенные ограничения с точки зрения достижения высокой точности обработки. При этом следует иметь в виду то, что при шлифовании обрабатываемый материал контактирует со связкой круга. Это дополнительно увеличивает силу резания и величину упругого перемещения. Чтобы исключить (уменьшить) нежелательное трение связки с обрабатываемым материалом, на практике прибегают к различным средствам: применению эффективных технологических сред, методов правки кругов, связок кругов, обеспечивающих режим самозатачивания и т.д.

Важным резервом повышения эффективности шлифования является применение алмазных кругов на металлических связках. Эти круги, за счет более прочного удержания зерен в связке, позволяют увеличить толщину единичного среза a_z . Это создает эффект снижения величины y при одновременном увеличении производительности обработки, согласно зависимости (2). Однако, данные алмазные круги в процессе шлифования быстро затупляются и засаливаются и могут быть эффективно использованы при упрочении введением в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов, т.е. за счет применения алмазного электроэрозионного шлифования.

Для оценки технологических возможностей этого перспективного метода обработки нами были проведены комплексные исследования алмазного электроэрозионного шлифования изделий из твердых сплавов на операциях плоского круглого наружного и внутреннего шлифования. Наибольший эффект был достигнут при внутреннем шлифовании, характеризующемся низкой жесткостью технологической системы и быстрой потерей режущей способности алмазного круга на металлической связке, имеющего наибольшую режущую поверхность. Например, при обычном шлифовании алмазным кругом на прочной металлической связке М2-01 в течение 8 мин производительность обработки уменьшилась в 5 раз. Введение в зону резания дополнительной электрической энергии постоянного тока позволило, во-первых, стабилизировать производительность во времени, во-вторых, добиться ее увеличения по сравнению с обычным шлифованием (без тока) и приблизить фактическое и номинальное значения (рис. 1). Этим удалось существенно уменьшить силу резания и упругие перемещения в технологической системе. Исходя из зависимости (1), уменьшение P_y произошло за счет уменьшения $\sigma / K_{рез}$, т.е. увеличения a_z / R .

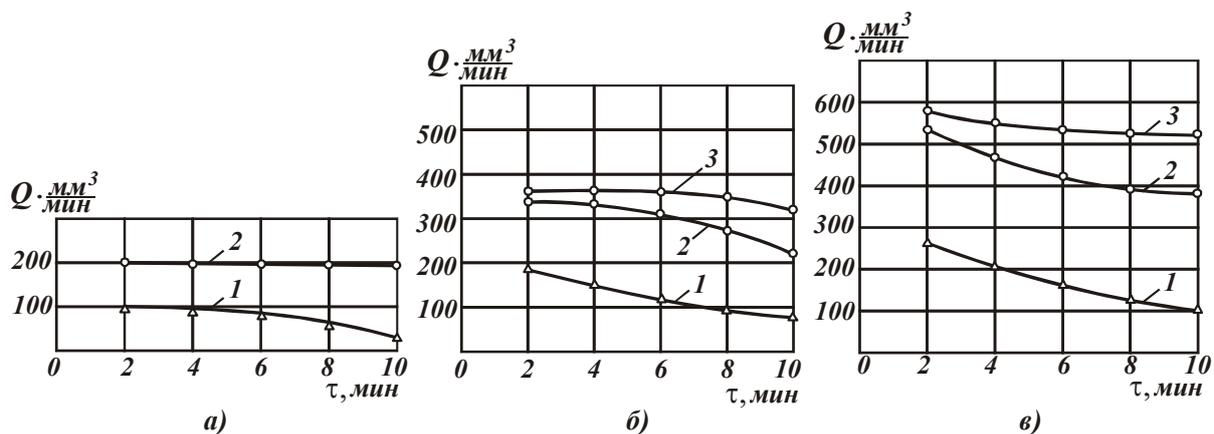


Рис. 1. Зависимость производительности Q от времени работы τ : обрабатываемый материал – ВК15; круг – АС6 160/125 4 М2-01; $V_{кр} = 23$ м/с; $V_{дет} = 60$ м/мин; $S_{пр} = 3$ м/мин; а) $S_{non} = 0,1$ мм/мин; б) $S_{non} = 0,2$ мм/мин; в) $S_{non} = 0,3$ мм/мин; 1 – $I = 0$; 2 – $I = 15$ А; 3 – $I = 20$ А; 4 – $I = 30$ А.

Исходя из зависимости (3), уменьшение y произошло за счет повышения остроты режущих зерен круга, т.е. уменьшения радиуса их округления R . Увеличение коэффициента $\alpha = a_z / R$ в данном случае не привело к увеличению y , так как α входит в зависимость (3) с меньшей степенью, чем R .

На основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что основной эффект алмазного электроэрозионного шлифования состоит в обеспечении своевременного удаления с рабочей поверхности круга затупившихся зерен и устранении трения металлической связки круга с обрабатываемым материалом. Это создает условия уменьшения силовой напряженности процесса, повышения производительности и точности обработки.

Список литературы: 1. Теоретические основы резания и шлифования: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

УДК 621.923

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ

Якимов А.В., докт. техн. наук, **Якимов А.А.**, канд. техн. наук
(Одесский национальный политехнический институт)

The results of theoretical and experimental studies share energy spent on cutting and friction in the overall energy balance of the process is usually continuous and intermittent grinding

Прерывистое шлифование широко применяется в машиностроении. В многочисленных работах [1, 2, 3] раскрыта его физическая сущность и определены технологические возможности. В данной работе проводится его анализ с учетом соотношения работ, которые затрачиваются на резание и трение в общем энергетическом балансе процесса шлифования. Для решения данной зада-

чи важно знать коэффициент “чистого резания” $K_{ш.рез}$ (аналогичный коэффициенту шлифования) $K_{ш}$, коэффициент трения f круга с обрабатываемым материалом, тангенциальную составляющую силы резания $P_{z.рез}$, которые определяются зависимостями [4]:

$$K_{ш.рез} = \sqrt{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \frac{K_{ш}}{\sigma}}, \quad f = K_{ш} - K_{ш.рез},$$

$$P_{z.рез} = K_{ш.рез} \cdot P_y, \quad P_{z.тр} = P_z - P_{z.рез},$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м²; σ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/м²; P_z , P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; $P_{z.рез}$, $P_{z.тр}$ – составляющие силы P_z , обусловленные процессами резания и трения при шлифовании, Н.

Доля трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования равна отношению $f / K_{ш}$. Зная параметр $K_{ш.рез}$, можно определить безразмерный коэффициент η , учитывающий степень затупления зерен круга и изменяющийся в пределах 0...1 ($\eta \rightarrow 0$ – для острых зерен, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленных зерен):

$$\eta = 1 - \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV \cdot \lambda}{2 \cdot V_{кр}}, \quad (3)$$

где HV – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/м²; 2γ – угол при вершине конусообразного режущего зерна; λ – удельная интенсивность шлифования, м³/(с·Н).

Режущую способность обычных и прерывистых шлифовальных кругов оценивали удельной интенсивностью шлифования λ [мм³/(с·Н)], массой снятого материала единицей площади рабочей поверхности круга в единицу времени K_p [г/(с·см²)] и отношением тангенциальной составляющей силы резания P_z к радиальной составляющей силы резания P_y , т.е. P_z / P_y . Зависимости параметров, которые характеризуют режущую способность обычных и прерывистых кругов ($l_1=36$ мм; $l_2=24$ мм) от времени шлифования стали 18ХНВА на режиме: $V_{кр}=34,5$ м/с; $V_{дет}=0,1$ м/с; $P_y=12$ Н/мм, показаны на рис. 1.

По мере затупления режущих зерен на рабочей поверхности сплошного круга коэффициент λ и отношение составляющих силы резания P_z / P_y уменьшаются. Например, при шлифовании сплошным кругом после его правки отношение $P_z / P_y=0,78$, а при шлифовании прерывистым кругом $P_z / P_y=0,7$.

После 25 минут работы обычного сплошного круга отношение P_z / P_y уменьшилось до 0,3, а прерывистого круга – до 0,64. Удельная интенсивность шлифования λ прерывистым кругом уменьшилась от 0,5 до 0,35 мм³/(с·Н), а сплошным кругом – от 0,55 до 0,05 мм³/(с·Н). Приведенные экспериментальные данные показывают, что обычные круги в связи с затуплением зерен и заполнением пор продуктами обработки за 25 минут работы теряют свою режущую

способность. Так, коэффициент λ при шлифовании сплошным кругом уменьшился в 11 раз, коэффициент K_p – в 23 раза, а отношение P_z/P_y – в 2,6 раза.

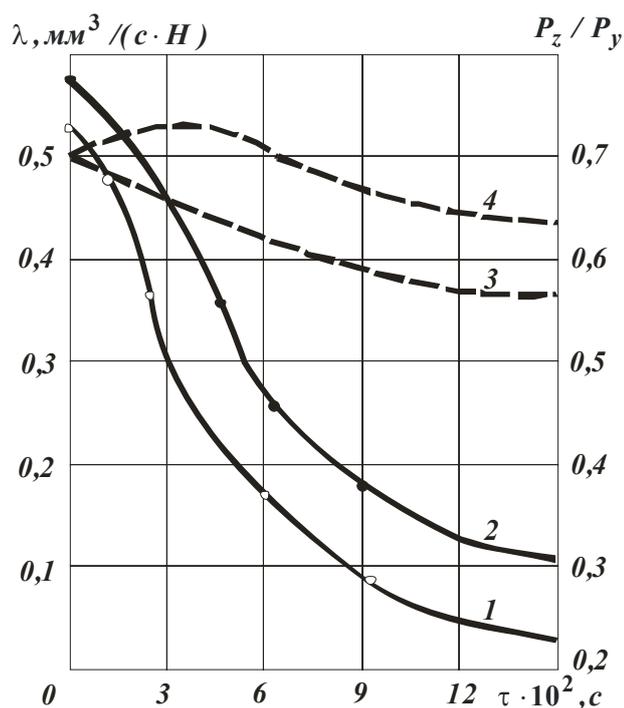


Рис. 1. Зависимости параметров λ и P_z/P_y от времени шлифования τ сплошным и прерывистым кругами 24А 25 НСМ26К5: 1; 3 – изменение коэффициента λ ; 2; 4 – изменение отношения P_z/P_y (контурные линии – сплошной круг, пунктирные линии – прерывистый круг).

Сохранение высокой режущей способности прерывистого круга на протяжении длительного периода времени связано с возникновением в упругой системе шпиндельного узла станка вынужденных высокочастотных колебаний с частотой приблизительно равной 300...1000 Гц, которые существенно изменяют условия трения и износа зерен, снижают сопротивление схода стружки, облегчают процесс ее образования и исключают налипание материала на режущие зерна. Кроме того, наличие вырезов на шлифовальном круге, наклоненных к оси вращения или радиальных пазов на торце, способствуют подаче в зону резания воздушного потока с повышенным давлением. Мощный поток воздуха выдувает образующуюся стружку из зоны резания, интенсифицирует процесс ее окисления и сгорания. Окисленная стружка становится более хрупкой, шарообразной, не налипает на поверхность режущих зерен и не проникает в поры круга. Наличие вырезов на круге с прерывистой рабочей поверхностью увеличивает расстояние между режущими зернами и глубину их проникновения в обрабатываемый материал.

Известно, что при небольших глубинах микрорезания увеличивается часть энергии, которая затрачивается на трение, и уменьшается работа, затрачиваемая на разрушение обрабатываемого материала. Процесс деформации и разрушения материала при разрушении зависит от радиуса округления режущих кромок зерен, угла при вершине и физических свойств обрабатываемого

материала. Увеличение радиусов округления зерен по мере их износа смещает точку начала стружкообразования в область больших глубин микрорезания.

При шлифовании кругами с прерывистой рабочей поверхностью нагрузки, действующие на режущие зерна, распределяются равномерно. Длительное время сохраняется высокая режущая способность, в то время как обычные сплошные круги теряют свою режущую способность и требуют правки. При прерывистом шлифовании вследствие динамических ударов происходит хрупкое разрушение затупленных зерен с образованием новых режущих кромок. На основе экспериментальных данных (рис. 1) рассчитаны параметры $K_{ш.рез}$, f , $f/K_{ш}$ и η при $\sigma_{сж}=1000$ Н/мм²; $HV=5120$ Н/мм², $2\gamma=120^\circ$ (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные значения параметров $K_{ш.рез}$, f , $f/K_{ш}$ и η

Время шлифования τ , мин	$K_{ш.рез}$		f		$f/K_{ш}$, %		η	
	Круг сплошной	Круг прерывистый						
0	0,177	0,169	0,400	0,331	69,0	66,2	0,783	0,800
3	0,126	0,164	0,354	0,356	73,7	68,4	0,888	0,812
6	0,100	0,157	0,170	0,343	65,4	68,6	0,931	0,828
9	0,075	0,150	0,100	0,320	55,5	66,6	0,956	0,845
12	0,058	0,147	0,055	0,300	42,3	66,6	0,975	0,851
15	0,048	0,141	0,052	0,290	17,3	66,0	0,982	0,861

Из приведенных в табл. 1 расчетных данных вытекает, что с течением времени шлифования параметр $K_{ш.рез}$ уменьшается как для сплошного, так и прерывистого кругов. Однако интенсивность уменьшения параметра $K_{ш.рез}$ различна. Для сплошного круга параметр $K_{ш.рез}$ уменьшается более чем в 3 раза по сравнению с прерывистым кругом. Эти данные свидетельствуют о высокой режущей способности прерывистого круга, которые он сохраняет в течении длительного периода времени обработки.

При прерывистом шлифовании доля энергии, которая затрачивается на трение $f/K_{ш}$, стабильна во времени и равна приблизительно 66%. При шлифовании сплошным кругом доля энергии, затрачиваемая на трение, уменьшается до 17%. Однако, из этого не вытекает, что увеличивается доля энергии, которая затрачивается на резание и соответственно съём материала. В этом случае происходит перераспределение энергии резания и трения в условиях резкого снижения производительности обработки и перехода от трения обрабатываемого материала преимущественно со связкой круга до трения обрабатываемого материала с режущими зёрнами.

Представляет интерес анализ закономерностей изменения безразмерного параметра η . При прерывистом шлифовании безразмерный параметр η увеличивается существенно – от 0,8 до 0,861. При шлифовании сплошным кругом он изменяется от 0,783 до 0,982. Значительное затупление зерен круга приводит

к уменьшению производительности обработки в 10 раз. Как следует из рис. 1, после правки круга $\lambda=0,55 \text{ мм}^3/(\text{с}\cdot\text{Н})$, а после 25 мин шлифования $\lambda=0,05 \text{ мм}^3/(\text{с}\cdot\text{Н})$. В табл. 2 приведены расчетные значения параметров $K_{ш.рез}$, f и $f/K_{ш}$ при шлифовании стали 12Х2Н4А сплошным и прерывистым кругом после правки ($\tau=0$) и после 10 мин работы ($\tau=6\cdot 10^2 \text{ с}$).

Таблица 2

Расчетные значения параметров $K_{ш.рез}$, f и $f/K_{ш}$

Вид шлифования	$\sigma \cdot 10^4, \text{ Н/мм}^2$		$K_{ш}$		$K_{ш.рез}$		f		$f/K_{ш}, \%$	
	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$	0	$6\cdot 10^2, \text{ с}$
Сплошным кругом без СОЖ	12,5	22,2	0,85	0,55	0,217	0,131	0,633	0,419	74,4	76,1
Прерывистым кругом без СОЖ	9,5	10,2	0,7	0,65	0,227	0,211	0,473	0,439	67,5	67,5
Сплошным кругом, пропитанным серой	10,8	14,0	0,85	0,55	0,234	0,165	0,616	0,385	72,4	70,0
Прерывистым кругом, пропитанным серой	7,0	8,0	0,7	0,65	0,265	0,238	0,435	0,412	62,1	63,3

Коэффициент шлифования $K_{ш}=P_z/P_y$ для прерывистого круга меньше, чем для сплошного круга, однако параметр $K_{ш.рез}$, который характеризует производительность обработки, наоборот, значительно больше, чем для сплошного круга. Коэффициент трения f для прерывистого круга в течении 10 мин шлифования практически не изменяется. В то же время для сплошного круга он уменьшается почти в 2 раза. Доля энергии, затрачиваемая на трение, $f/K_{ш}$ при шлифовании прерывистым кругом остается постоянной.

Таблица 3

Расчетные значения параметров λ и η

Время шлифования τ , мин	$\lambda, \text{ мм}^3/(\text{мин}\cdot\text{кГс})$		η	
	Круг сплошной	Круг прерывистый	Круг сплошной	Круг прерывистый
0	350	450	0,682	0,591
5	250	450	0,773	0,593
10	200	430	0,818	0,595
15	160	440	0,854	0,600
20	155	430	0,859	0,600

После пропитки круга серой уменьшаются энергетические затраты на трение и увеличивается параметр $K_{ш.рез}$. Безразмерный параметр η при шли-

фовании прерывистым кругом меньше, чем при шлифовании сплошным кругом, и остается неизменным во времени. При шлифовании сплошным кругом 24А 25 НСМ26К5 стали Х12М на режиме: $V_{кр}=25$ м/с; $V_{дет}=10$ м/мин ($HV=5000$ Н/мм²; $tg\gamma=1,732$) безразмерный параметр η непрерывно увеличивается (табл. 3). Приведенные данные свидетельствуют о том, что прерывистый круг работает в режиме самозатачивания и имеет более острые режущие кромки, чем сплошной круг. Кроме того, процесс прерывистого шлифования происходит с большими толщинами срезов, что обеспечивает более высокую производительность обработки.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с. 2. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с. 3. Якимов А.В. Прерывистое шлифование. – К.: Вища школа, 1986. – 175 с. 4. Якімов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якімов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.

УДК 621.923

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

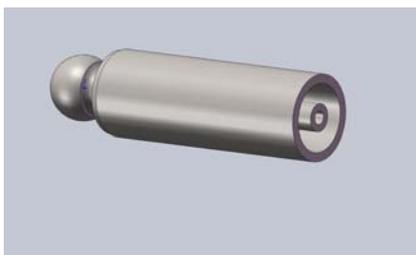
Жовтобрюх В.О., канд. техн. наук (ТОВ Технічний Центр “ВаріУс”)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харківський національний економічний університет ім. Семе́на Кузне́ця)

In this paper reasonable conditions improve efficiency machining of precision parts for hydraulic systems through the use of modern high-speed cutting and collecting carbide tool manufacturing company TaeguTec and machine tools such as "processing center" with numerical

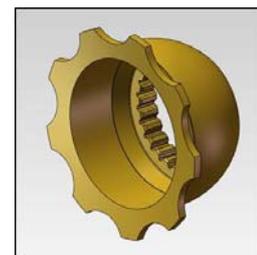
Підвищення продуктивності й зниження собівартості обробки, забезпечення високих вимог до точності та якості виготовлення відповідальних деталей припускає застосування зносостійких з високою ріжучою здатністю інструментів і високооборотових сучасних верстатів зі ЧПУ, які реалізують умови високошвидкісної обробки. Це, наприклад, стало вирішальним фактором у вирішенні проблеми економічного виготовлення високоточних деталей гідравлічних систем, таких як плунжер, п'ята й сферична втулка (рис. 1) [1, 2].



а



б



в

Рис. 1. Деталі гідравлічних систем: а – плунжер; б – п'ята; в – втулка сферична

Плунжер виготовляється зі сталі 40ХФ2, а п'ята й втулка сферична – з ливарної латуні ЛМцСКА. Обробку зазначених деталей (більше 10 різновидів і типорозмірів деталей) запропоновано здійснювати на високопродуктивному двошпindelному токарному обробному центрі PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом (вісь С) і контр-шпинделем (“DOOSAN” виробництва Південна Корея), оснащеним револьверною головкою для зміни інструмента й системою управління (ЧПУ) Fanuc Oi-TD (рис. 2). Для кожного виробу виготовлений окремий комплект затискного оснащення, а для операцій кільцевого фрезерування й глибокого свердління – верстат комплектувався потужною гідростанцією на 70 бар.

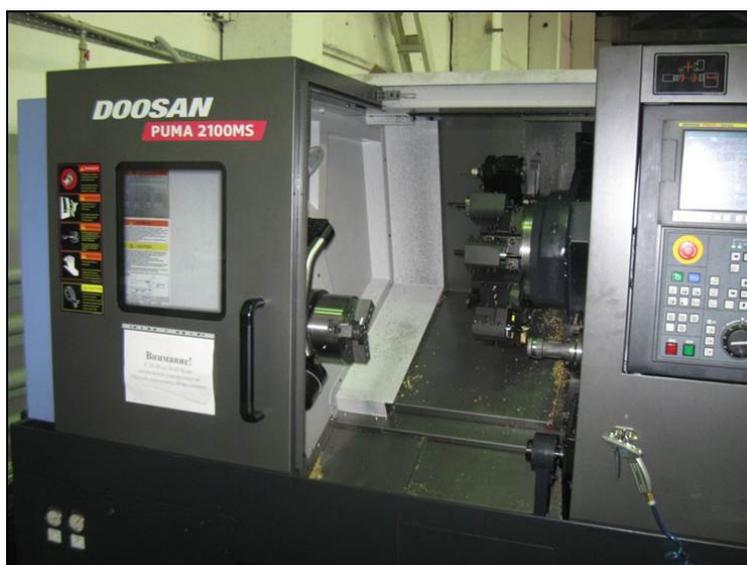


Рис. 2. Високопродуктивний двошпindelний токарний обробний центр PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом і контр-шпинделем (“DOOSAN”)

При розробці нової технології механічної обробки деталей гідравлічних систем був зроблений основний упор на фактор економічності, зв'язаний, з однієї сторони, з підвищенням продуктивності й зменшенням собівартості обробки, а з іншої сторони, – з універсалізацією встаткування зі ЧПУ шляхом застосування нестандартних різальних інструментів і спеціального оснащення.

Так, раніше розглянуті деталі – плунжер, п'ята й втулка сферична – оброблялися на різному встаткуванні. Навіть окремі операції доводилося виконувати на різних верстатах. Наприклад, токарну обробку плунжера виконували на одному встаткуванні, а глибоке свердління – на спеціальному верстаті для глибокого свердління. Зараз ці операції об'єднані й виконуються на одному верстаті “DOOSAN”. Крім того, використовуючи верстати агрегатного типу, складно коректувати розмір оброблюваної деталі у зв'язку зі зношуванням різального інструменту. Для введення корекції на агрегатному верстаті необхідно затрачати більше 5 хвилин. Для введення корекції на верстаті “DOOSAN” зі ЧПУ – усього 20 секунд. Наприклад, при обробці на агрегатному верстаті при виявленні браку на 3-х оброблених деталях із 7, очевидно, і 4 наступні оброблені деталі підуть у брак. При використанні верстата “DOOSAN” є можливість кон-

тролювати кожну деталь, що фактично виключає брак при обробці. При цьому з'являється можливість збільшення продуктивності обробки на кожній операції за рахунок підвищеної жорсткості верстата "DOOSAN".

Отже, застосування такого встаткування як верстат зі ЧПУ "DOOSAN" дозволяє вирішити проблему економічності й продуктивності обробки головним чином за рахунок його універсалізації, можливості обробки трьох розглянутих типів деталей (плунжер, п'ята й втулка сферична) на одному верстаті. При цьому скорочуються витрати на енергоресурси. Для обслуговування верстата потрібний один робітник, тоді як для обробки даних деталей на агрегатних верстатах необхідно більше 5 робітників. Це дозволяє заощаджувати фонд заробітної плати робітників. Крім того, мінімізується кількість бракованих деталей. Характеристики верстата "DOOSAN" дозволяють виконувати токарну обробку деталей різної конфігурації. У випадку зміни конструкції деталі є можливість швидкого переналагодження встаткування.

Для забезпечення мінімально можливої собівартості обробки визначалися оптимальні значення стійкості різальних інструментів та швидкості різання. При цьому значення подачі й глибини різання встановлювалися максимально можливими, виходячи з умов забезпечення найбільшої продуктивності обробки. Нижче наведені результати експериментальних досліджень застосування сучасних збірних конструкцій твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея) замість традиційно використовуваних для обробки розглянутих вище трьох типових деталей гідравлічних систем: плунжера, п'яти й втулки сферичної. Розглянемо можливості підвищення ефективності операцій механічної обробки плунжера (рис. 1а).

1. За існуючою технологією напівчистова обробка зовнішньої циліндричної поверхні плунжера виконувалася контурним різцем із твердого сплаву T15K6 із режимом: $V = 40$ м/хв., $S = 0,15$ мм/об., $t = 1,0$ мм. З метою підвищення продуктивності й зниження трудомісткості й собівартості обробки запропоновано використовувати сучасний збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною з твердого сплаву TT8125 зі зносостійким покриттям (рис. 3) виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея). Завдяки високій стійкості багатогранних змінних пластин зі зносостійким покриттям удалося інтенсифікувати режим різання: $V = 100$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об., $t = 2,0$ мм. Це дозволило в 3 рази збільшити продуктивність обробки і виключити численні перезаточення інструмента й таким чином зменшити трудомісткість і собівартість обробки.



Рис. 3. Збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною TT8125



Рис. 4. Збірний токарний різець з кутом у плані 93° й зі змінною багатогранною пластиною TT8115

2. Ще більший ефект був досягнутий на операції чистової токарної обробки, а також при формуванні сфери й радіуса плунжера. Відповідно діючої технології, дана операція здійснюється тим же різцем із твердого сплаву Т15К6 з режимом різання: $V = 45$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об., $t = 0,08$ мм. Замість цього різця впроваджено сучасний збірний токарний різець з кутом у плані 93° зі змінною багатогранною пластиною із твердого сплаву ТТ8115 (рис. 4). Режим різання: $V = 250$ м/хв., $S = 0,12$ мм/об., $t = 0,3$ мм. У результаті вдалося підвищити продуктивність обробки більш ніж в 10 разів.

3. Для свердлення отворів у плунжері застосовувалися центрувальні свердла зі швидкорізальної сталі Р18 з режимом різання: $V = 40$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об. Застосування свердла ЕСЕМ 2060 зі сплаву UF 20 (рис. 5) дозволило збільшити швидкість різання до $V = 80$ м/хв. при такій же подачі $S = 0,1$ мм/об. З метою підвищення продуктивності та якості обробки отворів були розроблені



Рис. 5. Свердло ЕСЕМ 2060 зі сплаву UF 20

й впроваджені кардинально нові конструкції свердел для глибокого свердління отвору $\varnothing 3,15$ мм з довжиною ріжучої частини 125 мм. Свердління рекомендується виконувати з режимом різання: $V = 60$ м/хв., $S = 0,08$ мм/об.

Нижче наведено розроблені ефективні операції механічної обробки деталі “п'ята” (рис. 1б).

1. За діючою технологією напівчистова обробка зовнішньої циліндричної поверхні деталі “п'ята” виконувалася фасонним різцем зі швидкорізальної сталі Р18 з режимом різання: $V = 100$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об., $t = 2,0$ мм. Замість цього інструмента був застосований сучасний збірний токарний різець TDJNL 2525



Рис. 6. Збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною зі сплаву К10

М15 зі змінною багатогранною пластиною DNMG 150608 ML зі сплаву К10 на основі WC+Co (рис. 6, табл. 1). Режим різання: $V = 350$ м/хв., $S = 0,25$ мм/об., $t = 1,5$ мм. У результаті продуктивність обробки збільшилася в 6 разів, майже в таку ж кількість разів зменшилася собівартість обробки.

Таблиця 1

Механічні й фізичні властивості твердого сплаву К10

Модуль пружності, Н/мм ²	Межа міцності на вигин, Н/мм ²	Межа міцності на стиск, Н/мм ²	Твердість (HRA)	Теплопровідність, кал/(см ³ ·К)	Коефіцієнт теплового розширення, 10 ⁻⁶ /град.
620	> 2 400	6 200	92,7	0,19	4,7

2. Обробка 3-х глухих отворів $\varnothing 3,18 \pm 0,24$ мм раніше виконувалася спеціальним свердлом $\varnothing 3,18$ мм зі швидкорізальної сталі P18 із режимом різання $V = 30$ м/хв., $S = 0,05$ мм/об. З ціллю підвищення ефективності обробки на цій операції запропоновано застосовувати спеціальне твердосплавне свердло BOF D3.18X0.7X 60-6 з ультрадрібнозернистого твердого сплаву UF10 (рис. 7) з режимом різання $V = 120$ м/хв., $S = 0,07$ мм/об. Це дозволило більш ніж в 5 разів підвищити продуктивність обробки при одночасному зменшенні собівартості обробки.

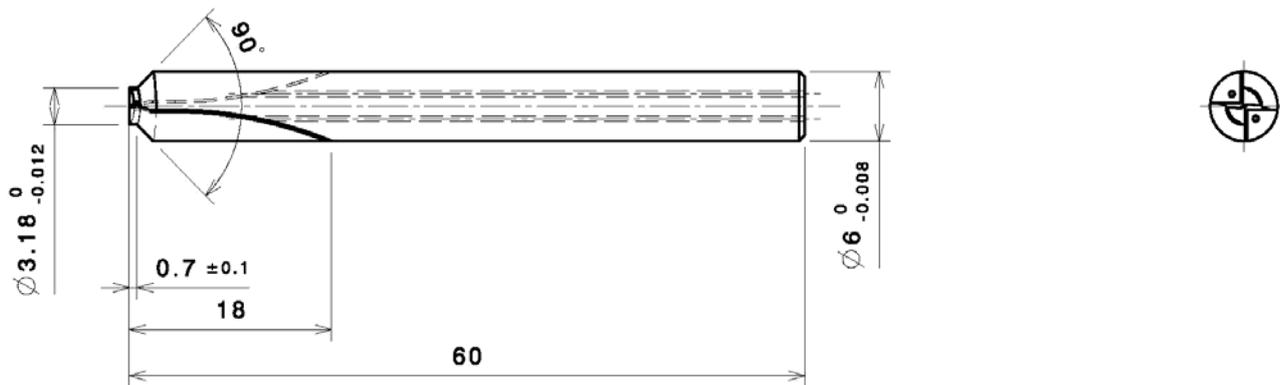


Рис. 7. Креслення спеціального твердосплавного свердла BOF D3.18X0.7X 60-6 зі сплаву UF10

3. Обробка центрального отвору $\varnothing 1,57^{+0,11}_{-0,04}$ мм раніше виконувалася спеціальною фрезою $\varnothing 1,57$ мм зі швидкорізальної сталі P18 із режимом різання $V = 30$ м/хв., $S = 0,05$ мм/об. Застосування спеціальної твердосплавної фрези SSD D1.6X20FX 70-6 зі сплаву UF10 (рис. 8) з режимом різання: $V = 100$ м/хв., $S = 0,07$ мм/об., дозволило в 5 разів збільшити продуктивність і знизити собівартість обробки.

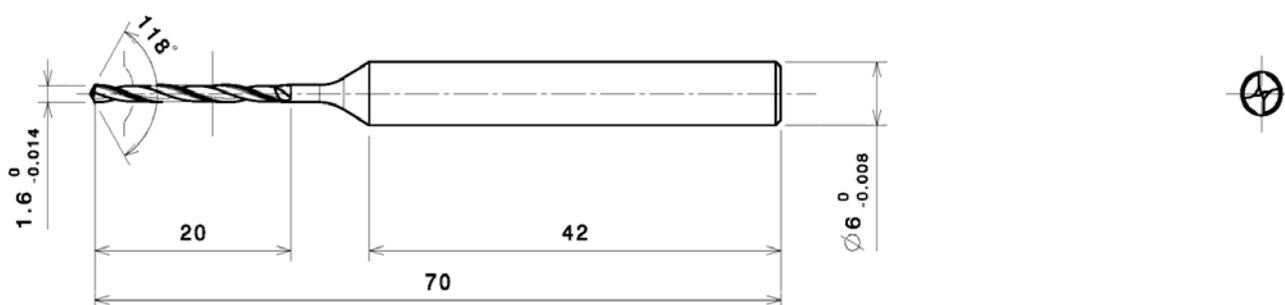


Рис. 8. Креслення спеціальної твердосплавної фрези SSD D1.6X20FX 70-6 зі сплаву UF10

4. Точіння торцевих канавок запропоновано виконувати з режимом різання: $V = 150$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об. канавковим різцем зі змінною пластиною зі сплаву K10. Раніше ця операція виконувалася напайним канавковим різцем зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання: $V = 70$ м/хв., $S = 0,07$ мм/об. У підсумку досягнуте збільшення продуктивності обробки до 3-х разів.

5. Чорнова операція розточування отвору $\varnothing 17,12 \pm 0,04$ мм здійснюється різцем зі змінною пластиною із сплаву K10 (рис. 9). Режим різання: $V = 110$ м/хв., $S = 0,08$ мм/об., $t = 0,5$ мм. Раніше на даній операції використовувався розточувальний фасонний різець зі швидкорізальної сталі P18. Режим різання: $V = 50$ м/хв., $S = 0,05$ мм/об., $t = 0,5$ мм. Це дозволило до 4-х разів підвищити продуктивність обробки.



Рис. 9. Змінна пластина зі сплаву K10

Для обробки сфер R1,52 і $\varnothing 3,94 \pm 0,11$ мм традиційно використовувалися спеціальні фрези зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання: $V = 50$ м/хв., $S = 0,05$ мм/об. Завдяки використанню збірних фрез із твердого сплаву UF10, які дозволяють реалізувати режим різання: $V = 150$ м/хв., $S = 0,08$ мм/об., удалося підвищити швидкість різання й продуктивність обробки в 3 рази.

Обробка стопорної канавки за новою технологією здійснюється токарним різцем із змінною пластиною зі сплаву K10. Режим різання: $V = 420$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об., $t = 0,5$ мм. Раніше використовувався контурний різець зі швидкорізальної сталі P18. Режим різання: $V = 110$ м/хв., $S = 0,08$ мм/об., $t = 0,1$ мм. Це дозволило багаторазово (більш ніж в 10 разів) підвищити продуктивність обробки.



Рис. 10. Збірний токарний різець із змінною багатогранною пластиною зі сплаву K10

Нижче наведено оцінку ефективності застосування розроблених операцій механічної обробки деталі

“втулка сферична” (рис. 1в).

За діючою технологією операція напівчистої обробки зовнішньої циліндричної поверхні деталі “втулка сферична”, а також торцевої поверхні здійснювалася фасонним різцем зі швидкорізальної сталі P18. Режим різання $V = 100$ м/хв., $S = 0,1$ мм/об., $t = 2,0$ мм. Замість цього інструмента застосований збірний токарний різець TDJNL 2525 M15 зі змінною багатогранною пластиною



Рис. 11. Токарний різець із кутом у плані 93° , оснащений пластиною зі сплаву K10

DNMG 150608 ML зі сплаву K10 (рис. 10). Це дозволило реалізувати наступний режим різання: $V = 350$ м/хв., $S = 0,25$ мм/об., $t = 1,5$ мм.

Розточування, а також обробка торця втулки раніше виконувалися контурним різцем зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання: $V = 110$ м/хв., $S = 0,08$ мм/об., $t = 0,1$

мм. Обробка здійснюється токарним різцем S25T SDUCR 11 з кутом у плані 93° , оснащеним пластиною DCGT 11T304 FL зі сплаву K10 (рис. 11). Режим рі-

зання: $V = 250$ м/хв., $S = 0,2$ мм/об., $t = 1,0$ мм. У результаті досягнуте збільшення продуктивності обробки більш ніж в 10 разів.

Фрезерування круглих лисок (“зірочки”) за діючою технологією здійснювалося фрезою $\varnothing 10$ мм зі швидкорізальної сталі з режимом різання: $V = 30$ м/хв., $S = 0,08$ мм/об. Дана фреза була замінена на фрезу REMA із твердого сплаву UF10 (рис. 12).



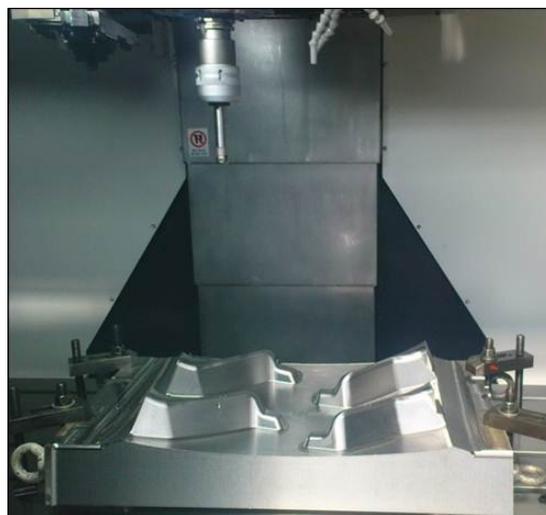
Рис. 12. Фреза REMA із твердого сплаву UF10

Ця заміна дозволила інтенсифікувати режим різання ($V = 100$ м/хв., $S = 0,15$ мм/об.) і більш ніж в 6 разів підвищити продуктивність обробки.

В роботі проведено аналіз умов підвищення ефективності механічної обробки складнопрофільних робочих поверхонь сектора прес-форми для шини діаметром 2 200 мм. Впровадження сучасних збірних твердосплавних різальних інструментів і верстатів типу “оброблювальний центр” зі ЧПУ дозволило вирішити проблему створення складнопрофільних робочих поверхонь сектора (елемента) прес-форми для шини діаметром 2 200 мм (рис. 13). За діючою технологією обробка здійснювалася протягом 180 годин. Впровадження нової технології дозволило винятково за рахунок підвищення режимів різання й зменшення кількості проходів (рис. 14) скоротити машинний час до 15,5 годин. У результаті досягнуте зменшення машинного часу в 11,5 разів.



а



б

Рис. 13. Сектор (елемент) прес-форми для шини діаметром 2 200 мм у зборі (а) і його обробка на верстаті (б)

Ефект обробки обумовлений застосуванням нових збірних твердосплавних інструментів виробництва фірми TaeguTec: торцевої фрези $\varnothing 100$ мм із механічним кріпленням пластин SCRM90TN 6100-32R-22 (рис. 15а); кінцевої фрези $\varnothing 32$ мм із механічним кріпленням пластин TE90AP 32-17-L (рис. 15б);

сферичної фрези $\varnothing 25$ мм с механічним кріпленням пластини TBN 250-32M (рис. 15в). Використовувалися пластини зі сплаву TT9080 із зносостійкими покриттями (рис. 15г), які забезпечують високу стійкість різальних інструментів.

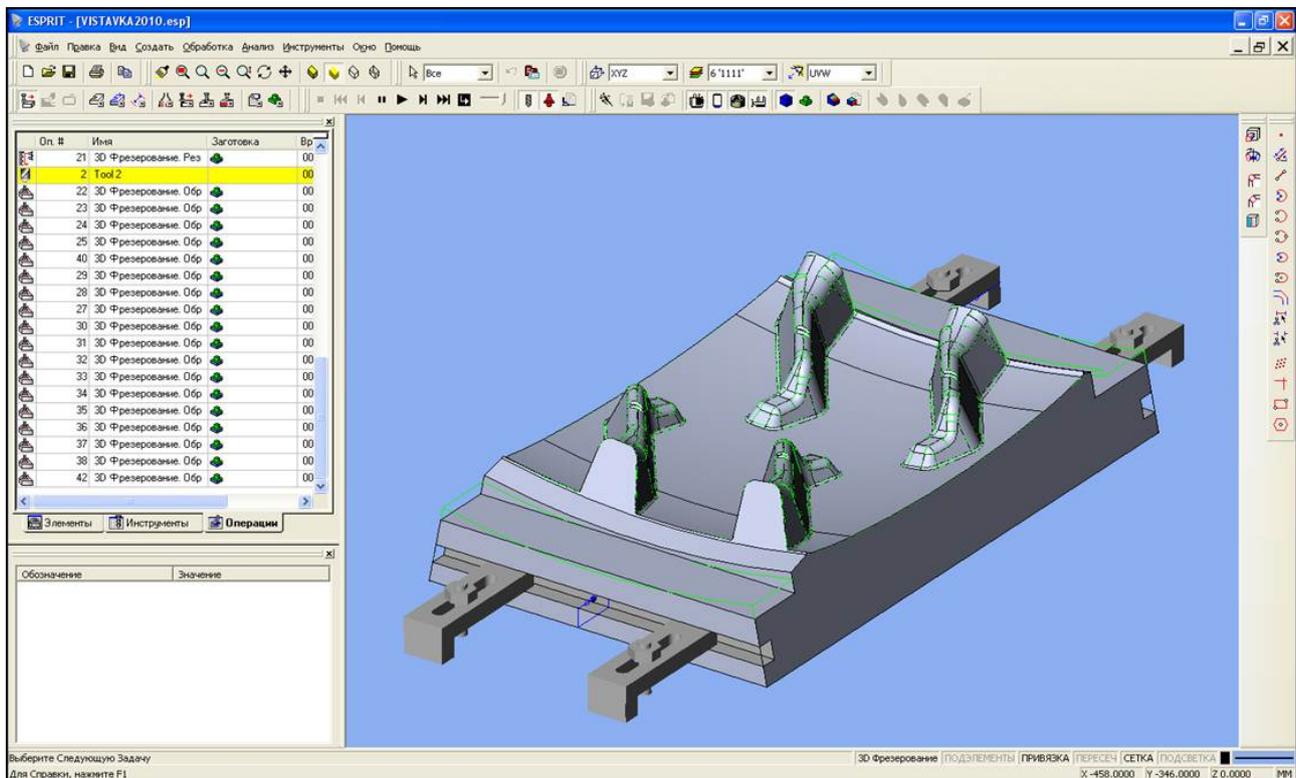


Рис. 14. Траекторії руху інструмента в САМ системі Esprit

Чорнова обробка здійснюється торцевою фрезою $\varnothing 100$ мм із режимом різання: $V = 140$ м/хв. ($n = 440$ об./хв.); подача на зуб $S_Z = 0,11$ мм/зуб; подача стола $S = 300$ мм/хв.; глибина – 6 мм; ширина – 70 мм.

Напівчистова обробка здійснюється кінцевою фрезою $\varnothing 32$ мм із режимом: швидкість різання $V = 170$ м/хв. ($n = 1\,700$ об./хв.); подача на зуб $S_Z = 0,2$ мм/зуб; подача стола верстата $S = 1\,000$ мм/хв.; глибина різання 1 мм; ширина різання 23 мм.

Чистова обробка здійснюється кінцевою фрезою $\varnothing 21$ мм із режимом різання: швидкість різання $V = 330$ м/хв. ($n = 5\,000$ об./хв.); подача на зуб $S_Z = 0,4$ мм/зуб; подача стола верстата $S = 3\,900$ мм/хв.; глибина різання 0,3 мм; ширина різання 0,5 мм. Чистова обробка також здійснюється із застосуванням сферичної фрези $\varnothing 25$ мм із режимом різання: швидкість різання $V = 390$ м/хв.; подача на зуб $F_Z = 0,3$ мм/зуб; оберти шпинделя $S = 5\,000$ об./хв.; подача стола верстата $F = 3\,000$ мм/хв.; глибина різання 1 мм; ширина різання 0,35 мм.

У роботі застосовані нестандартні підходи до контролю якості – впроваджено САМ-системи ESPRIT (рис. 16). Застосування даного програмного засобу дозволяє виключити необхідність проміжних вимірів у процесі обробки деталі, що додатково підвищує продуктивність праці.

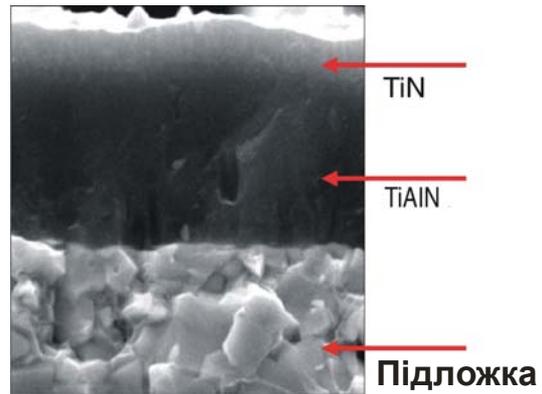


а

б



в



г

Рис. 15. Застосовувані різальні інструменти (а, б, в) і структура сплаву ТТ9080 зі зносостійким покриттям (г)

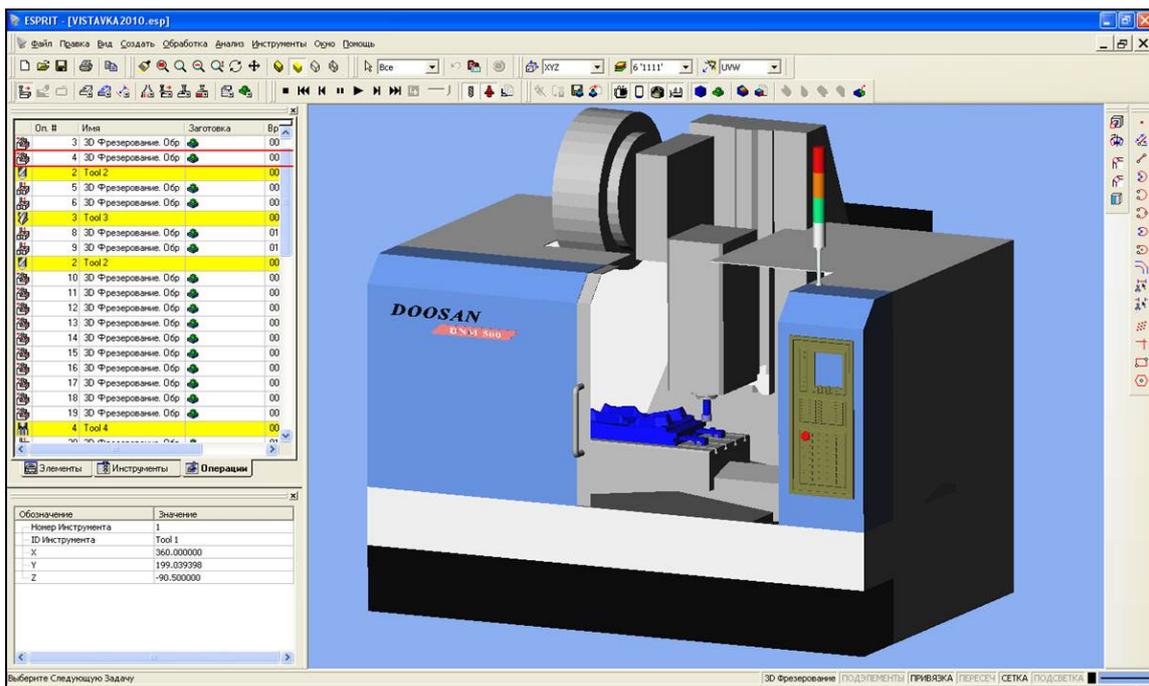


Рис. 16. Контроль і симуляція обробки в САМ-системі Esprit

Таким чином, наведені приклади наочно показують, що застосування сучасного встаткування й збірних твердосплавних інструментів відкриває нові технологічні можливості в інтенсифікації процесів механічної обробки відповідальних деталей, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів. У результаті досягається багаторазове збільшення продуктивності й зниження собівартості обробки при забезпеченні високих вимог за точністю та якістю оброблюваних поверхонь.

Список літератури: 1. Новиков Ф.В. Расчет параметров режимов резания по критериям наименьшей себестоимости и наибольшей производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф., 19-22 сентября 2011 г., г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2011. – 148-151. 2. Жовтобрюх В.А. История и общая информация о группе компаний "ВариУс" // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2010. – С. 166-172.

УДК 621.923

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ковальчук А.Н., канд. техн. наук, **Нежебовский В.В.**, канд. техн. наук
(ПАО Харьковский машиностроительный завод "Свет шахтера")

The results of measurements of geometrical parameters of gears after surgery using modern gear grinding CMM Global Perfomance 122210

Надежность правильно сконструированной машины, функционирование ее узлов в расчетном режиме, а значит и ресурс работы в определяющей степени зависят от геометрической точности изготовления деталей по сопрягаемым поверхностям [1, 2]. Повышение требований к качеству машин влечет за собой ужесточение допусков. Каждое десятилетие допуски ужесточаются примерно в 1,5 раза. Одновременно повышается и доля трудоемкости операций контроля в технологическом процессе изготовления деталей и изделий. Поэтому совершенствуются измерительные средства.

В особой мере это относится к качеству контроля деталей зубчатых передач, корпусных деталей и узлов приводов шахтных конвейеров производства ПАО ХМЗ "Свет шахтера". Габаритные размеры этих деталей не менее 800x800x1200 мм, а масса не менее 1000 кг. Измерения параметров точности сложнопрофильных поверхностей данных деталей традиционными методами представляет большие сложности. В связи с этим важно и актуально оценить возможности осуществления измерения данных деталей с помощью современной координатно-измерительной машины (КИМ). Цель работы – разработка методики измерения параметров точности сложнопрофильных поверхностей деталей с использованием КИМ GLOBAL Perfomance 122210 производства итальянской фирмы DEA (концерн Hexagon).

Данная КИМ представляет собой автоматическую 3-х координатную машину портального типа. Две дополнительные оси обеспечиваются поворотной головкой. Паспортная точность $2,5 \text{ мкм} \pm L/300$. Габаритные размеры рабочей зоны $1200 \times 2200 \times 1000$ мм. Управление может осуществляться как в ручном режиме, для вспомогательных и наладочных перемещений, с выносного пульта, так и в автоматическом режиме. Работа в автоматическом режиме КИМ обеспечивается управлением с персонального компьютера через контроллер. Разработка управляющих программ осуществляется в прикладных программных пакетах PC-Dmis и QUINDOS, поставляемых опционально и приобретенных заводом совместно с КИМ под решение выше указанных задач. Программа PC-Dmis предназначена для контроля линейных и угловых размеров, отклонения формы и расположения деталей и узлов посредством поочередного изменения координат определенного числа точек поверхностей детали и последующего их расчета.

Управляющая программа кроме геометрических параметров контролируемой детали и результатов измерений содержит и учитывает системы координат: систему координат машины (СКМ); относительную систему координат (ОСК); систему координат детали (СКД). ОСКД обеспечивает единство координатных данных при измерении несколькими наконечниками. Фактически представляет собой для нашего случая сферу, изготовленную с точностью в десятые доли микрона, на которой выполняется калибровка наконечников при различных положениях поворотной головки. В задачу оператора входит выполнить в ручном режиме привязку СКД к СКМ, а дальше машина автоматически выполняет обмер поверхностей и выдает отчет. Отчет содержит как числовые значения размеров и отклонений формы и расположения, верхние и нижние отклонения полей допусков, фактически измеренные размеры и отклонения, если такие имеются. Кроме того, может дополнительно представляться различная графическая информация.

Программный пакет QUINDOS удобен для контроля всех основных параметров (согласно ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 1758-81) [3, 4] зубчатых колес с прямым и наклонным зубом, а также конических зубчатых колес с круговым зубом. При освоении координатно-измерительной машины в ПАО ХМЗ “Свет шахтера” сравнивались основные положения действующих на заводе государственных стандартов (ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 1758-81) и европейских стандартов ISO 1328-1:1995 и ISO 1328-2:1997. Согласно ГОСТам, для контроля зубчатых колес можно использовать любые из перечня показателей, измерение которых может быть обеспечено технологическими возможностями и наличием контрольно-измерительных приборов и оснастки. Для степеней точности цилиндрических и конических зубчатых колес, изготавливаемых на заводе, традиционно используются следующие показатели, табл. 1.

В табл. 1 приняты следующие обозначения по ГОСТ: F_{pr} – накопленная погрешность шага зубчатого колеса; F_{rr} – радиальное биение зубчатого венца; f_{pbr} – отклонение шага зацепления; f_{fr} – погрешность профиля зуба; f_{ptr} – отклонение шага зубьев; $F_{\beta r}$ – погрешность направления зуба; F_{sl} , F_{sh} – отклоне-

ние относительных размеров суммарного пятна контакта по длине и высоте зубьев (определяемого в паре конических колес с базовых установок на контрольно-обкатном станке).

Таблица 1

Контролируемые показатели (комплексы)

Нормы точности	Степени точности	
	8	9 – 12
	Цилиндрические передачи (ГОСТ 1643-81)	Конические передачи (ГОСТ 1758-81)
Кинематическая	F_{pr}	F_{rr}
Плавности работы	$f_{pbr} + f_{fr}$	f_{ptr}
Контакта зубьев	$F_{\beta r}$	F_{sl}, F_{sh}

До приобретения координатно-измерительной машины, изготавливаемые на заводе колеса 9-й (и грубее) степеней точности подвергались следующему контролю: по нормам кинематической точности – прямозубые и косозубые цилиндрические колеса – на конусных оправках в центрах, а конические – в приспособлениях на радиальное биение зубчатого венца F_{rr} ; косозубые, кроме того, по нормам контакта – измерением погрешности направления зуба $F_{\beta r}$ через измерение осевого шага колес с помощью концевых мер на специальном приспособлении в центрах. Принималось, что соответствие колес по нормам плавности работы (показатель f_{ptr}) для 9-й степени точности (и грубее) достаточно обеспечивается технологией за счет точности цепи деления станков. Так же и $F_{\beta r}$ у прямозубых цилиндрических колес – за счет точности установочных баз приспособлений.

Для зубчатых колес 8-й степени точности, по мере освоения их производства, был введен обязательный контроль по нормам контакта зубьев параметра $F_{\beta r}$, в том числе и прямозубых колес, а в части соблюдения норм плавности был применен косвенный контроль профиля f_{fr} специального эталонного зубчатого колеса на эвольвентомере МИЗ. Указанный эталон подвергался шлифованию зубьев каждый раз после монтажа и выставления на станке нового шлифовального круга. При соответствии эталона 8-й степени точности считалось, что требуемый профиль зубьев шлифуемых колес обеспечен технологически. В целом это подтверждалось обкаткой колес на стадии приемо-сдаточных испытаний редукторов.

В связи с тем, что на координатно-измерительной машине измерение конкретных отклонений зубьев осуществляется автоматически по заранее заданной программе, а базирование детали на рабочем столе не требует сложной оснастки и существенно упрощается по сравнению с традиционными методами, показатели, приведенные в табл. 1, могут быть определены с высокой точностью и в полном объеме. Это позволяет изготовить зубчатые колеса заданного технического уровня строго в соответствии с действующими стандартами.

Установленный регламент показателей, контролируемых в системе ISO и представленных на протоколах КИМ, включает: по нормам кинематической точности – накопленную погрешность шага F_{pr} и радиальное биение зубчатого венца F_{rr} ; по нормам плавности работы – отклонение шага f_{ptr} , а также комплексную погрешность профиля зубьев f_{HA} , FA , ffA по нормам контакта – также комплексную погрешность направления f_{HB} , FB , ffB .

Кроме того, измеряются величины, характеризующие сопряжение зубьев в передаче, а именно (на выбор): размер по длине общей нормали (при этом указывается количество охватываемых зубьев); толщина зубьев по хорде; размер между зубьями по роликам.

Сопоставление приведенного перечня с данными табл. 1 показывает, что в системе ISO по сравнению с ГОСТом точность зубчатого колеса оценивается увеличенным количеством параметров: по нормам кинематической точности двумя показателями: F_{pr} и F_{rr} против одного в ГОСТ (F_{pr} либо F_{rr}); по нормам плавности отклонения профиля представлено тремя показателями, в том числе f_{HA} – погрешность угла профиля, ffA – погрешность формы профиля и, наконец, FA – полная погрешность профиля, которая соответствует по физическому смыслу f_{rr} погрешности формы зубьев по ГОСТ 1643-81.

Аналогичное положение и по нормам контакта зубьев. Здесь также в ISO три показателя: f_{HB} – погрешность угла линии контакта, ffB – погрешность формы линии контакта, FB – общая погрешность линии контакта, которая и по обозначению и по смыслу соответствует ГОСТу.

При измерениях по действующим ГОСТам задача упрощается – в приведенных выше комплексах контрольной оценке подлежит только FA (f_r) и FB ($F_{\beta r}$). Другие оценки по профилю (f_{HA} , ffA) и направлению (f_{HB} , ffB) можно опустить, как не установленные действующим ГОСТом. Этот фактор важно учитывать при пользовании протоколами в условиях производства.

Из сопоставления показателей ISO с данными табл. 1 также следует, что кроме обозначения полной погрешности профиля f_{fr} по ГОСТу вместо FA в ISO все остальные буквенные обозначения контролируемых величин совпадают. Это упрощает процесс анализа результатов измерений.

Единственной условностью использования данных по ISO в действующих стандартах ГОСТ можно считать подмену предельного отклонения шага зацепления f_{pb} – соответственно предельным отклонением просто шага зубьев f_{pt} в нормах плавности колес 8-ой и точнее степеней точности. Основанием такого допущения можно считать близкое (в пределах 5% значений) совпадение абсолютных значений данных отклонений.

На основе проведенного анализа 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. ISO выбран в качестве стан-

дарт, который в перспективе будет принят Украиной. Кроме учета разницы данных, упомянутые правила позволили инженерно-техническому персоналу предприятия, работающему с отчетами, быстрее освоить их расшифровку.

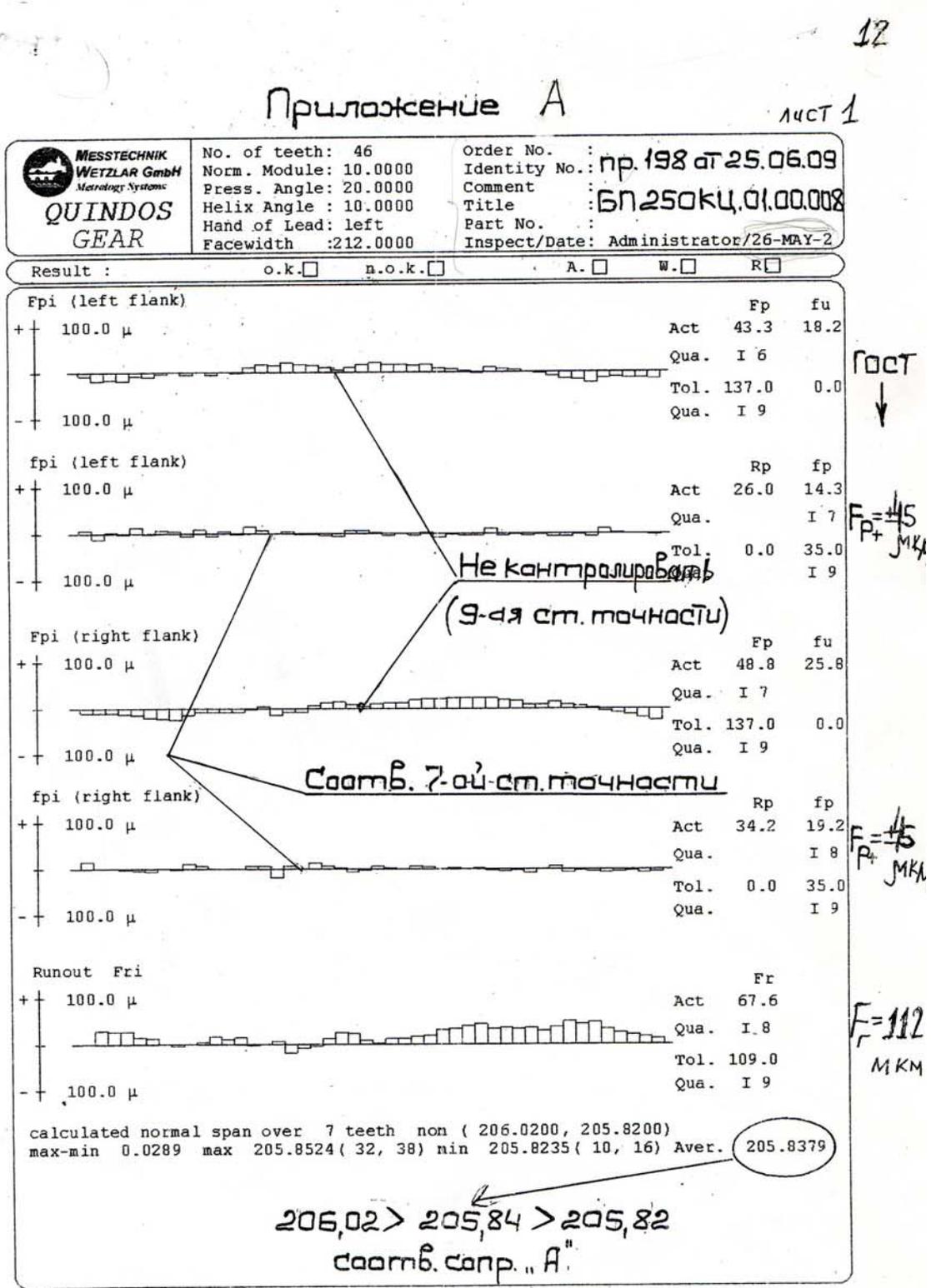


Рис. 1. Протокол КИМ для колеса зубчатого цилиндрического БП250КЦ.01.00.008 (Лист 1).

Приложение А

Лист 2

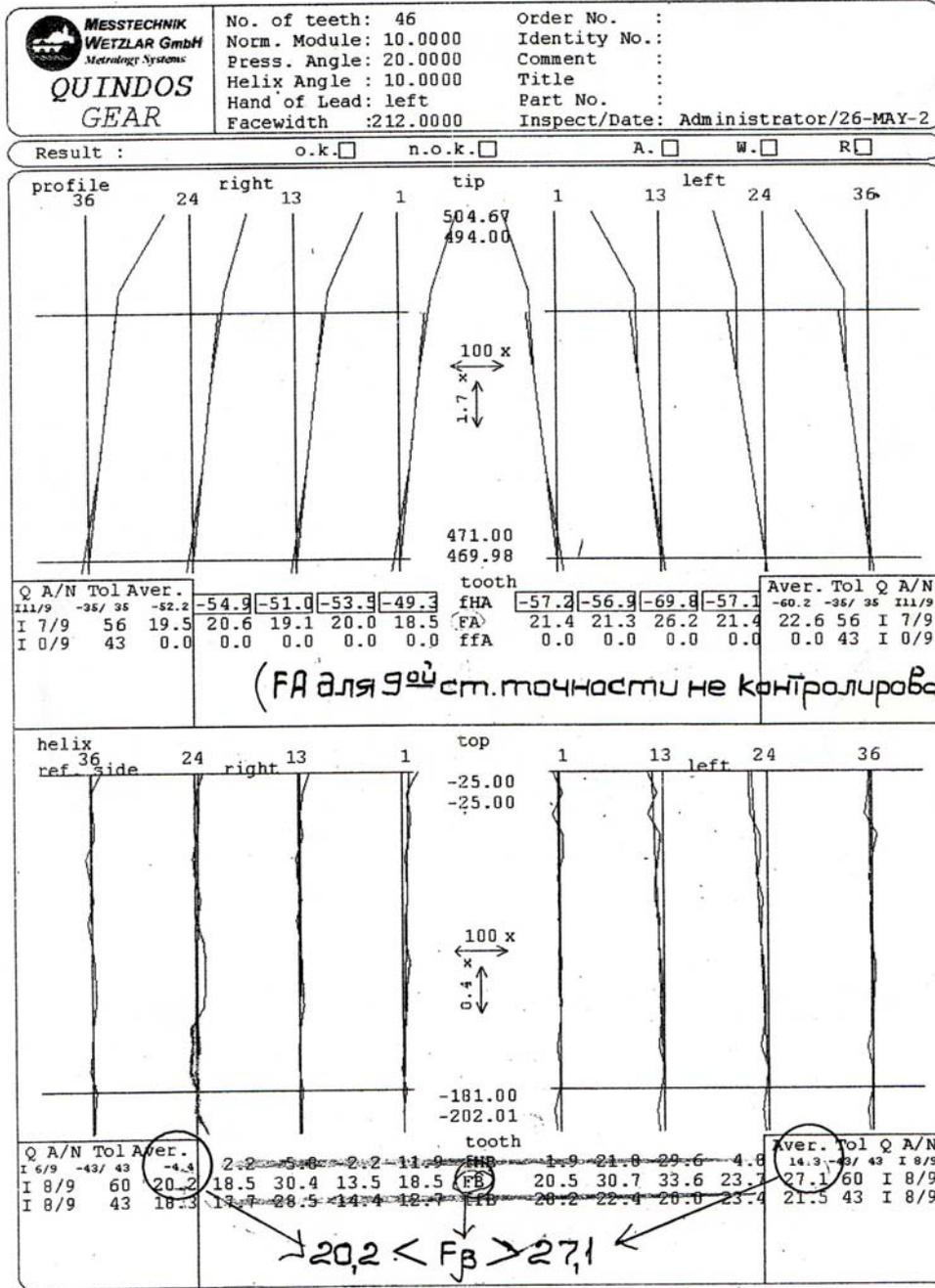


Рис. 2. Протокол КИМ для колеса зубчатого цилиндрического БП250КЦ.01.00.008 (Лист 2).

Рассмотрим образцы протоколов КИМ с измеренными отклонениями двух зубчатых колес: БП250КЦ.01.00.008 (рис. 1, рис. 2) и БПВСП.01.00.022 (рис. 3, рис. 4). Они позволяют кроме числовой, производить также визуальную оценку результатов проведенных измерений.

Приложение Б

13

Лист 1

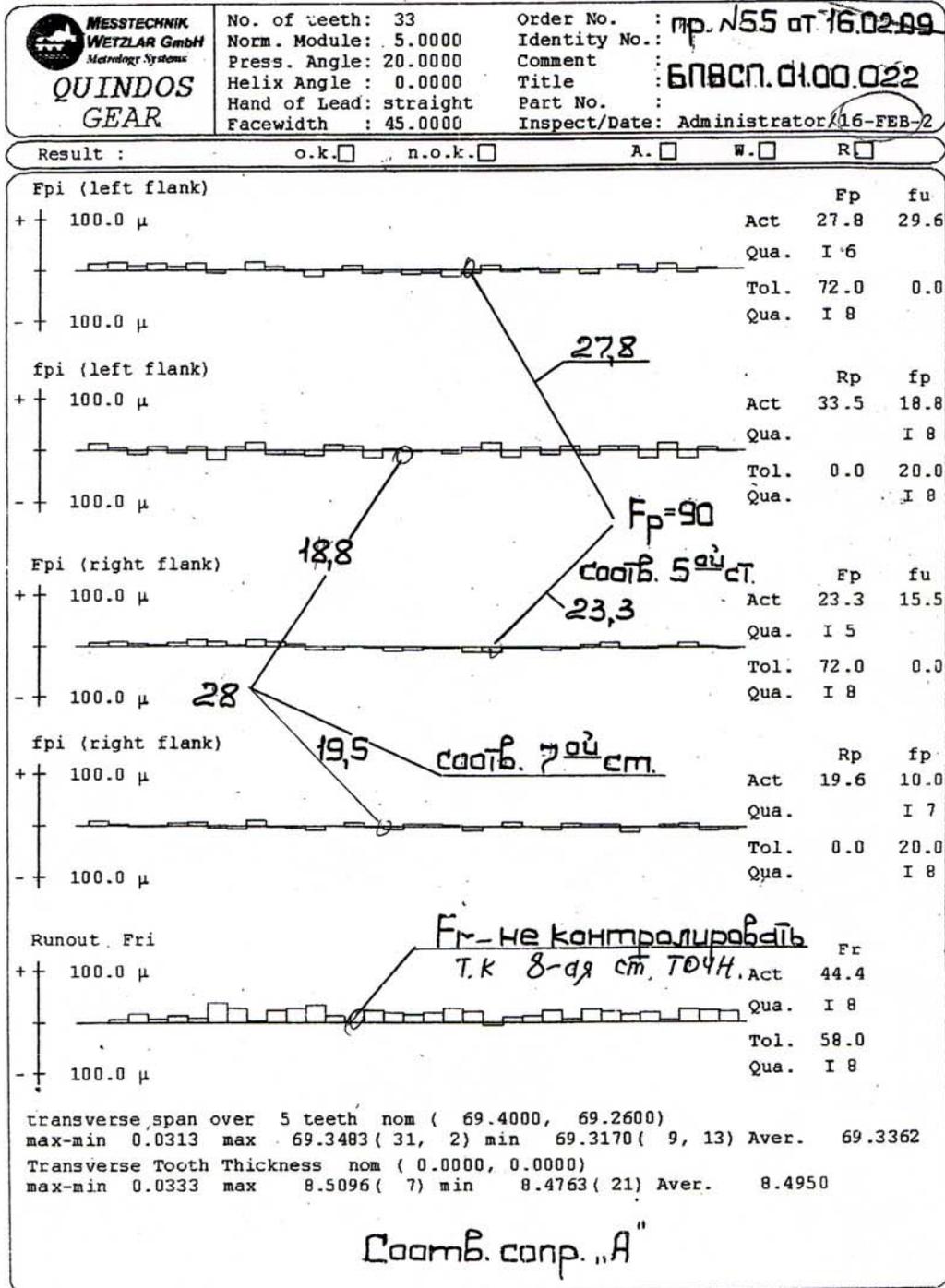


Рис. 3. Протокол КИМ для колеса БПВСП.01.00.022 (Лист 1).

Приложение 5

Лист 2

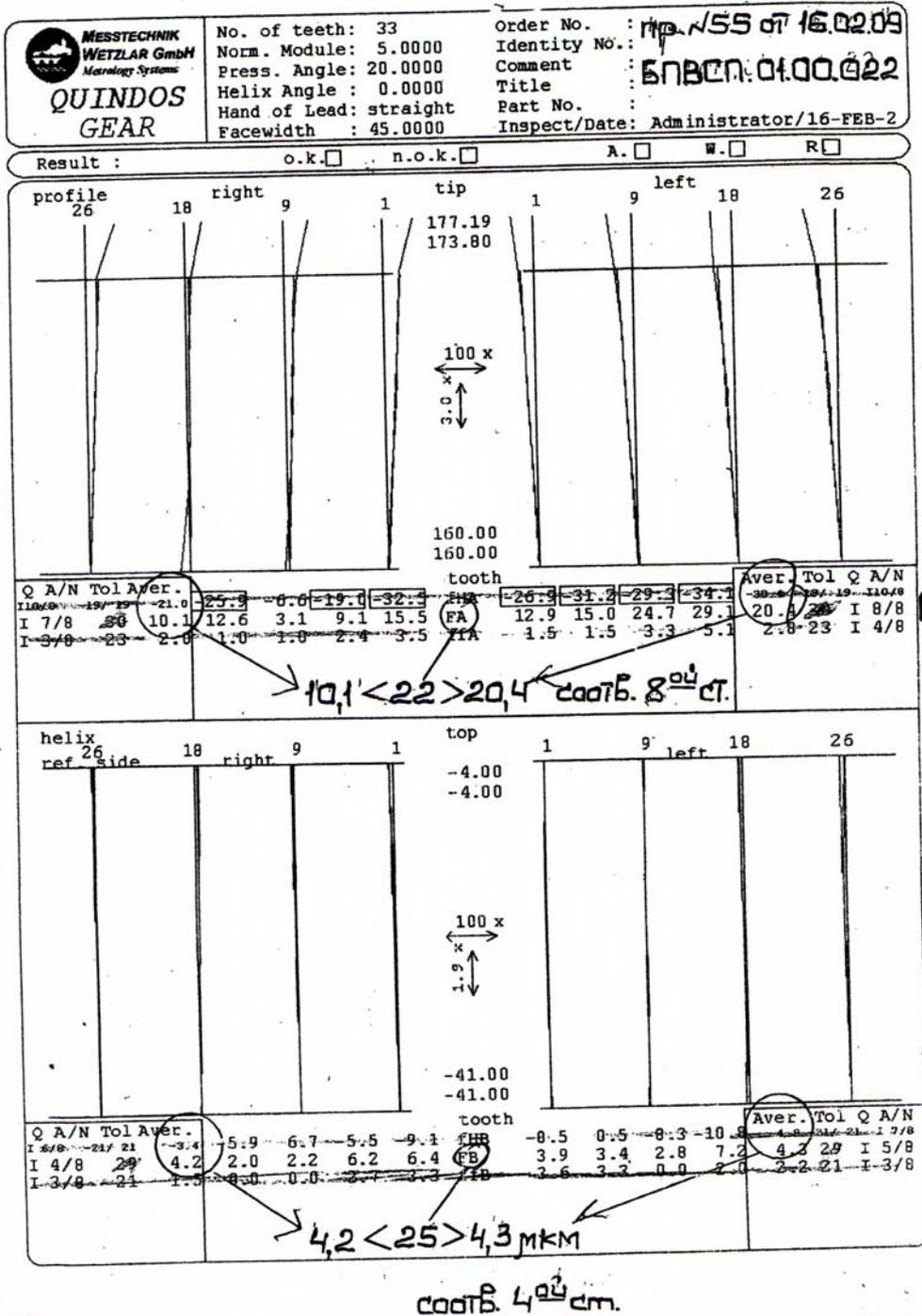


Рис. 4. Протокол КИМ для колеса БПВСП.01.00.022 (Лист 2).

В верхней части каждого рисунка приведены данные измеряемого колеса: No.of teeth – число зубьев; Norm. Module – нормальный модуль; Press Angle – угол зацепления; Helix Angle – угол наклона зубьев; Hand of Lead – направле-

ние зубьев; Facewidth – ширина зубчатого венца. Кроме этих данных, в верхней части рис. 1 персонал КИМ вручную заносит следующую информацию: регистрационный номер протокола измерений (обведен); обозначение детали; наименование детали; порядковый номер детали при наличии таких требований чертежа; номер станка, на котором выполнялось шлифование зубьев; прочая служебная информация: номера распорядителей документов, порядок захода ДСЕ на КИМ (до т/о или после) и т.д.

На рис. 1 приведены данные по кинематической точности: F_{pi} – накопленная погрешность шага соответственно для левой (left flank) и правой (right flank) стороны зубьев, а также диаграммы и прочие данные по радиальному биению зубчатого венца (Runout F_{ri}). Между диаграммами F_{pi} для разных сторон зубьев, размещены диаграммы предельных отклонений шага – f_{pi} также для левой и правой сторон зубьев. С правой стороны графиков показаны числовые значения этих отклонений.

В нижней части рис. 1 приведены, в зависимости от требований чертежа, данные либо по длине общей нормали (traverse span), либо расстояние по роликам (dimension over balls), либо значения толщины зубьев по хорде (transverse Tooth Thickness). Приведены номинальные (nom), максимальные (max) и средние (Aver) числовые значения этих величин.

На рис. 2, кроме повтора верхней части чертежных параметров зубчатого колеса, приведены сверху вниз числовые и графические данные измерений погрешностей профиля зубьев и линии контакта. По профилю и направлению контактной линии представлены данные измерений для правой (right) и левой (left) стороны зубьев.

Для усреднения показаний по зубчатому венцу в целом замеры произведены для четырех примерно равнорасположенных зубьев. Максимально возможны измерения профиля и направления по 20 зубьям. При $Z > 20$ остальные зубья можно обмерить дополнительной прогонкой управляющей программы с изменением стартового зуба. Таким способом можно производить измерения на деталях с любым числом зубьев, если ДСЕ по своим габаритам попадает в рабочую зону КИМ. Измерения профиля по высоте производятся в диапазоне диаметров, ограничивающих активную длину профиля (их значения приведены в средней части рисунка между графиками); там же приведены масштабы графиков в обеих координатах.

Погрешность профиля каждого зуба описывается тремя линиями разного цвета: вертикальная – черная – номинал, и наклонные – красная – фактическое отклонение, синяя – усредняющая линия, характеризующая среднее отклонение угла профиля (для стандарта ISO). Ниже графиков представлены числовые значения отклонений в мкм по каждому из показателей комплекса (fHA , ffA , FA). С обеих сторон числовой таблицы приведены справочные данные: Q – обозначение стандарта; I – качество; A/N (Actual / Normal) – действительная (фактическая) и установленные стандартом нормы точности; Tol (Tolerance) – допуск по установленной степени точности; Aver (Average) – среднее значение.

Числовые данные, которые на диаграмме заключены в рамки, не соответствуют установленной (чертежной) норме точности. По этим данным назначается фактическая норма точности (А).

Ниже в том же формате, что и для профиля, приведены графические и числовые данные отклонений контактной линии (Helix) зубьев по ширине зубчатого венца. Представлены измеренные значения для 4-х примерно равнорасположенных зубьев для их правой и левой стороны. Цветные линии графика описывают: черная – номинальные значения; красная – фактическое отклонение контактной линии от номинала; синяя – усредняющая линия, характеризующая отклонение угла контактной линии от номинала (для стандарта ISO).

Следует отметить, что при пользовании протоколами в производственном контроле используются числовые и графические данные действующего межгосударственного стандарта, а именно FA – погрешность профиля зуба общая; FB – погрешность направления зуба общая. Данные таблиц f_{HA} , ff_A , f_{HB} , ff_B – предназначенные для стандарта ISO – во внимание не принимаются, как не установленные действующим стандартом.

При анализе результатов измерений в протоколах КИМ для конкретных деталей следует оценивать представленные числовые данные не по нормам ISO, указанным в распечатках, а по действующим ГОСТам. В качестве первого шага следует определиться с показателями зацепления, подлежащими контролю, в зависимости от степени точности изготавливаемого колеса. Затем установленные ГОСТом допуски необходимо сопоставить с фактическими отклонениями контролируемых параметров, представленных в протоколах. При этом для накопленной погрешности окружного шага, радиального биения зубчатого венца и отклонения осевого шага принимаются во внимание максимальные значения этих величин – они представлены справа от графиков в протоколах, а для профиля зубьев и контактной линии – максимальные средние значения FA и FB , выбранные из данных программ по обеим сторонам зубьев. Для параметров, характеризующих сопряжение зубьев в передаче, необходимо ориентироваться на средние (Aver) длины общей нормали, расстояния по роликам или толщины по хорде. Методически данная работа представлена на рис. 1 – рис. 4. Допуски показателей зацепления из ГОСТ 1643-78 для колес, рассмотренных в виде примера, приведены в табл. 2. В этой таблице приведены основные контролируемые показатели зацепления с обозначениями согласно ГОСТ, а в скобках приведены обозначения, принятые в протоколах КИМ. Планируется разработать такие таблицы для всех без исключения деталей с зубчатым зацеплением, которые подлежат контролю на координатно-измерительной машине и выдать их для использования персоналу ОТК. В последующем допуски для показателей F_{pr} , F_{rr} , f_{ptr} , f_{fr} (FA) и $F_{\beta r}$ (FB) цилиндрических, а также и конических колес будут занесены в память машины КИМ и необходимость в таких действиях отпадет.

Ниже в качестве примеров рассмотрены протоколы измерения контролируемых показателей конкретных деталей с зубчатым зацеплением (рис. 1 – рис. 4). Пример 1. Колесо зубчатое цилиндрическое (протокол №198 от

26.05.09г.; БП250КЦ.01.00.008). Параметры: $Z=46$; $m=10$ мм; $\beta=10^0$; $B=212$ мм. Точность передачи по чертежу: 9-А по ГОСТ 1643-81. Контролируемые показатели (табл. 1): F_{rr} – биение зубчатого венца (F_{pr} – накопленная погрешность окружного шага для 9-ой степени точности не контролируется); f_{ptr} – отклонения шага зубьев (f_{fr} профиля зуба для 9-ой степени точности не контролируется); $F_{\beta r}$ – погрешность направления зуба; длина общей нормали: $L_{max}=206,02$; $L_{min}=205,82$.

Таблица 2

Допуски и показатели зацепления

Деталь			Контролируемые показатели зацепления				
№ п/п	Обозначение	Наименование	$F_{pr} (F_{pi})$	$F_{rr}(F_{rr})$	$f_{ptr}(f_{pi})$	$f_{fr}(FA)$	$F_{\beta r} (FB)$
			Допуск, мкм				
1	БП250кц.01.00.008	Колесо зубчатое цилиндрическое	–	112	± 45	–	40
2	БПВСП.01.00.022	Колесо зубчатое	90	–	± 28	22	25

По ГОСТ 1643-81 (таблицы 2,3,4) [3] установлены следующие нормы: $F_r=112$ мм; $f_p=\pm 45$ мм; $F_\beta=40$ мм. Как следует из графиков и таблиц, радиальное биение зуба венца $F_r=67,6$ мкм соответствует седьмой степени точности, также как и погрешность шага и погрешность направления зуба. Длина общей нормали $L=205,838$ мм соответствует чертежу.

Пример 2. Колесо (протокол № 78 от 06.11.08г.; БПВСП.01.00.022). Параметры: $Z=33$; $m=50$ мм; $\beta=0^0$; $B=45$ мм. Точность передачи по чертежу: 8-А по ГОСТ 1643-81. Контролируемые показатели (табл. 1): F_{pr} – накопленная погрешность шага зубьев (F_r радиальное биение зубьев не контролируется); ($f_{pb}+f_{fr}$) – комплекс из отклонений шага зацепления (в первом приближении можно использовать f_{pt} – просто шаг зубьев) и погрешность профиля – параметр FA в системе ISO; F_β – погрешность направления зуба; длина общей нормали: $L_{max}=69,40$ мм; $L_{min}=69,26$ мм; $L_{факт}=205,84$ мм. По ГОСТ 1643-81 (таблицы 2,3,4) [3] установлены следующие нормы: $F_p=90$ мкм; $f_{pt}=\pm 28$ мкм; $f_f (FA)=22$ мкм; $F_\beta (FB)=25$ мкм. Как следует из графиков, колесо по параметру F_{pr} соответствует 5-ой степени; по нормам плавности – 8-ой степени, так как в комплексе ($F_{pt}+f_f$) показатель f_{pt} соответствует 5-ой степени точности, а показатель $f_f (FA)$ – 8-ой степени точности. По нормам контакта зубьев показатель $F_\beta (FB)$ соответствует 4-ой степени точности. Деталь соответствует чертежу.

Выводы. Проведенные при освоении КИМ измерения деталей с зубчатым зацеплением подтвердили возможности измерительной машины в обеспечении высокой точности измерений, стабильности и надежности результатов, а также удобство их анализов на основе протоколов. Применение КИМ позволяет сни-

зять трудоемкость сложных контрольных операций, уменьшить потребность в дополнительной контрольной оснастке, улучшить условия труда персонала ОТК. Созданы предпосылки для повышения технического уровня выпускаемых редукторов и других изделий.

Список литературы: 1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 2. Технологія машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В.М. Царюк, О.О. Якимов, Г.О. Оборський, В.П. Ларшин, О.В. Самойленко. – Оdesa: Астропринт, 2001. – 608 с. 3. ГОСТ 1643-81. Передатки зубчатые цилиндрические. Допуски. – М.: Издательство стандартов, 1981. 4. ГОСТ 1758-81. Передатки зубчатые цилиндрические и гипоидные. Допуски. – М.: Издательство стандартов, 1981. 5. ДСТУ ISO 1328-1: 2004; ДСТУ ISO 1328-2: 2005 – Колеса зубчасті циліндричні. Частина 1,2 (Проект, остаточно редакція). – К.: Держспоживстандарт України, 2004–2005. 6. Тимофеев Б.П., Абрамчук М.В. Сравнение табличных значений параметров точности зубчатых колес в стандартах ISO 1328 и ГОСТ 1643-81. – Сб. Теория механизмов и машин. – 2007, №1, Том 5.

УДК 621.923

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫМИ БРУСКАМИ

Новиков С.Г., канд. техн. наук, **Малыхин В.В.**, канд. техн. наук,
Ткаченко Т.Б., канд. экон. наук, **Горбатенко С.А.**, канд. техн. наук,
(Курский институт социального образования (филиал) Российского
государственного социального университета,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

Developed the design of devices for finishing processing of products as an alternative to existing tools for intermittent grinding

Развитие современной техники предъявляет возрастающие требования к качеству поверхностей, в особенности, на окончательных технологических операциях. В настоящее время с этой целью широко применяются, например, шлифование абразивными сегментами и планетарное шлифование, осуществляющие эффективную прерывистую обработку. Так известно дискретное шлифование торцовыми кругами с абразивными сегментами, обеспечивающими высокие качество деталей и производительность процесса [1]. Однако данная обработка имеет следующие недостатки:

1. Абразивные сегменты жестко закреплены на торце круга и совершают простейшее вращательное движение, при этом зерно сегмента при встрече с твердым зерном обрабатываемого материала не может обойти возникшее препятствие, смещаясь в сторону, и принять прежнее положение, это приводит к вырыванию зерен сегментов из связки или к их разрушению, изнашиванию и затуплению, что снижает производительность плоского шлифования.

2. Невозможность обработки фасонных поверхностей, например, фасок и галтелей.

Известно также планетарное торцовое шлифование, создающее прерывистость контакта алмазных зерен наружного и внутренних инструментов с качественно обрабатываемой поверхностью [2]. Наряду с указанными выше недостатками следует добавить еще и следующие:

1. Сложность конструкции и изготовления планетарного механизма.

2. Шумность работы при шлифовании, связанную с наличием большого количества зубчатых зацеплений, а также быстрый износ цилиндрических зубчатых колес, работающих при больших нагрузках, что приводит к биениям и ухудшению качества обрабатываемой поверхности, так как в планетарном механизме не предусмотрено демпфирование возникающих колебаний.

3. Быстрое «засаливание» шлифовальных инструментов, так как они хотя и совершают сложное плоскопараллельное движение, но лишь в одной плоскости, параллельной обрабатываемой поверхности.

4. Низкие эксплуатационные характеристики из-за неизменной жесткости шлифовального инструмента при любых параметрах технологического процесса, что не позволяет регулировать жесткость планетарного устройства при обработке различных конструкционных материалов.

Технической задачей наших разработок является создание альтернативных устройств, не только сохраняющих все достоинства указанных способов шлифования, но и реализующих устранение приведенных недостатков, а также улучшающих эксплуатационные характеристики обработки.

Нами предложено несколько устройств, позволяющих решить поставленную техническую задачу. Описание конструкций и работы некоторых из них было приведено ранее [3-6]. Остановимся подробнее на последней наиболее прогрессивной разработке. На рисунке представлено устройство для отделочной обработки изделий. Диски 1 и 2 с помощью пальцев 3, неподвижно закрепленных на торцевых поверхностях дисков, шарнирно связаны с концами шатуна 4. Алмазно-абразивные бруски 5 размещены в контейнерах 6 в виде прямоугольных параллелепипедов с выступанием над контейнерами 6, установленными в пазах 7 шатуна 4, выполненных по форме контейнеров 6 со сквозными отверстиями 8 в основаниях пазов 7, с возможностью контакта алмазно-абразивных брусков 5 с обрабатываемыми поверхностями изделий.

Контейнеры 6 изготовлены из вулканизированного материала с образованием замкнутых эластичных оболочек с сообщающимися полыми боковыми стенками и днищами параллелепипедов с внутренними размерами, равными длине и ширине алмазно-абразивных брусков 5, а во внешних стенках днищ жестко зафиксированы цилиндрические штуцеры 9 с диаметрами d_1 , меньшими диаметров d_2 сквозных отверстий 8 в основаниях пазов 7.

Контейнеры 6 с алмазно-абразивными брусками 5 установлены свободно с зазорами в пазах 7 шатуна 4, а штуцеры 9 пропущены соосно со сквозными отверстиями 8 пазов 7. Через штуцеры 9 закачан сжатый воздух в сообщающиеся полости днищ и боковых стенок замкнутых эластичных оболочек параллелепипедов до создания необходимого избыточного давления для образования

единой механической системы алмазно-абразивные бруски 5 – контейнеры 6 с закачанным сжатым воздухом – шатун 4, с обеспечением регулирования жесткости устройства за счет дополнительного закачивания воздуха в замкнутые эластичные оболочки контейнеров 6 или сбрасывания его из оболочек.

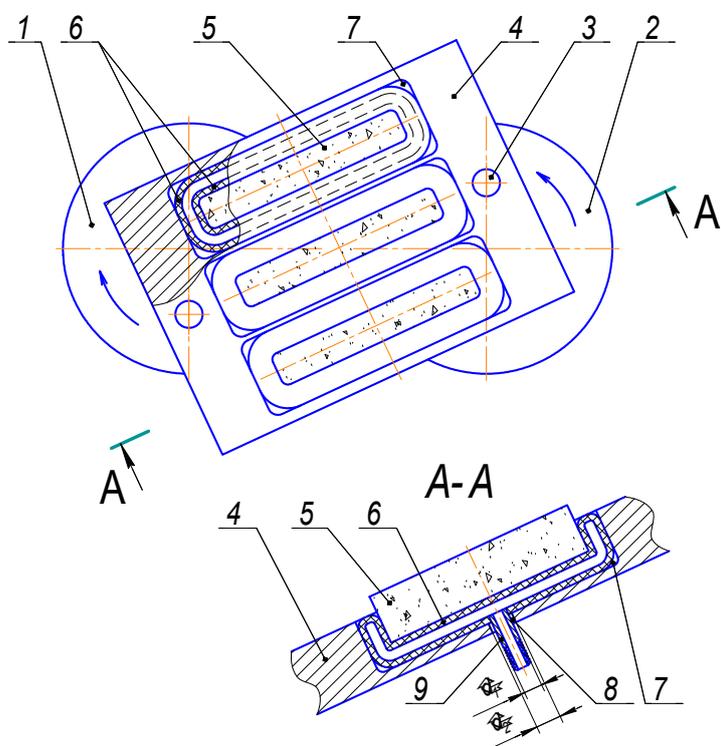


Рисунок. Устройство с регулируемой жесткостью для отделочной обработки изделий

Материалами замкнутых эластичных оболочек контейнеров 6 в виде прямоугольных параллелепипедов с сообщающимися полыми боковыми стенками и днищами могут быть, например, резины или тканевые каркасы с двусторонними резиновыми обкладками, подвергнутыми вулканизации. Так как внутренние размеры оболочек параллелепипедов равны длине и ширине алмазно-абразивных брусков 5, а эластичный материал оболочек растяжим, то размещение алмазно-абразивных брусков 5 в контейнерах 6 происходит быстро и не является трудоемким, при этом контейнеры 6 плотно охватывают находящиеся в них нижние части алмазно-абразивных брусков 5, а свободные верхние части которых выступают над контейнерами 6.

Размеры пазов 7, выполненных в шатуне 4 по форме контейнеров 6, выбирают таким образом, чтобы в пазах 7 свободно с малыми зазорами были установлены контейнеры 6 с выступающими над ними алмазно-абразивными брусками 5, при этом глубина пазов 7 должна обеспечивать возможность контакта алмазно-абразивных брусков 5 с обрабатываемыми поверхностями изделий. Штуцеры 9 пропускают соосно со сквозными отверстиями 8 в основаниях пазов 7, диаметры d_1 штуцеров 9 меньше диаметров d_2 отверстий ($d_1 < d_2$).

Через штуцеры 9 в сообщающиеся полости днищ и боковых стенок замкнутых эластичных оболочек параллелепипедов закачивают сжатый воздух

до заполнения контейнерами 6 зазоров между пазами 7 шатуна 4 и создают необходимое избыточное давление для образования единой механической системы алмазно-абразивные бруски 5 – контейнеры 6 с закачанным сжатым воздухом – шатун 4. Минимальным давлением P_{\min} в контейнерах 6, обуславливающим работоспособность устройства, является давление, исключающее возможность вырыва алмазно-абразивных брусков 5 из контейнеров 6 и контейнеров 6 из пазов 7 шатуна 4, а также взаимные перемещения (проскальзывание) поверхностей контакта указанных составных частей устройства при любых параметрах режима обработки конструкционных материалов, кроме того, за счет созданного избыточного давления в контейнерах 6 происходит самоцентрирование алмазно-абразивных брусков 5, и они устанавливаются на одинаковых расстояниях от оснований и боковых стенок пазов 7 шатуна 4 и не требуется дополнительное фиксирование контейнеров 6 в пазах 7.

На торцевых поверхностях дисков 1 и 2 вниз и вверх от соответствующих центров дисков или левее и правее этих центров на одинаковых расстояниях жестко закреплены пальцы 3. Например, один из пальцев 3 установлен слева от центра диска 1, а второй - на таком же расстоянии соответственно справа от центра диска 2, причем центры дисков 1, 2 и пальцев 3 располагаются на одной прямой. Концы шатуна 4 с установленными в его пазах 7 контейнерами 6 с закачанным в них воздухом и алмазно-абразивными брусками 5, выступающими над шатуном 4, при помощи пальцев 3 шарнирно связывают с дисками 1 и 2 с образованием двух кинематических пар вращения. Производят тарировку жесткость – давление образованной механической системы. Давление внутри замкнутых эластичных оболочек контейнеров 6 контролируют манометром (не показан).

Устройство с регулируемой жесткостью для отделочной обработки изделий функционирует следующим образом.

По произведенной тарировке жесткость-давление в зависимости от обрабатываемого материала регулируют жесткость устройства за счет дополнительного закачивания через штуцер 9 воздуха в замкнутую эластичную оболочку контейнера 6 или сбрасывания его из оболочки.

Дискам 1 и 2 сообщают вращение в противоположные стороны, например, диску 1 - по часовой, диску 2 - против часовой стрелки, при этом шатун 4 с алмазно-абразивными брусками 5 совершает сложное плоское (плоскопараллельное) движение в плоскости, параллельной торцевым поверхностям дисков 1 и 2. Кроме того, при контактировании с обрабатываемым материалом сами алмазно-абразивные бруски 5, размещенные в контейнерах с закачанным в них сжатым воздухом, могут совершать сложные плоские движения еще в двух перпендикулярных к торцевым поверхностям дисков 1 и 2 плоскостях. Таким образом алмазно-абразивные зерна брусков 5 осуществляют сложное движение, являющееся результатом суммирования их плоских движений в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. При этом алмазно-абразивные зерна, как бы, находятся в двух связках одновременно: зерна, расположенные в брусках 5 – металлическая связка, а сами алмазно-абразивные бруски 5, размещенные в контейнерах 6 с закачанным в них сжатым воздухом – имитация поведения зе-

рен в органической связке, это улучшает эксплуатационные качества отделочной обработки изделий.

Так как алмазно-абразивные бруски 5 в результате самоцентрирования за счет созданного избыточного давления в контейнерах 6 установлены на одинаковых расстояниях от оснований и стенок пазов 8 шатуна 4, а диаметры d_1 штуцеров 9 меньше диаметров d_2 сквозных отверстий 8 в основаниях пазов 7, то не происходит взаимодействие алмазно-абразивных брусков 5 и штуцеров 9 с шатуном 4 за все время шлифования изделий.

В случаях возникновения два раза за один оборот дисков 1 и 2 простейших мгновенно поступательных движений шатуна 4 (когда скорости пальцев 3 шатуна 4 равны по модулям и совпадают по направлениям, то восстановленные к скоростям в точках их приложения перпендикуляры параллельны, мгновенный центр скоростей шатуна 4 находится в бесконечности) алмазно-абразивные зерна брусков 5 продолжают совершать сложные движения в двух плоскостях, перпендикулярных торцевым поверхностям дисков 1 и 2, при этом постоянно поддерживается условие самозатачивания зерен брусков 5, уменьшается их засаливание и повышается производительность обработки.

При встрече на своем пути твердого зерна обрабатываемого материала алмазно-абразивное зерно бруска 5 обходит возникшее препятствие, смещаясь в сторону, и образует скол части зерна обрабатываемого материала, после чего принимает прежнее положение. Этим продлевается срок эксплуатации алмазно-абразивных брусков 5, увеличивается съём материала с обрабатываемой поверхности и повышается производительность обработки.

Устройство позволяет обрабатывать плоские, цилиндрические и фасонные поверхности, например, конические, фаски, галтели, так как движения алмазно-абразивных брусков 5, размещенных в контейнерах 6 с закачанным в них воздухом, копируют углы наклона обрабатываемых сложных поверхностей.

Бесступенчатое дистанционное регулирование жесткости устройства за счет изменения давления сжатого воздуха в замкнутых эластичных оболочках контейнеров 6 можно осуществлять и непосредственно в процессе механической обработки материалов, это создает возможность смещения собственных частот колебаний устройства и возмущающей силы резания в широких диапазонах, позволяет избежать нежелательного явления резонанса. Размещение алмазно-абразивных брусков 5 в контейнерах 6, заполненных сжатым воздухом, дает возможность демпфировать возникающие при механической обработке незатухающие колебания и повысить качество и точность обрабатываемых поверхностей. Все приведенные факторы позволяют улучшить эксплуатационные характеристики процесса отделочной обработки с осуществлением прерывистого шлифования, так как обработка ведется тремя брусками.

Подачу сжатого воздуха в замкнутые эластичные оболочки контейнеров 6 до создания необходимого давления возможно осуществлять или одновременно, например, через «гребенку» - конструкцию с замкнутым герметичным объемом, имеющим с одной стороны выходы, соединяемые с штуцерами 9, а с другой стороны снабженным выводом, подключенным к воздухопроводу от средства подачи сжатого воздуха, или поочередно в любой из контейнеров 6. Регу-

лирование подачи сжатого воздуха через штуцеры 9 в полости контейнеров 6 производится, например, при помощи трехпозиционного крана, установленного на воздуховоде от средства подачи сжатого воздуха, например, компрессора. Первая позиция крана связывает средство подачи сжатого воздуха с замкнутыми эластичными оболочками контейнеров 6. Второе положение крана перекрывает подачу воздуха в полые боковые поверхности и днища контейнеров 6. Третья позиция – связывает контейнеры 6 с атмосферой (воздуховод, трехпозиционный кран и «гребенка» не показаны). Возможно регулирование подачи сжатого воздуха при помощи клапанов, золотниковых или других устройств.

При износе алмазно-абразивных брусков 5 и невозможности их дальнейшей эксплуатации сбрасывают давление в замкнутых эластичных оболочках контейнеров 6 до величины атмосферного, после чего существовавшая механическая система алмазно-абразивные бруски 5 – контейнеры 6 с закачанным сжатым воздухом – шатун 4 распадается на отдельные составляющие части без трудозатрат. Заменяют изношенные бруски 5, контейнеры 6 с размещенными в них новыми алмазно-абразивными брусками 5 устанавливают в пазах 7 шатуна 4, через штуцеры 9 подают сжатый воздух в замкнутые эластичные оболочки контейнеров 6 до создания требуемой жесткости устройства и продолжают отделочную обработку поверхностей изделий [7].

Таким образом, предложенные конструкции позволяют осуществить высокоэффективное прерывистое шлифование, при этом улучшить эксплуатационные характеристики и повысить производительность обработки. Оригинальность и новизна разработок позволили получить два патента РФ и подать заявку на предполагаемое изобретение.

Список литературы: 1. Разработка и исследование инструмента и процесса плоского торцового шлифования дискретными абразивными сегментами / П.С. Швагирев // Автореф. диссерт. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». – Владимир, 2011. – 18 с. 2. Повышение эффективности планетарного шлифования за счет применения устройства для абразивной обработки плоских поверхностей / Д.С. Люпа // Автореф. диссерт. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.03.01 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». – Ижевск, 2006 – 22 с. 3. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И., (РФ), Новиков Ф.В.(Украина). Патент на изобретение №2449876, МПК В24В 35/00. Устройство для отделочной обработки изделий (2006.01); опубл. 10.05.2012. Бюл. №13. 4. Технология отделочной обработки изделий / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Ф.В. Новиков [и др.] // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. –Выпуск 101. – С. 203-207. 5. Конструкция устройства для отделочной обработки изделий алмазно-абразивными брусками / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Ф.В. Новиков // Физические и компьютерные технологии: Тр. 16-й Междунар. научно-техн. конф., 15-16 сентября 2010г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2010. – С.85-89. 6. Пат. 2449876 Рос. Федерация: МПК В 24В35/00. Устройство для отделочной обработки изделий / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Новиков Ф.В. [и др.] №2010135621/02; заявл. 25.08.2010; опубл. 10.05.2012, бюл. №13. – 8 с. 7. Расширение технологических возможностей отделочной обработки абразивными брусками / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Новиков Ф.В. [и др.] // Машиностроение – основа технологического развития России ТМ 2013: сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф., 22-24 мая 2013г. / редкол.: Е.И. Яцун [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2013. – С. 403-410.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КРУГЛОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ СЪЕМЕ БОЛЬШИХ ПРИПУСКОВ

Андилахай В.А., канд. техн. наук

(ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

An analysis of the different kinematics cylindrical grinding in terms of improving the accuracy and processing performance when removing large allowances

При съеме больших припусков (3–7 мм) на операциях шлифования деталей из труднообрабатываемых материалов (например, износостойких наплавов) по-прежнему остается актуальной задача выбора оптимального варианта обработки, обеспечивающего заданную точность обрабатываемой поверхности и наибольшую производительность обработки [1–3]. В работе [4] приведены теоретические решения данной задачи применительно к круглому наружному (внутреннему) и плоскому шлифованию. Установлено, что добиться наибольшей производительности обработки для заданной точности размера обрабатываемой поверхности можно путем применения шлифования по схеме выхаживания, т.е. шлифования без поперечной подачи, создавая в технологической системе начальный натяг y_0 , равный величине снимаемого припуска. При этом величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, определяется аналитической зависимостью

$$y = y_0 \cdot e^{-\frac{n}{B_1}}, \quad (1)$$

где n – количество проходов круга; $B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ – безразмерный параметр;

σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_y, P_z – радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, Н; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; H – ширина шлифования (продольная подача), м; $V_{дет}, V_{кр}$ – скорости детали и круга, м/с.

Как видно, величина y зависит от соотношения n / B_1 . Одно и то же значение y можно достичь в широком диапазоне изменения n , изменяя при этом параметр B_1 таким образом, чтобы оставалось неизменным соотношение n / B_1 . Из этого вытекает, что производительность обработки не зависит от количества проходов n и соответственно скорости детали $V_{дет}$, т.е. можно с одинаковой производительностью и точностью обработки съём припуска произвести как за один, так и за большое количество проходов, реализуя схемы глубинного и многопроходного шлифования.

Теоретически установлено также, что характер изменения величины y при съеме припуска за один проход одинаков как для схемы выхаживания (с за-

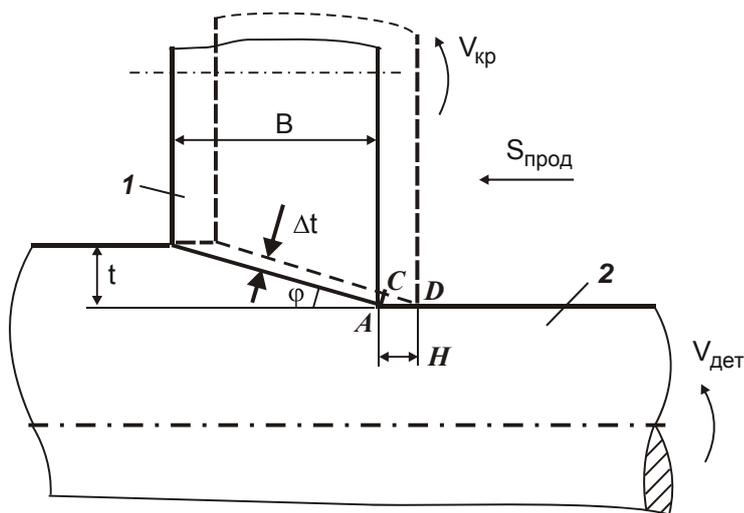


Рис. 1. Расчетная схема параметров круглого наружного глубинного продольного шлифования: 1 – круг; 2 – обрабатываемая деталь

данным начальным натягом в технологической системе), так и для жесткой схемы шлифования (глубинного шлифования с фиксированной глубиной резания). Однако в первом случае (т.е. при шлифовании по схеме выхаживания), необходимо создавать значительный натяг (равный величине снимаемого припуска), что не всегда технически выполнимо, тогда как во втором случае можно всегда установить глубину шлифования равной величине снимаемого припуска и реализовать схему глубинного

шлифования, обеспечивая таким образом наибольшую производительность для заданной точности обработки (обусловленной величиной упругого перемещения y , возникающего в технологической системе. На основании сказанного можно заключить, что с точки зрения формирования величины y схемы выхаживания (с начальным натягом, равным величине снимаемого припуска) и глубинного (однопроходного) шлифования равносильны. В этом случае отпадает необходимость создания в технологической системе большого натяга для реализации наибольшей производительности обработки, достаточно применить глубинное (однопроходное) шлифование по жесткой схеме с глубиной резания, равной величине снимаемого припуска. Исходя из этого, глубинное шлифование следует рассматривать как метод высокопроизводительной финишной обработки, позволяющий достичь высокие показатели точности и производительности обработки, совместить предварительную и окончательную обработку в одну операцию, исключая применение лезвийных инструментов и обеспечивая более высокую производительность по сравнению с лезвийной обработкой. Этим можно объяснить широкое применение глубинного шлифования в развитых европейских странах и США.

Из зависимости (1) вытекает, что добиться одного значения y можно разными сочетаниями параметров режима шлифования – H (продольной подачи) и скорости детали $V_{дет}$, обеспечивая постоянным (заданным) их произведение $H \cdot V_{дет}$. Так, увеличивая параметр H до значения высоты круга B и соответствующим образом уменьшая $V_{дет}$, приходим к схеме глубинного продольного шлифования с относительно небольшой скоростью детали $V_{дет}$ и продольной подачей (наоборот детали при круглом наружном шлифовании), близкой к высоте круга. Устанавливая параметр H относительно небольшим (значительно

меньше высоты круга B) и соответственно увеличивая $V_{дет}$ – приходим к схеме глубинного продольного шлифования, характеризующейся такими же значениями продольной подачи $S_{прод}$ и скорости детали, как и при обычном многопроходном шлифовании. В этом случае на круге будет образовываться заборный конус с углом φ (рис. 1). Исходя из приведенного рисунка, от схемы глубинного шлифования можно перейти к схеме многопроходного шлифования, рассматривая глубину шлифования Δt – равной $t \cdot S_{\partial}$, которая меньше глубины шлифования при глубинном продольном шлифовании в $1/S_{\partial}$ раз (где $S_{\partial} = H / B < 1$ – долевая продольная подача; B – высота круга, м).



Рис. 2. Структурная схема условий повышения производительности обработки при обеспечении заданной точности обрабатываемой поверхности при круглом наружном шлифовании

В итоге приходим к схеме круглого наружного врезного многопроходного шлифования всей шириной круга. По производительности данные схемы глу-

бинного и многопроходного шлифования будут равнозначны, так как во сколько раз увеличивается параметр H , во столько же раз уменьшается скорость детали, обеспечивая постоянство произведения $H \cdot V_{дет}$. Следовательно, обе схемы с одинаковой эффективностью можно использовать на практике на операциях круглого наружного шлифования.

Теоретически установлено также, что производительность обработки существенно уменьшается при съеме припуска за несколько проходов (по сравнению с обработкой за один проход). Следовательно, при съеме относительно больших припусков (в несколько миллиметров) можно глубинное шлифование осуществлять с глубиной шлифования, меньшей величины снимаемого припуска. В обобщенном виде условия повышения производительности обработки при одновременном обеспечении заданной точности обрабатываемой поверхности при круглом наружном шлифовании показаны на рис. 2. Таким образом в работе теоретически обоснованы условия повышения точности и производительности обработки на операциях круглого наружного шлифования при съеме относительно больших припусков. Доказана эффективность применения схем глубинного продольного и врезного многопроходного (уступами) шлифования.

Список литературы: 1. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий – К.: Общество “Знание” УССР, 1987. – 23 с. 2. Лурье Г.Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования / Г.Б. Лурье – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1984. – 103 с. 3. Корчак С.Н. Прогрессивная технология и автоматизация круглого шлифования / С.Н. Корчак – М.: Машиностроение, 1968. – 108 с. 4. 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. – 2010. – Вип. 101. – С. 28-39.

УДК 621.9.06

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

Лищенко Н.В., канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

Ларшин В.П., докт. техн. наук, **Макаров С.Н.**, канд. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

The necessity of adaptive management to improve the accuracy and quality of processing on CNC machines. The technique to establish the quantitative relationship between the force parameter and the specific work at the cutting edge cutting and abrasive machining

Эффективные технологические процессы характеризуются высокой производительностью обработки (целевая функция для оптимизации) при выполнении требований по качеству поверхности, поверхностного слоя и точности размеров обрабатываемых заготовок. Поэтому задача поиска эффективных техно-

логических процессов является задачей технологической оптимизации. Задача обеспечения указанных выше требований решается на двух этапах жизненного цикла изделия: этапе технологической подготовки производства и этапе собственно производства [1]. Наиболее сложно оптимизировать процесс на этапе его выполнения с учетом индивидуальных особенностей элементов технологической системы и возникающей при обработке ситуации. Задача ситуационного управления может быть успешно решена при наличии достоверной информации о фактических параметрах процесса и конечных показателей обработки. Это можно обеспечить двумя путями: контролем процесса и контролем результата. Контроль результата (фактические значения показателей обработки) часто невозможен или трудоемкий. Поэтому выходом из создавшегося положения может быть эффективный контроль процесса, в том числе по промежуточным параметрам, предопределяющим указанные выше требования чертежа. Эффективным методом решения этой задачи в условиях автоматизации производства является встроенная диагностика состояния технологической системы (ТС) и адаптивное управление процессом обработки.

Идея адаптивного управления, высказанная в 70-х годах прошлого века проф. Балакшиным Б.С., заключается в обеспечении требуемой точности замыкающего звена - получаемого размера детали. В свою очередь этот размер зависит от размеров установки, статической (без рабочих нагрузок на режущие кромки инструмента) и динамической (добавочное перемещение режущих кромок относительно баз станка или приспособления) настройки [2]. На станках с ЧПУ, т.е. при минимальном участии рабочего в автоматизированном процессе, требуемая точность деталей должна получаться автоматически. Отсюда вытекает важность и необходимость адаптивного управления именно на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах. Стабилизация размера установки на этих станках обеспечивается обработкой с наименьшим числом установок, в лучшем случае с одной установки, причём номинал размера установки обычно принимается равным нулю [2].

Следует отметить, что точность обработки на станках, настроенных на размер, как правило, обеспечивается за счёт квалифицированной наладки этих станков, позволяющей учитывать отклонение размера динамической настройки за счёт трудоёмкой предварительной проверки, которую осуществляет наладчик. Наладчик добивается приемлемого результата на самом нагруженном (по силе резания) участке обрабатываемой заготовки: он вносит коррекцию в размер динамической настройки на этом нагруженном участке. Следовательно, все другие участки обработки заготовки будут недогружены. Это, по мнению проф. Балакшина Б.С., приводит к отклонению размера динамической настройки и к низкой производительности обработки. Причём, при стабилизации размера динамической настройки уменьшение и увеличение величины припуска на обработку сопровождается увеличением и уменьшением подачи, соответственно. Кроме того, автоматическое управление упругими перемещениями, например, путём изменения подачи, благодаря равномерной и более постоянной нагрузке на режущий инструмент повышает его размерную стойкость. Таким образом,

кроме достижения требуемой точности обработки при наличии адаптивного управления обработка ведётся с наиболее высокой производительностью [2].

С учётом вышеизложенного можно заключить, что известный в технологии машиностроения метод автоматического получения размеров не гарантирует автоматического получения размеров без адаптивного управления упругими перемещениями и должен быть дополнен автоматическим регулированием размера динамической настройки. Таким образом, изменение во времени взаимодействующих между собой (через зону резания) элементов технологической системы обуславливает нестабильность технологического процесса и получаемого при обработке результата. Адаптивное управление предназначено для компенсации этого изменения.

На этапе технологической подготовки производства невозможно предсказать и оценить влияние индивидуальных особенностей элементов технологической системы на показатели качества обработки, а также оценить соответствие выбранных (на этапе технологической подготовки производства) режимов резания условию ее максимальной производительности. Это можно сделать путем контроля фактических показателей качества обработки и сравнением их с требованием чертежа. Или это можно сделать путем контроля промежуточных физических параметров (типа удельной работы резания), если известны связи этих параметров с указанными выше конечными результатами обработки.

Оценка влияния индивидуальных особенностей элементов технологической системы на процесс резания должна выполняться на этапе обработки, где эти особенности проявляются. Следовательно, должны быть соответствующие источники информации как конечных, так и промежуточных параметров и показателей. Эту информацию необходимо учитывать для оптимизации процесса обработки и желательно без применения ручного труда. Такая задача может быть возложена на систему ЧПУ станка, если в ее состав будут включены соответствующие средства (измерительные преобразователи исходной информации, автоматические регуляторы режимов резания и т.п.).

В 70-х годах прошлого века пытались решить задачу оптимизации процесса обработки с помощью адаптивных систем (работы профессоров Балакшина Б.С., Якимова А.В. и других ученых). Созданные ими системы автоматического регулирования были самостоятельным объектом и результатом работы и не всегда устанавливались на станках ЧПУ или станках с автоматическим циклом работы. Часто такие системы устанавливали на станки с ручным управлением. Опыт эксплуатации станков с адаптивными системами показал неоднозначные результаты. Часто такие станки не обеспечивали стабильности обработки по причине неудовлетворительного качества автоматического регулирования. Позднее выяснилось, что эти системы представляли собой обычные системы автоматического регулирования, которые могут удовлетворительно работать только в некотором ограниченном интервале режимов резания. Для того чтобы повысить надежность таких систем с точки зрения качества регулирования (расширить их технологические возможности) приходилось добавлять к ним дополнительные контуры управления, которые обеспечивали постоянство передаточной функции замкнутой системы регулирования. Промежуточным ша-

гом в решении этой задачи являлось использование специальных корректирующих звеньев, встроенных в замкнутый контур системы (в этом же контуре находится объект управления – процесс резания, передаточная функция которого не предсказуема, но может быть оценена в каждом конкретном случае с помощью второго контура управления) [3]. Оказалось, что такое «двойное управление» (управление подачей и управление передаточной функцией) характеризует адаптивную систему управления, в том виде как это рассматривается в теории автоматического управления.

Следующим шагом в совершенствовании адаптивных систем было использование гибких алгоритмов самонастройки и самообучения. Однако и этого было недостаточно для обеспечения их надежной работы. Недоставало главного – гарантированного обеспечения условий, в которых возможности адаптивного управления могут быть реализованы. Эти условия можно обеспечить с помощью применения ЧПУ и адаптивного управления на основе единого их математического обеспечения.

Современные системы ЧПУ в отличие от предшествующих аналогов выполнены на основе персональных компьютеров с открытой архитектурой. Это позволяет решать задачи автоматического регулирования путём программирования соответствующих алгоритмов («прописывать математику») в отличие от аппаратного метода реализации адаптивного управления. Это означает, что функции ЧПУ и адаптивного управления могут быть решены на основе составления как программы обработки на станке, так и коррекции этой программы с учетом индивидуальных особенностей элементов технологической системы. Появляется возможность прописывать (отдельными строками) адаптивное управление в тексте управляющей программы [4]. При этом ЧПУ может обеспечивать штатный режим работы адаптивной системы путем контроля передаточной функции процесса резания и ее корректировки в автоматическом режиме, используя соответствующие предварительно подготовленные библиотеки настроек. Следовательно, появляется реальная возможность повысить надежность адаптивной системы, которая в данном случае является подсистемой в системе ЧПУ станка.

В качестве параметра регулирования в адаптивных системах часто используют какой-либо силовой параметр резания (крутящий момент, мощность, силы резания). Этот параметр предопределяет некоторые физические показатели обработки, например, удельную работу резания. Установлена связь между измеряемым крутящим моментом на сверле и удельной работой сверления [5]. Например, крутящему моменту на сверле 0,459 Н·м (диаметр сверла 2,85 мм), при частоте вращения сверла 2000 об/мин, соответствует мощность резания 96,1 Вт. Тогда при осевой подаче сверла 0,025 мм/об, удельная работа сверления составляет 18,08 Дж /мм³ [5].

Выполненный анализ позволил получить математические выражения для удельной работы резания в зависимости от силового параметра резания, который используются в системах адаптивного управления металлорежущими станками. Это позволяет оптимизировать режимы обработки по величине удельной работы резания и поддерживать эту величину (или экстремум целевой функ-

ции) на требуемом уровне путем контроля силового параметра резания и автоматического регулирования соответствующих подач на станках с ЧПУ. Появляется реальная возможность поиска (непосредственно при обработке) и использования (для улучшения обрабатываемости материала) известных в металлофизике нелинейных эффектов, связанных с изменением (в зоне резания) кристаллической решетки обрабатываемого материала (эффекты Боушингера, сверхпластичности и другие).

Список литературы: 1. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении / Тр. Одес. политехн. ун-та. – 1999. – Вып.3(9). – С. 55-58. 2. Балакшин Б.С. Необходимость оборудования программных станков системами адаптивного управления / Б.С.Балакшин // Станки и инструмент. –1973. – № 3. – С. 4-6. 3. Управление процессом шлифования / А.В. Якимов, А.Н. Паршаков, В.И. Паршаков, В.И. Свирцев, В.П. Ларшин. – К.: Техніка. 1983. – 184 с. 4. Базров Б.М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с. 5. Лишенко Н.В. Силовые параметры резания в системах адаптивного управления станками / Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы науч.-техн. конф. – Киев: АТМ Украины, 2010. – С. 77-81.

УДК 621.95.01:678

МЕЖСЛОЙНОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Хавин Г.Л., канд. техн. наук

(Национальный технический университет “ХПИ”)

The problem of determining the size and depth of burial delamination crack for drilling of polymeric reinforced multilayer composites is considered. The model of local delamination, which used of linear fracture mechanic and empirical formulation of delamination factor, is presented. The correlation of connect maximal crack delamination depth appeared and hers length is obtained

Введение. Наиболее опасным дефектом при сверлении полимерных композитов считается расслаивание между соседними слоями армирования вдоль его направления. Основной причиной появления расслаивания является высокое значение действующей осевой силы, величина которой в основном определяется подачей. Кроме того существенную роль играет также неправильный выбор режущего инструмента и степень его изношенности. Для уменьшения расслаивания известно несколько приемов, например, снижение подачи и сверление в подкладную плиту. Межслойное расслаивание, возникающее при сверлении композитов, является главным дефектом, не только уменьшающим целостность композита и его изгибную прочность, но также во многом определяет усталостную прочность под действием циклической нагрузки. Поэтому задача создания математических моделей, позволяющих на стадии проектирования технологической операции сверления прогнозировать появление и рост величины межслойного разрушения, является актуальной и имеет практическую ценность.

Анализ литературных источников, состояние проблемы и моделирование механизма появления трещины расслаивания. Многочисленные экспериментальные наблюдения показали, что расслаивание появляется вокруг отверстия на входе и выходе инструмента из заготовки. Механизм этого явления подробно рассмотрен в литературе [1-3]. Расслаивание возникает при контактом нагружении материала заготовки осевой силой. В подавляющем большинстве исследований температурный фактор не учитывается.

Появление межслойных трещин на входе обусловлено контактным взаимодействием поперечной режущей кромки с поверхностью заготовки, вследствие чего тонкий слой начинает шелушиться, в результате отделяется от соседнего и образуется зона расслаивания вокруг входного отверстия. Во втором случае, в момент, когда сверло находится возле выхода из отверстия, число слоев композита, находящиеся перед сверлом, уменьшается, снижается их общая жесткость в структуре композита. В результате происходит расслаивание (отслаивание) последних слоев и разрушение последних волокон (жгутов) в материале.

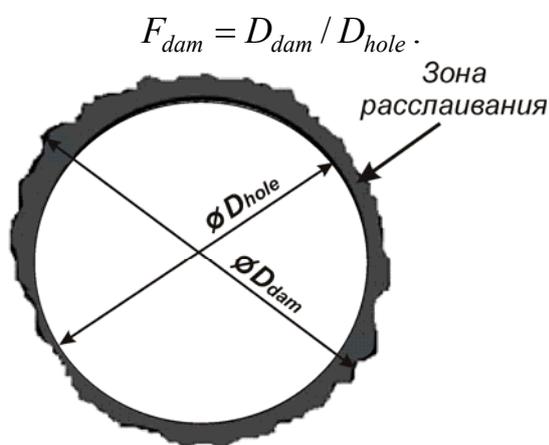


Рис. 1. Расслаивание при сверлении слоистого композита

термале.

Изучению качественных и количественных характеристик этого процесса посвящено достаточно много исследований [4-8]. Размер зоны растрескивания и ее амплитуда определяется условиями сверления и состоянием инструментом. При сверлении традиционным спиральным сверлом, величина зоны растрескивания растет с увеличением подачи, но уменьшается с ростом частоты вращения шпинделя. Однако влияние подачи часто намного сильнее, чем частоты вращения шпинделя.

стоты вращения шпинделя.

При обработке отверстий в работе [9] расслаивание предложено характеризовать одномерным критерием F_{dam} (фактор расслаивания), который определяется отношением максимального диаметра зоны разрушения – D_{dam} к номинальному диаметру отверстия – D_{hole} (рис.1).

Этот критерий получил наибольшее распространение, как наиболее простой для измерения и практического использования. В настоящее время имеется достаточно большое количество экспериментальных исследований по сверлению угле- и стеклопластиков различными типами инструментов, для которых получены эмпирические зависимости расчета фактора расслаивания [10-15].

Постановка задачи и цель работы. Целью настоящей работы является построение математической модели, позволяющей для заготовки из многослойного композита данной марки, выбранного типа инструмента и технологических параметров сверления спрогнозировать характер предполагаемой зоны разрушения и рассчитать ее величину.

Зона разрушения может служить одной из важнейших характеристик, определяющих прочность и долговечность крепления в отверстии. Поэтому предсказать величину зоны разрушения очень важно. В работах [2-3] для характеристики зоны разрушения используются достижения механики линейного разрушения, где принято, что по достижению упругой энергии высвобождения определенного, характерного для данного материала значения, происходит движение трещины. Проведенные эксперименты вполне ясно показали, что зона разрушения занимает достаточно малую область вокруг отверстия, а не всю заготовку, которая обрабатывается. В [6] были проведены экспериментальные замеры зоны расслоения как функции от различных параметров процесса: подачи, частоты вращения и радиуса сверла. Полученные результаты были обобщены методами регрессионного анализа в виде соотношения

$$F_{dam} = \frac{l_{dam}}{D_{hole}} = k \left(\frac{\pi \cdot f \cdot D_{hole}}{10^3 \cdot s} \right)^n \cdot \left(\frac{F_z}{E \cdot D_{hole}^2} \right)^m, \quad (1)$$

где l_{dam} – размер зоны расслоения, равная $l_{dam} = (l_{dam1} + l_{dam2})/2$, мм; D_{hole} – диаметр отверстия, м; s – величина подачи, мм/мин; f – частота вращения шпинделя, об/мин; F_z – осевая сила, Н; E – модуль упругости армирующих волокон, Па; n, m, k – постоянные.

Как было сказано выше, развитие расслоения происходит в два этапа. Это порождает образование главной и вторичной области трещинообразования, рис.2. Главная область с максимальным повреждением расположена в основном в направлении волокон. Вторичная область имеет небольшие размеры и образуется в режущей фазе, в которой контакт между направлением армирования и скоростью резания образует острый угол. Кроме того, здесь часто появляются волокна, которые не были срезаны на краю отверстия в главной и вторичной области повреждения. Этот дефект обработки собственно и есть разлохмачивание или распушивание. Растрескивание (расслоение) и распушивание обычно появляются совместно и их размеры имеют тенденцию к изменению. Чем большее расслоение (появление межслоевых и других трещин), тем больше распушивание и наоборот. Однако, когда расслоение достигает определенной величины, распушивание исчезает.

Теоретические положения. Как показывают экспериментальные наблюдения различных авторов, в силу отличия механических свойств материала вдоль и поперек волокон, трещина расслоения имеет форму близкую к эллиптической форме с полуосями – a и b , рис.2. Учитывая это, и основываясь на модели расслоение в два этапа, примем в качестве допущения, что длина большей полуоси эллипса расслоения равна $a = D_{hole}/2 + l_{dam}$, а длина меньшей полуоси $b = D_{hole}/2$.

Проведенный в [16] анализ на основе анизотропной теории упругости и линейной механики разрушения для эллиптической зоны расслоения, позволил определить осевую силу, при которой происходит старт межслойной трещины на расстоянии h_{dam} от нижнего края заготовки, следующим уравнением

$$F_z = \pi \sqrt{\frac{E_{22}}{E_{11}}} \left[\frac{G_{IC} \cdot K_a \cdot h_{dam}^3}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где G_{IC} – критическое значение энергии трещинообразования по I-му типу, Дж/м²; E_{11} , E_{22} – модули упругости в направлении армирования – 11 и ему перпендикулярном (трансверсальном направлении) – 22, Па; ν_{12} , ν_{21} – соответственно коэффициенты Пуассона; значение коэффициента K_a рассчитывается по формуле $K_a = 2E_{11} + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{E_{11}}{E_{22}}} [\nu_{12} \cdot E_{22} + 2 \cdot G_{12} (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})]$, где G_{12} – модуль сдвига.

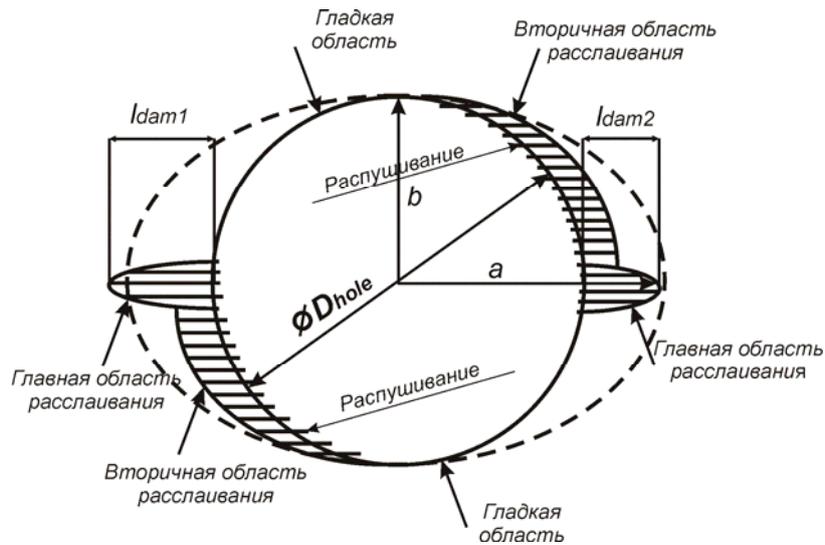


Рис. 2. Модель образования главной и вторичной области разрушения и межслойной эллиптической трещины расслоения

Заметим также, что из выражения (2) можно получить известное соотношение Но–Cheng и Dharan [17] для изотропного материала, приняв $E_{11} = E_{22} = E$, $\nu_{12} = \nu_{21} = \nu$, $G_{12} = E/2/(1 + \nu)$. Соотношение (1) можно представить в виде:

$$F_z = \left[\frac{l_{dam}}{k} \cdot \left(\frac{\pi \cdot f \cdot D_{hole}}{10^3 \cdot s} \right)^{-n} \cdot E_{11}^m \cdot D_{hole}^{2m-1} \right]^{1/m}. \quad (3)$$

Приравняем левую и правую часть (2) и (3) и разрешим относительно l_{dam}

$$l_{dam} = h_{dam}^{3m/2} \cdot k \cdot \left(\frac{\pi \cdot f \cdot D_{hole}}{10^3 \cdot s} \right)^n \cdot D_{hole}^{1-2m} \cdot E_{11}^{-m} \cdot \left[\frac{G_{IC} \cdot K_a \cdot \pi^2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \cdot \left(\frac{E_{22}}{E_{11}} \right) \right]^{m/2}. \quad (4)$$

Уравнение (4) при заданном отношении скорости резания к величине подачи связывает усредненное значение максимальной величины расслоения с толщиной материала заготовки от нижнего ее края, на котором это расслоение реализуется. Это соотношение позволяет оценить величину разрушения поверхностных слоев материала при заданных технологических параметрах обработки в зависимости от расстояния до нижней поверхности заготовки.

Результаты и обсуждения. В качестве примера использования предложенного подхода рассмотрим сверление отверстия диаметром 5,5 мм в заготовке из эпоксидного однонаправленного углепластика марки Т300 толщиной 2 мм с объемным содержанием волокон 60% и основными механическими характеристиками: плотность – 1600 кг/м³; продольный модуль упругости $E_{11} = 181$ ГПа; поперечный модуль упругости $E_{22} = 10,3$ ГПа; модуль сдвига $G_{12} = 7,17$ ГПа; коэффициент Пуассона $\nu_{12} = \nu_{21} = 0,28$; критическая энергия трещинообразования $G_{IC} = 250$ Дж/м². Значения постоянных коэффициентов приняты:

$$k = 1,3 \cdot 10^3; n = -0,35; m = 0,5.$$

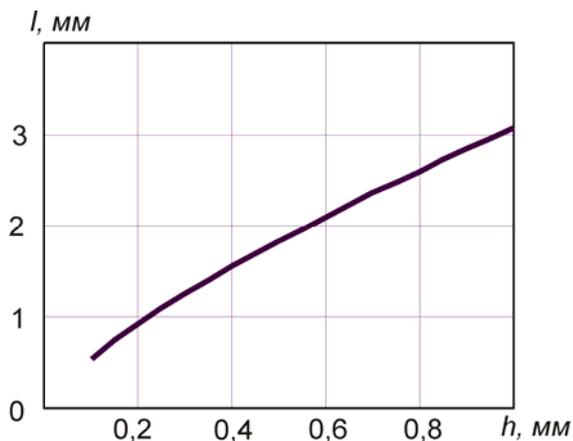


Рис. 3. Изменение длины трещины в зависимости от глубины ее появления

На рис. 3 приведена зависимость длины трещины l расслоения от глубины ее залегания от нижней поверхности заготовки h , вычисленная из соотношения (4) при значениях частоты вращения шпинделя $f = 3000$ об/мин и подаче $s = 20$ мм/мин.

Приведенный результат подтверждает тот факт, что главным фактором, определяющим качество выходного отверстия, является значение осевой силы. Чем больше осевая сила, тем больше глубина начала появления расслаивания h и

тем больше длина трещины l_{\max} (рис. 3). Можно видеть, что зависимость длины трещины расслоения от глубины ее образования для рассматриваемого диапазона изменения носит примерно линейный характер.

Выводы. Представлена модель, позволяющая прогнозировать величину трещины расслоения на выходе инструмента. Базируясь на экспериментальных данных, предложенная зависимость связывает физико-механические параметры материала композита с режимными параметрами обработки. В представленном соотношении не учитываются тип и марка инструмента, а также его геометрические параметры. Учет влияния этих факторов в новой модернизированной модели предсказания образования и величины дефектов обработки при сверлении полимерных композитов, является предметом дальнейших исследований.

Работа выполнена по проекту М2132Ф, финансируемого министерством образования и науки Украины.

Список литературы: 1. Vandervelde H. Drilling processes / Printed circuits handbook, Ed. C. F. Coombs, Jr., Ed. Mc. Graw Hill Companies, 2008. 2. Ilescu D. Approches expérimentale et numérique de l'usinage a sec des composites carbon/ epoxy / Thèse, Arts et Métiers Paris Tech, Paris, 2008. 3. Jain S. Delamination free drilling of composite laminates / S. Jain, D.C.H. Yang // Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry. –1994. – 116. – P. 475–481. 4. Durão P. M. L. Machining of hybrid composites / Thesis, Porto, 2005. 5. Ghidossi P. Contribution à l'étude de l'effet des conditions d'usinage d'éprouvettes en composites à matrice polymère sur leur réponse mécanique / Thèse, L'ENSAM, Châlons-En-Champagne, 2003. 6. Zhang H. Assessment of exit

defects in carbon fiber–reinforced plastic plates caused by drilling / H. Zhang, W. Chen, D. Chen, L. Zhang // *Key Engineering Materials*. – 2001. – 196. – P.43–52. **7.** Ho-Cheng H. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits / H. Ho-Cheng, C.C. Tsao // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2003. – 140. – P. 335–339. **8.** Tsao C. C. Thrust force and delamination of core-saw drill during drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) / C. C. Tsao // *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 2008. – 37. – P. 23 – 28. **9.** Chen W. C. Some experimental investigations in the drilling of carbon fibre-reinforced plastic (CFRP) composite laminates / W. C. Chen // *Int. J. Machine Tools & Manufacture*. –1997. – 37. – P. 1097 – 1110. **10.** Rubio J. C. . Effect of high speed in the drilling of the glass fibre reinforced plastic: Evaluation of the delamination factor / J. C. Rubio , A. M Abrao , P. E. Faria , A. E. Correia , J. P. Davim // *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 2008. – 48. – P. 715 – 720. **11.** Davim J. P. Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave – experimental and statistical study / J. P. Davim , P. Reis // *Mater. Des.*, 2003. – 24. – P. 315–324. **12.** Tsao C. C. Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material / C. C. Tsao , H. Hocheng // *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 2004. –44. – P. 1085 – 1090. **13.** Sardinas R. Q. Multi-objective optimization of cutting parameters for drilling laminate composite materials by using genetic algorithms / R. Q. Sardinas , P. Reis, J. P. Davim // *Compos. Sci. Technol.*, 2006. – 66. – P. 3083 – 3088. **14.** Gaitonde V.N. Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites / V.N. Gaitonde , S.R. Karnik , R.J. Campos , C.A. Esteves , A.M. Abrao , Davim P.J. // *J. Mater Process Technol.*, 2008. – 203. – P. 431 – 438. **15.** Khashaba U.A. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: part II – effect of drill wear / U. A. Khashaba , I. A. El-Sobaty , A. I. Selmy , A. A. Megahed // *Composites: Part A*, 2010. – 41. – P. 1130 – 1137. **16.** Tsao C.C. Prediction of the location of delamination in the drilling of composite laminates / C.C. Tsao, W.C. Chen // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1997. – 70. – P.185–189. **17.** Ho-Cheng H. Delamination during drilling in composites laminates/ H. Ho-Cheng, C.K.H. Drahan // *Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry*. – 1990. – 112. – P. 236 – 239.

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.771.63:621.981.3

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ЗАМКНУТЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ГОФРОВ ФОРМОВКОЙ В ВАЛКАХ

Тришевский О.И., докт. техн. наук, **Бондаренко С.Н.**

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко)

The article presents information on the new process developed by roll forming profiles with a lengthy closed-ribbed stiffness analysis of the main types of long flutes, as well as the peculiarities of their formation. Describes the sequence and interrelation in the forming stands in the manufacture of the most representative profile in the range - the shell roof of the bus. There are data suggesting it is part of the equipment for the production of profiles with a lengthy closed-boarded

В промышленности, в частности, в транспортном машиностроении в качестве обшивок пассажирских вагонов, электричек, вагонов метрополитена, рефрижераторов, автобусов, фургонов и др. широкое применение находят тонкостенные листовые профили с длинномерными (длиною более 6 м) продольными замкнутыми гофрами. В настоящее время их изготавливают малопродуктивным и дорогостоящим способом приварки к концам обычных гофрированных профилей со сквозными гофрами отштампованных на прессах участков выхода гофров в плоскость. В работе [1] приведены данные о разработанной и опробованной принципиально новой технологии производства профилей высокой жесткости с длинномерными гофрами методом валковой формовки в клетях профилегибочного стана. Согласно разработанной технологии формовка гофров производится последовательно: на первом переходе (рис.1а) для обеспечения четкого входа и выхода гофров в плоскость формуют прерывистые (периодически повторяющиеся) гофры, а на втором (рис.1б) осуществляют доформовку в продольном направлении плоских промежутков между ними на высоту готовых гофров. Причем, период и длина периодических гофров, формуемых на первом этапе, связаны с длиной будущих длинномерных гофров:

$$T = \frac{L - l_r}{n}, \quad (1)$$

где: T – период формуемых на первом этапе предварительных гофров длиной l_r ; L – длина получаемого на втором этапе формовки длинномерного гофра; n – количество формуемых на первом этапе периодов предварительных гофров (в случае необходимости формовки гофров сверхбольшой длины).

Положительные результаты, полученные при освоении экспериментального профиля, позволяют рекомендовать разработанный технологический процесс для реализации в промышленных условиях.

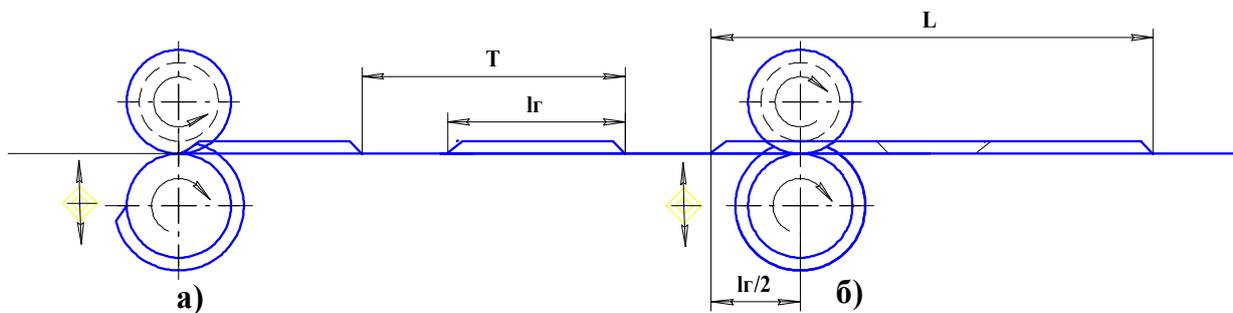


Рис. 1. Схема формовки длинномерных гофров в двух клетях профилегбочного стана

Гофры, формируемые на профилях высокой жесткости, могут иметь различную длину, конфигурацию, величину плоского участка по длине профиля между отдельными группами гофров. Наиболее сложным, характерным и представительным в сортаменте профилей высокой жесткости с длинномерными гофрами можно считать профиль центральной части панциря крыши автобуса (рис. 2а). Поэтому все рекомендации по проектированию промышленной технологии и составу оборудования приведены применительно к этому профилю.

По типу наносимых на профиль гофров их условно можно разделить на 4 вида. Первый вид – на профиле формируются открытые (сквозные) гофры (см. рис 2а, поз. I) длиной, равной длине готового профиля. Такие гофры формируются по обычной технологии профилирования в одной паре валков, если формобразование осуществляется за счет местной вытяжки металла (см. рис 2б – «клеть №1» на циклограмме) или в нескольких парах валков (если формобразование гофра осуществляется путем изгиба).

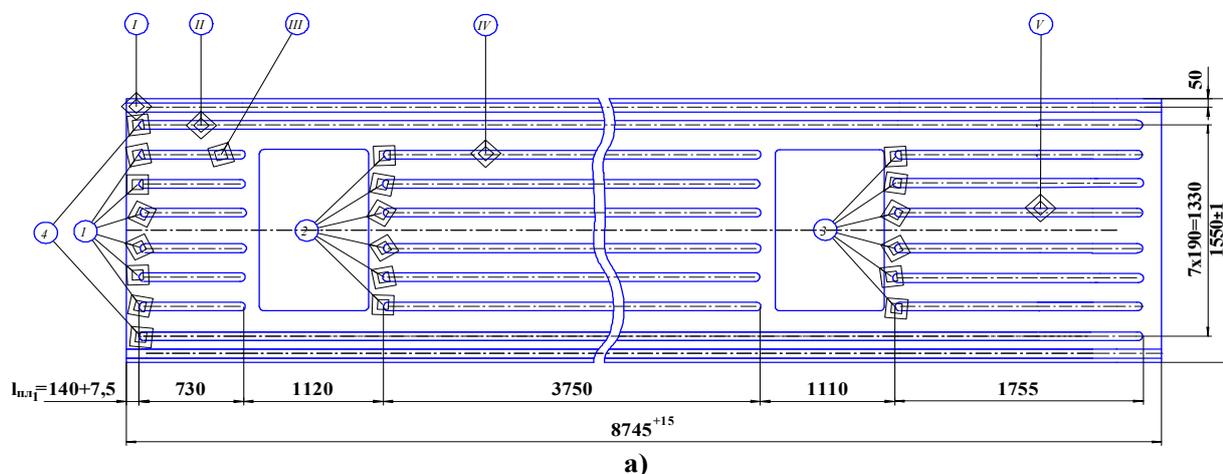
Гофры второго вида (см. рис. 2а, поз. III) представляют собой замкнутые (не выходящие на поперечные торцы профиля) продольные гофры с длиной периода (сумма длин собственно гофра и плоского промежутка на профиле до начала следующего гофра), уместяющейся на развертке основной окружности рабочих валков, осуществляющих их формовку. Технология изготовления подобных гофров известна [2] и реализована на специализированном агрегате 1-5х300-1650 Магнитогорского металлургического комбината. Гофры этого вида используются в технологии формовки длинномерных гофров как предварительные, технологические, обеспечивающие четкую отформовку начальных и конечных участков будущих длинномерных гофров.

Гофры третьего вида (см. рис. 2а, поз. V) имеют длину L кратную целому числу периодов предварительных гофров T плюс длина одного предварительного гофра l_r , т.е. удовлетворяет соотношению

$$L = Tn + l_r. \quad (2)$$

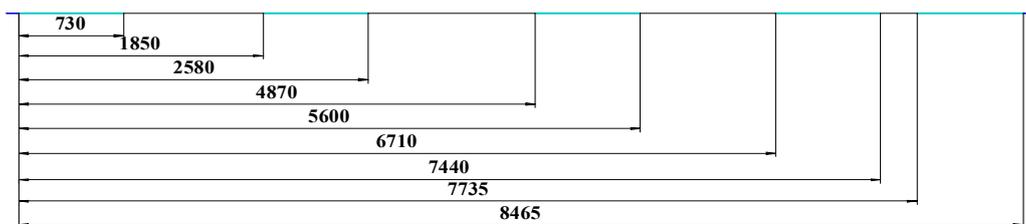
Формообразование таких гофров осуществляется за два перехода. На первом переходе в установленных в рабочее положение валках с прерывистыми формирующими элементами и длиной основной окружности, равной периоду формовки предварительных гофров T , формируется $n+1$ таких гофров, причем первый из них образует на нужном участке профиля четкий выход в плоскость начала будущего длинномерного гофра, а последний – четкий выход в плос-

кость его окончания. Затем нижний валок с выпуклыми прерывистыми формирующими элементами опускается в нерабочее положение для пропуска недеформируемых участков профиля и ввода в рабочее положение для осуществления следующего цикла формовки.



Клеть № 1

Клеть № 2



Клеть № 3



Клеть № 4



б)

Рис. 2. Профиль панциря крыши автобуса с длиномерными гофрами (а) и циклограмма последовательности работы клеток стана для формообразования отдельных групп гофров (б) (утолщенными линиями показаны участки формообразования гофров на различных стадиях процесса)

Доформовка гофров на требуемую длину осуществляется в следующей паре валков, отличие которых от предыдущих заключается в том, что у них нижний валок имеет кольцевые (а не периодически повторяющиеся) выпуклые формирующие элементы, имеющие в поперечном сечении конфигурацию гофров, отформованных на предыдущем переходе. Этот валок имеет возможность периодически подниматься в рабочее положение, оставаться там необходимое время, а затем вновь опускаться в нерабочее положение, оставаясь там до начала следующего цикла формовки. Причем, нижний валок входит в рабочее положение на середине уже отформованных в предыдущей клетке периодических гофров и остается в нем n оборотов, осуществляя доформовку плоских промежутков полосы между периодическими гофрами и образуя таким образом за-

мкнутый длинномерный гофр заданной длины. Наконец, гофры четвертого вида (см. рис. 2а, поз. II и IV) имеют длину, не удовлетворяющую соотношению $L = T_n + l_r$. Их формообразование происходит аналогично формовке гофров третьего вида, только в рабочем положении нижний валок первой клетки находится не n оборотов, а в заданной последовательности поднимается и опускается для формообразования начала и окончания будущего длинномерного гофра, обеспечивая четкие участки выхода гофров в плоскость. На втором переходе формообразование длинномерного гофра осуществляется также как и для гофров третьего вида. Таким образом, в соответствии с разработанной технологией и циклограммой формовки гофров различных видов на профиле, клетки профилирующего стана, обеспечивающие формообразование длинномерных гофров, должны быть оборудованы механизмом ускоренного сведения и разведения валков. Клетки же, содержащие валки для формовки прерывистых (периодически повторяющихся) гофров, должны иметь еще и механизм ускоренного углового поворота в разведенном состоянии на заданный угол, чтобы начало формовки следующей группы гофров после поднятия нижнего валка в рабочее положение обеспечивало четкое формообразование участка выхода длинномерного замкнутого гофра в плоскость.

Формовка экспериментальных профилей [1] показала, что наилучшие результаты по качеству профилей получаются при предварительном нанесении на их боковые участки сквозных технологических гофров радиусом $R=3\text{мм}$. Этот прием помимо устранения дефектов по плоскостности улучшает центрирование заготовки вдоль оси формовки. В отличие от остальных клеток стана, участвующих в формообразовании длинномерных гофров, клетка №1, в которой производится формообразование технологических сквозных гофров работает с постоянно сведенными валками, что способствует стабилизации размеров профиля по длине. В соответствии с чертежом профиля центральной части панциря крыши автобуса (рис. 2а) группа гофров 1, расположенная на расстоянии $l_{\text{пл1}}=140+7,5\text{ мм}$ от торцевой кромки профиля, имеет длину $l_{r1}=730\text{ мм}$. Примем, что расчетный период, исходя из которого, определяется диаметр основной окружности формующих валков, равен: $T_p=2 l_{\text{пл1}} + l_{r1}=1025\text{ мм}$. Длина длинномерных гофров группы 3 составляет $l_{r3}=1755\text{ мм}$, т.е. кратна длине одного расчетного периода плюс длина одного предварительного гофра l_r и удовлетворяет соотношению (2). Исходя из этого значение основного диаметра формующих валков второй клетки составит $D_{\phi}=326,4\text{ мм}$.

Клетка №2 работает в следующей последовательности. Группа гофров 1 длиной $l_{r1}=730\text{ мм}$ отформовывается сведенными в рабочее положение валками без подъема и опускания нижнего валка. Одновременно формуются два гофра такой же длины, являющиеся участком начала длинномерных гофров группы 4. После окончания формовки одного периода нижний валок выходит из рабочего положения для пропуска плоского участка длиной 1120 мм , на котором на последующих этапах обработки (вне предлагаемой линии) предусмотрена вырубка прямоугольных отверстий под люки. После пропуска этого участка нижний валок поднимается в рабочее положение и осуществляется формовка участка

начала гофров группы 2 длиной в соответствии с расчетным периодом валков, равную – $l_{r1}=730$ мм. Затем нижний валок опускается и после пропуска участка длиной 2290 (3750-2x730) мм снова сводится в рабочее положение и осуществляется доформовка концов гофров группы 2 длиной также 730 мм. После аналогичного пропуска участка под второй люк длиной 1110 мм валки снова сводятся, и осуществляется формовка начала и конца гофров группы 3 без промежуточного опускания и подъема нижнего валка, а также двух гофров, являющихся участками выхода в плоскость для длинномерных гофров группы 4.

Учитывая, что длина плоского участка переднего и заднего концов профиля одинакова и составляет $l_{пл1}=140$ мм, в таком же сведенном положении осуществляется формовка группы гофров 1 следующего профиля. Дальнейшая его формовка осуществляется по ранее приведенной схеме.

Минимальный плоский промежуток между гофрами групп 2 и 3 составляет 1110 мм. При любой скорости валковой формовки минимальное время t , необходимое для опускания нижнего валка, поворота его (вне зоны формовки) в необходимое угловое положение для начала следующего цикла формообразования гофров и последующего подъема вновь в рабочее положение определяется зависимостью:

$$t = \frac{S}{V}, \quad (3)$$

где: S – минимальный плоский промежуток между соседними группами гофров; V – скорость формовки.

В третьей клети производится доформовка средних участков гофров группы 4, причем, валок с кольцевыми формующими элементами, выполненными по конфигурации отформованных во второй клети гофров длиной $l_{r1}=730$ мм, должен войти в контакт с заготовкой по середине отформованного переднего конца гофров 2 и выйти из контакта по середине отформованного заднего конца этих гофров, т.е., во избежание недоформовки гофров, работать с перекрытием 365 мм. В четвертой клети производится доформовка средних участков гофров групп 2 и 3 длиной 3750 и 1755 мм. Доформовка производится также с перекрытием ранее отформованных передних и задних концов гофров на величину 365 мм.

Выполненные исследования позволяют сделать рекомендации по составу оборудования и технологии для формовки листовых профилей с длинномерными замкнутыми гофрами. В случае изготовления профилей на отдельностоящей специализированной линии в ее состав должны входить разматыватель с отгибателем конца рулонов, листопрямильная машина, гильотинные ножницы, тянущие ролики, формовочный стан с количеством клетей необходимых для формовки гофров различного вида (в зависимости от сортамента), профилеправильная машина, летучие ножницы. Технологический процесс производства профилей с длинномерными гофрами всех упомянутых ранее возможных видов должен начинаться с подачи мостовым краном рулона на разматыватель. Полоса на разматывателе с отгибателем конца рулонов должна центрироваться и направляться в тянущие ролики листопрямильной машины – для устранения

волнистости и изгибов исходной заготовки. При задаче переднего конца заготовки в формующие валки и при выходе из калибров валков верхние вводные и выводные проводки должны быть приподняты на 20–30 мм над уровнем формовки, а в рабочем состоянии зазор между плоскими участками между гофрами на выводных проводках – на 3–4 мм превышать толщину формируемой полосы.

Формообразование длинномерных гофров в клетях стана должно осуществляться гофрами вверх. Каждая из двухвалковых формовочных клеток должна иметь неподвижно установленные верхние валки и имеющие возможность вертикального перемещения нижние валки с прерывистыми формующими элементами, осуществляющими формирование гофров. Для предотвращения горизонтального смещения формируемой полосы между клетями должно быть предусмотрено устройство для центрирования полосы по оси стана с точностью ± 1 мм. На уровень формовки неподвижно выставляется верхний валок каждой клетки, подшипниковые подушки нижних валков должны иметь механизмы ускоренного перемещения вверх-вниз, а также оборудованы устройствами для плавной осевой и радиальной регулировки. После выхода из четвертой формирующей клетки стана профиль попадает в правильную машину, после правки, в которой подается на летучие ножницы для порезки на мерные длины. Точность порезки должна составлять ± 10 – 15 мм при длине профилей 8 – 10 м. Контроль качества профилей в технологическом потоке должен производиться выборочным порядком на инспекционном стеллаже.

Список литературы: 1. Тришевский О.И. Новая технология получения длинномерных замкнутых продольных гофров формовкой в валках / О.И. Тришевский // Кузнечно-штамповочное производство, 2007. – №8 – С. 21-25. 2. Тришевский О.И. Производство листовых и гнутых профилей высокой жесткости / О.И. Тришевский // Черная металлургия. Бюллетень НТИ, 1978. – №19(831). – С. 3-11.

УДК 538.211 + 621.318 + 53.083.2 + 621.039.531

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Спольник А.И., докт. физ.-мат. наук, **Волчок И.В.**, канд. физ.-мат. наук,
Калиберда Л.М. (Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. П. Василенко)

The possibility of using magnetic resonance imaging to research the gas porosity in nickel irradiated with helium ions are analyzed. Shown that the data on the width of the resonance lines can be determined by the pressure of gas in pores and to evaluate the surface energy of metallic ferromagnets

Определение поверхностной энергии металлов и сплавов представляет интерес не только для физики поверхности, но и для радиационной физики. Радиационная стойкость металлов и сплавов во многом зависит от кинетики обра-

зования газонаполненных пор под действием облучения [1, 2]. Большую роль в этом процессе играет величина поверхностной энергии материала, определяя не только размеры пор, но и давление газа в них. Избыточное давление в газонаполненных порах создает в материале неоднородные упругие напряжения и, следовательно, влияет на его прочностные свойства.

В настоящей работе рассматривается возможность определять поверхностную энергию ферромагнитных металлов при комнатной температуре по данным о ширине линии ферромагнитного резонанса (ФМР) в образцах, содержащих наполненные гелием поры. Важным является и то обстоятельство, что поры содержат только инертный газ и, следовательно, их поверхность свободна от хемосорбированных слоев. Кроме того, определение поверхностной энергии по данным ФМР предполагает оценку давления гелия в порах. Это представляет интерес для физики радиационной стойкости металлов и сплавов, так как размеры пор и давление газа в них влияют на радиационное распухание реакторных материалов [3].

Ожидаемое влияние таких пузырьков на ширину линии ФМР определяют два фактора. Первый связан с образованием полостей внутри однородного магнетика. При определенных условиях это приводит к уширению резонансной линии. Этому эффекту посвящен целый ряд работ (см., например, [4]). Вторым – наличие неоднородных упругих напряжений, которыми могут быть окружены газонаполненные поры в магнетике. Роль неоднородных упругих напряжений в уширении линии ФМР достаточно подробно исследована в целом ряде работ (см., например, [5 - 7]). Оценки показали, что в случае наноразмерных пузырьков гелия их влияние на ширину линии резонанса будет определять только второй фактор. Это предусматривает наличие достаточно большого количества пузырьков, находящихся в неравновесном состоянии, т.е. оказывающих давление на окружающую среду. При этом, в соответствии с результатами работы [7], появляется возможность оценить давление гелия в порах и поверхностную энергию никеля. Для создания такого ансамбля пор в металле целесообразно использовать ионный ускоритель. Подбором энергии ионов можно точно задать глубину их имплантирования, что важно для последующих измерений ФМР. Это связано с наличием скин-эффекта на сверхвысоких частотах: при частоте ФМР $\omega_0 \sim 10^{11} \text{ с}^{-1}$ толщина скин-слоя составляет десятые доли микрона. Подбором дозы облучения и параметров последующего отжига облученных образцов можно добиться необходимой концентрации пузырьков гелия, позволяющей наблюдать вклад этих дефектов структуры в ширину линии ФМР.

1. Методика эксперимента и образцы. Методика наблюдения ФМР в металлах достаточно хорошо отработана (см., например, [8]). В данной работе использовался спектрометр ФМР, позволяющий регистрировать резонансную линию на частоте 8 ГГц. Ширина линии определялась как расстояние между пиками на кривой производной линии поглощения. Образцы для исследований изготавливались из поликристаллического никеля чистоты 99,99, имели формы дисков диаметром 3 мм и толщину 0,1 мм. Предварительно образцы отжигались в вакууме 10^{-4} Па при $T = 1100 \text{ К}$ в течение 2 часов и электрополировались. Облучение образцов было проведено при комнатной температуре в ионном уско-

рителе пучком ионов He^+ с энергией 20 кэВ до дозы $4,0 \cdot 10^{21}$ ион·м². При такой энергии накопление ионов гелия происходит в пределах скин-слоя образца. После облучения образцы подвергались изохронному отжигу в течение 30 мин, начиная с $T = 700 K$ и до $T = 1100 K$ через каждые 50K. Данные о размерах и количестве пузырьков гелия были получены с помощью просвечивающего электронного микроскопа при ускоряющем напряжении 100 кэВ. Утончение образцов проводилось с необлученной стороны.

2. Результаты и их обсуждение. Измерение ширины линии ФМР в образцах никеля сразу после облучения обнаружили зависимость уширения линии от времени облучения. Это уширение впервые наблюдалось в работе [9] и объясняется влиянием дислокационных петель, образовавшихся в результате внедрение ионов гелия в решетку никеля. Дальнейшие измерения ширины линии ФМР проведены на образцах, облученных до дозы $4,0 \cdot 10^{21}$ ион·м⁻² и прошедших постимплантационный отжиг. В результате отжига в образцах возникли поры, заполненные гелием. По мере возрастания температуры отжига увеличивались средний размер пор a и их концентрация n_p . Начиная с $T \approx 1000 K$ величины a и n_p достигли максимальных значений и вышли на насыщение: $a \approx 3 \cdot 10^{-8}$ м и $n_p \approx 6,8 \cdot 10^{22}$ м⁻³. Что же касается дислокационной структуры радиационного происхождения, которая определила значительное увеличение ширины линии ФМР сразу после облучения, то уже с первых стадий отжига наблюдалось уменьшение плотности дислокаций из-за развития возвратных процессов при отжиге. При температуре отжига $T \approx 1100 K$ плотность дислокаций практически соответствовала исходной (до облучения). Такое поведение структуры облученного ионами никеля изучено в ряде работ (см., например, [10, 11]). Измерения ширины линии в этих образцах обнаружили увеличение ширины. Величина этого уширения $\Delta H = (310 \pm 15)$ Э. При получении этой величины учтено, что исходная ширина линии (измеренная до облучения) $\Delta H_0 \approx 350$ Э.

Сравнение данных ФМР с данными структурного анализа образцов позволило сделать вывод, что наблюдаемое уширение линии ФМР связано с развитием газовой пористости, являющейся источником неоднородных упругих напряжений. Этот механизм уширения линии исследован теоретически в работе [7]. Для оценки давления p , создаваемого газонаполненными порами, использовалось выражение для ширины линии ФМР, полученное в этой работе:

$$\Delta H = \frac{\pi^2 \mu_0}{\hbar g} \cdot \left(\frac{B_1^2}{M_0^3} \right) \cdot \left(\frac{1 + \sigma}{E} \right)^2 p^2 \cdot n_p \cdot \frac{a^6}{\alpha^{3/2}}. \quad (1)$$

Здесь: μ_0 – магнетон Бора; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка; g – гиромагнитное отношение; B_1 – магнитоупругая постоянная; M_0 – намагниченность насыщения; $\sigma = 0,28$ коэффициент Пуассона; E – модуль Юнга; α – постоянная обменного взаимодействия.

Используя (1), значения $\Delta H = 310 \text{ Э} = 23,9 \text{ кА} \cdot \text{м}^{-1}$, $\alpha = 3 \cdot 10^{-8} \text{ м}$, $n_p = 6,8 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$, $\sigma = 0,28$, $E = 20 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ и справочные данные магнитных величин, была получена величина давления гелия в порах при комнатной температуре: $p = 10^8 \text{ Па}$. Предполагая далее, что при температуре отжига $T = 1000 \text{ К}$ давление гелия в порах равно лапласовскому, т.е. $p = \frac{2\gamma}{a}$, было получено значение поверхностной энергии γ никеля при этой температуре:

$$\gamma = (4500 \pm 1800) \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Такое значение согласуется с данными, полученными другими методами с учетом зависимости величины γ от температуры [1 - 3, 12, 13]. При получении этой величины было учтено, что температура образования пор в 3,3 раза больше комнатной и, в соответствии с газовыми законами, величины давления гелия во столько же раз больше найденного из выражения (1). Относительная погрешность измерения γ определяется погрешностями измерений a , n_p и ΔH , и может достигать 40 %. Основной вклад в эту погрешность вносит неточность определения среднего размера пор a , составляющая примерно 23 %. Метод ФМР можно использовать для более точного нахождения величины a при известных из независимых измерений величинах концентрации пор и давления газа в них. На наш взгляд, метод ФМР, благодаря его высокой чувствительности к дефектам структуры кристаллической решетки и экспрессности измерений, является хорошим дополнением к другим методам исследования радиационной повреждаемости и оценки поверхностной энергии ферромагнетиков.

Список литературы: 1. Хоконов Х.Б. Методы измерения поверхности энергии и натяжения метилов и сплавов в твердом состоянии / Х.Б. Хоконов // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. – Кишинев–Штиинца, 1974. – С.196-249. 2. Миссол В. Поверхностная энергия раздела фаз. в металлах / В. Миссол // Пер. с польского Г.Н. Мехеда; Под ред. Ю.Н. Тарана. – М.: Изд-во Металлургия, 1978. – 176 с. 3. Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах/ М. Томпсон // Пер. с англ. – М.: Изд-во Мир, 1971. – 367 с. 4. Белозоров Д.П. Рассеяние однородной прецессии намагниченности на порах / Д.П. Белозоров, А.И. Спольник // УФЖ, 1977. – 22. – №10. – С. 1652–1657. 5. Барьяхтар В.Г. Влияние дислокаций на ширину линий однородного ферро- и антиферромагнитного резонансов / В.Г. Барьяхтар, М.А. Савченко, В.В. Тарасенко // ЖЭТФ, 1968. – 54. – №5. – С. 1603-1612. 6. Ахиезер А.И. Теория дислокационного уширения линии однородного ферромагнитного резонанса / А.И. Ахиезер, В.В. Ганн, А.И. Спольник // ФТТ, 1975. – 17. – №8. – С. 2340-2346. 7. Спольник А.И. Уширение линии ферромагнитного резонанса напряженными порами / А.И. Спольник, З.А. Спольник // УФЖ, 1993. – 38. – №12. – С. 56–59. 8. Пул Ч. Техника ЭПР спектроскопии / Ч. Пул // Пер. с англ. – М.: Изд-во Мир, 1970. – 557 с. 9. Ферромагнитный резонанс в никеле, облученном ионами гелия / А.И. Спольник, А.Н. Григорьев, А.Н. Мороз и др. // УФЖ, 1990. – 35. – №6. – С. 934–936. 10. Зеленский В.Ф. Радиационные дефекты и набухание металлов / В.Ф. Зеленский, И.М. Неклюдов, Т.П. Черняева. – К.: Наукова думка, 1988. – 296 с. 11. Формирование гелиевой пористости в модельных сплавах никеля и конструкционных сталях при высокотемпературном облучении и послерадиационном отжиге / С.Ю. Бинюкова, И.И. Чернов, Б.А. Калин и др. // Атомная энергия. – 2002. – 93. – №1. – С. 32–40. 12. Юров В.М. / В.М. Юров // Поверхностное натяжение твердых тел. Вестник КарГУ, сер. физика, 2007. – №1. – С. 23–29. 13. Ролдугин В.М. Физикохимия поверхности / В.М. Ролдугин. – Долгопрудный: Изд-во Интеллект, 2008. – 565 с.

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ РАДИАЦИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Спольник А.И., докт. физ.-мат. наук, **Волчок И.В.**, канд. физ.-мат. наук,
Калиберда Л.М.

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенко)

The effect of gamma irradiation on the heat capacity of GaAs researched. Found that the lattice defects created by irradiation, causes a change of the electronic contribution to the heat capacity

Несмотря на широкое изучение физических свойств GaAs, сведения об измерениях теплоемкости этого материала единичны, а данные о влиянии гамма-облучения на теплоемкость отсутствуют. В связи с этим представляет интерес и практическую ценность исследование влияния радиационного воздействия на термодинамические характеристики арсенида галлия.

Задачи настоящей работы предусматривали изучение радиационной повреждаемости арсенида галлия методом калориметрии. Целесообразность применения калориметрического метода связана с тем, что он обеспечивает возможность определить теплоемкость вещества, что в свою очередь позволяет рассчитать некоторые термодинамические параметры и характеристические температуры и оценить изменение ширины запрещенной зоны полупроводника.

Измерения теплоемкости монокристаллов арсенида галлия были проведены на дифференциальном сканирующем микрокалориметре ДСМ-2М в интервале температур от -80°C до 170°C ($193\text{--}443\text{ K}$). С целью обеспечения высокой точности и надежности эксперимента, измерения проводились как в режиме нагрева (скорость 8 град/мин), так и в режиме охлаждения (скорость 8 град/мин). В работе использовались монокристаллы промышленного производства. Для устранения влияния поверхностных эффектов на теплоемкость, измерения проводились на образцах, представляющих собой пластины размером $4\cdot5\cdot0,5\text{ мм}^3$. Масса исследуемого вещества ($296,810\text{ мг}$) значительно превышала массу пустой калориметрической ампулы ($60,285\text{ мг}$), что обеспечивало необходимую точность измерений. Радиационное воздействие осуществлялось на специальной гамма-облучательной установке при температуре 20°C до различных доз: $10^{13}\text{--}10^{15}\text{ см}^{-2}$ ($E=0,66\text{ МэВ}$). Экспериментальная и теоретическая кривые температурной зависимости теплоемкости $C_p(T)$ арсенида галлия приведены на рис. 1.

Сплошной линией представлена расчетная кривая [1], а точки соответствуют экспериментальным значениям, полученным в настоящей работе. Изменение теплоемкости с температурой имеет двухстадийный характер: резкое возрастание до температуры Дебая и линейный рост – вплоть до температуры плавления. Следует отметить, что в исследуемом интервале температур кривая

теплоемкости особенностей не имеет. Отклонение экспериментальных точек от теоретической кривой не превышает величину допускаемой погрешности (1%) во всем исследуемом интервале температур, что свидетельствует о хорошем соответствии эксперимента и теории. Поскольку сравнение $C_p(T)$ проводилось с расчетной зависимостью $C_v(T)$, то коррекция производилась по формуле:

$$C_p - C_v = \frac{9\beta^2 VT}{\chi_T}, \quad (1)$$

где β – коэффициент линейного расширения; χ_T – изотермическая сжимаемость; V – молекулярный объем, рассчитанный по плотности ρ .

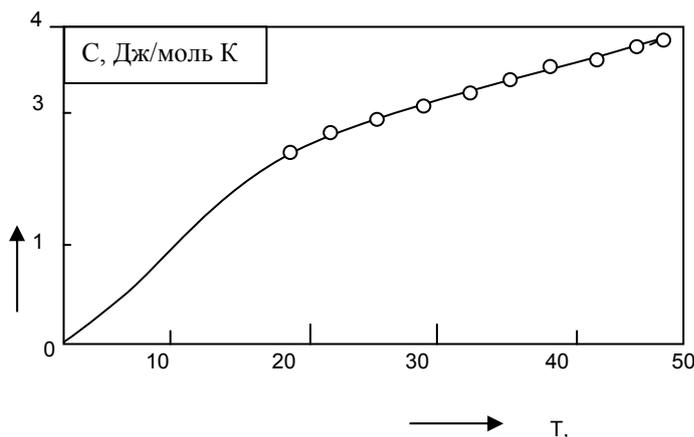


Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости арсенида галлия: точки – экспериментальные значения; сплошная линия – теоретическая кривая.

Теоретическая кривая $C_v = f(T)$ для GaAs была получена из уравнения:

$$C_{1(3)} = D_1 \left(\frac{\theta_1}{T_1} \right) - \frac{\theta_3}{\theta_1} \left[D_1 \left(\frac{\theta_3}{T} \right) - D_3 \left(\frac{\theta_3}{T} \right) \right], \quad (2)$$

где $D_1 \left(\frac{\theta_1}{T_1} \right)$ – теплоемкость одноатомной цепочки с эквивалентным параметром, θ_1 и θ_2 – характеристические температуры, полученные методом последовательных приближений.

Теоретические расчеты, сделанные на основе квазицепочечной динамики ковалентных кристаллов, показывают, что характеристические частоты ν_3 и ν_1 соответствуют дисперсионным частотам в точках Γ (0,0,0), X (1,0,0) и L (0,5; 0,5; 0,5) зоны Бриллюэна и указывают возможность предварительного расчета параметров θ_1 и θ_2 по данным мультифононного поглощения и нейтронной спектроскопии. Фононные спектры и дисперсионные кривые для арсенида галлия являются, в целом, типичными для алмазоподобных структур Si (кремния) и Ge (германия). Существует аналогия в поведении дисперсионных (ТА) ветвей, но существование эффективного заряда проявляется при разделении оптических (ТО) и (ЛО) ветвей в середине зоны Бриллюэна. Если величина ν_3 для GaAs может быть сравнима со средними величинами ν_{TA}^L и ν_{TA}^X в уравнении

$$\nu_3 = \frac{\nu_{TA}^L + \nu_{TA}^X}{2}, \quad (3)$$

то величина ν_1 может быть представлена как среднее арифметическое LO и TA частот в точке Γ (0,0,0) или

$$\nu_1 = \frac{\nu_{TO}^{\Gamma} + \nu_{LO}^{\Gamma}}{2}. \quad (4)$$

Как уже отмечалось, на кривой $C_p(T)$ отсутствуют аномалии, что позволяет рассчитать с высокой степенью точности термодинамические характеристики и температуру Дебая для исследуемого монокристалла.

В табл. 1 приведены основные термодинамические параметры и частоты для монокристалла GaAs:

Таблица 1

θ_1, K	ν_1	$\frac{\nu_{TO}^{\Gamma} + \nu_{LO}^{\Gamma}}{2}$	θ_3, K	ν_3	$\frac{\nu_{TA}^L + \nu_{TA}^X}{2}$	$H_0,$ кДж/моль	$\lambda,$ Вт/м К	ΔE (эВ)
510	0,0345	0,0344	130	0,0088	0,0083	638,4	37,0	1,4

Характеристическая температура Дебая вычислена для соответствующих значений C_V по табулированным функциям Дебая.

Теплоемкость GaAs до облучения включала решеточный вклад и член, линейный по температуре, обусловленный электронным вкладом. Исследования теплопроводности арсенида галлия подтверждают наличие обоих механизмов переноса тепла во всем исследуемом интервале температур. Оценки показали, что электронный вклад в теплоемкость в интервале температур 193–443 К мал и составляет в среднем не более 15% от общей теплоемкости. Гамма-облучение GaAs дозой 10^{13} см⁻² привело к уменьшению электронной теплоемкости на 80%, а при дозе 10^{15} см⁻² электронный вклад исчез вовсе. Отжиг кристалла при температуре 500С приводит к восстановлению электронного вклада в теплоемкость GaAs. Это дает основание предположить, что гамма-лучи, теряя в веществе большую часть своей энергии, вызывают неустойчивые, спадающие со временем и с повышением температуры изменения в веществе, а именно, вызывают появление дефектов решетки, образующихся за счет выбивания атомов из устойчивых положений. В полупроводниках смещенные атомы образуются за счет упругих столкновений атомов непосредственно с бомбардирующими частицами, либо с выбитыми со своих мест атомами, имеющими достаточную энергию. Выбитые и попавшие в междоузлие атомы, а также остающиеся после них вакантные узлы являются дефектами решетки, образовавшимися за счет облучения. Полученные в работе результаты позволяют считать, что уменьшение и полное исчезновение электронного вклада в теплоемкость арсенида галлия происходит благодаря захвату носителей решеточными дефектами, созданными гамма-облучением.

Список литературы: 1. Тарасов В.В. Теплоемкость и квазицепочечная динамика алмазоподобных структур / В.В. Тарасов, А.Ф. Демиденко // Physica Status Solidi, 1968. – Т. 30. – С. 147-153.

РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ В УМОВАХ НЕЛІНІЙНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Сичов А.І., канд. техн. наук, **Сичова Т.О.**, канд. техн. наук
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені П. Василенка)

In article it is considered shell theory with shear deformations for calculations of thin-walled constructions in the case of nonlinear deformation. Equalizations and method of solution for problem of axisymmetrically loaded shell of revolution in the case of nonlinear deformation are presented. Results of creep calculation with damage of conical shell made from an aluminium alloy are resulted.

Постановка проблеми та її актуальність. При конструюванні обладнання переробних і харчових виробництв широко використовуються тонкостінні елементи. Робота цього обладнання у багатьох випадках відбувається в умовах нелінійного деформування (нелінійна пружність, повзучість, повзучість з урахуванням пошкоджуваності) [1, 2]. Для розрахунку тонкостінних елементів обладнання часто використовується більш складна теорія оболонок, яка враховує деформацію зсуву. Такі підходи до проектування обладнання переробних і харчових виробництв дають можливість більш точно знайти величини напружень та оцінити час роботи обладнання, зменшити його матеріалоємність. Все це робить напрямок досліджень, що розглядається, актуальним як в науковому так і в практичному відношенні.

Розглянемо постановку задачі для осесиметрично навантажених оболонок обертання з урахуванням поперечного зсуву [3, 4, 5].

Для точки оболонки задано систему координат (ξ_1, ξ_2, ζ) , де ξ_1 – координата вздовж твірної оболонки, ξ_2 – координата в окружному напрямку, ζ – координата в напрямку нормалі до поверхні оболонки. На оболонку діють осесиметрично розподілене навантаження p_1, p_3 та зосереджені по краям кільцеві сили $n_{11}^0, n_{11}^L, q_1^0, q_1^L$ і моменти m_{11}^0, m_{11}^L . Передбачається, що при деформуванні оболонки перетини оболонки залишаються прямолінійними, але не є перпендикулярними до деформованої серединної поверхні оболонки. Товщина оболонки при деформуванні не змінюється.

Запишемо кінематичні співвідношення:

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \alpha_{11} + \zeta \beta_{11}, \quad (1 \leftrightarrow 2), \quad \gamma_{13} = \gamma_1/2, \\ \alpha_{11} &= \partial_1 v_1 + k_1 v_3, \quad \alpha_{22} = \phi_1 v_1 + k_2 v_3, \\ \beta_{11} &= \partial_1 w_1, \quad \beta_{22} = \phi_1 w_1, \\ \gamma_1 &= w_1 - \phi_1, \quad \phi_1 = -\partial_1 v_3 + k_1 v_1, \\ \partial_1(\dots) &\equiv A_1^{-1} \partial_1(\dots) / \partial \xi_1, \quad \phi_1 = A_2^{-1} \partial_1 A_2, \end{aligned} \tag{1}$$

де α_{11}, α_{22} – відносні подовження елемента оболонки у напрямках ξ_1, ξ_2 ; β_{11}, β_{22} – зміни кривин елемента оболонки у напрямках ξ_1, ξ_2 ; A_1, A_2 – параметри Ляме; k_1, k_2 – головні кривини; ν_1, ν_3 – переміщення точки серединної поверхні оболонки у напрямках ξ_1, ζ ; w_1 – кут загального повороту перетину оболонки при деформуванні; φ_1 – кут повороту перетину оболонки при деформуванні, коли перетин залишається нормальним до деформованої серединної поверхні; ϕ_1 – коефіцієнт; γ_1 – кут зсуву.

Рівняння рівноваги будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned}\partial_1 n_{11} + \phi_1 (n_{11} - n_{22}) + k_1 q_1 + p_1 &= 0, \\ \partial_1 m_{11} + \phi_1 (m_{11} - m_{22}) - q_1 &= 0, \\ \partial_1 q_1 + \phi_1 q_1 - k_1 n_{11} - k_2 n_{22} + p_3 &= 0,\end{aligned}\quad (2)$$

де n_{11}, n_{22} – мембранні сили, q_1 – поперечна сила, m_{11}, m_{22} – згинальні моменти.

До рівнянь (1)-(2) додаються кінематичні та статичні граничні умови при $\xi_1 = \xi_1^0$ та $\xi_1 = \xi_1^L$.

Фізичні рівняння розглядаються для швидкостей деформацій та швидкостей силових факторів:

$$\begin{aligned}\dot{n}_{11} &= \frac{Eh}{1-\nu^2} (\dot{\alpha}_{11} + \nu \dot{\alpha}_{22}) - \dot{n}_{11}^* \quad (1 \leftrightarrow 2), \\ \dot{m}_{11} &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} (\dot{\beta}_{11} + \nu \dot{\beta}_{22}) - \dot{m}_{11}^* \quad (1 \leftrightarrow 2), \\ \dot{q}_1 &= \kappa Gh \dot{\gamma}_1 - \dot{q}_1^*,\end{aligned}\quad (3)$$

де E – модуль пружності матеріалу, ν – коефіцієнт Пуассона, h – товщина оболонки, κ – коефіцієнт, що коректує напруження зсуву ($\kappa = 5/6$).

Додаткові доданки, які описують нелінійне деформування оболонок, \dot{n}_{11}^* , \dot{n}_{22}^* , \dot{m}_{11}^* , \dot{m}_{22}^* , \dot{q}_1^* в (3) обчислюються наступним чином:

$$\begin{aligned}\dot{n}_{11}^* &= \frac{E}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\dot{\gamma}_{11}^* + \nu \dot{\gamma}_{22}^*) d\zeta, \quad (1 \leftrightarrow 2), \\ \dot{m}_{11}^* &= \frac{E}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\dot{\gamma}_{11}^* + \nu \dot{\gamma}_{22}^*) \zeta d\zeta, \quad (1 \leftrightarrow 2), \\ \dot{q}_{11}^* &= 2\kappa G \int_{-h/2}^{h/2} \dot{\gamma}_{13}^* d\zeta,\end{aligned}\quad (4)$$

де швидкості нелінійних деформацій $\dot{\gamma}_{11}^*, \dot{\gamma}_{22}^*, \dot{\gamma}_{13}^*$ визначаються обраною моделлю нелінійного деформування (нелінійна пружність, повзучість, повзучість з пошкоджуваністю) та залежить від напружень $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{13}$ і структурних параметрів d_1, \dots, d_n моделі нелінійного деформування.

Розв'язувальну систему рівнянь можна отримати, якщо геометричні рівняння та рівняння рівноваги продиференціювати за часом. Таким чином сформульована початково-крайова задача, для розв'язку якої використовуються чисельні методи продовження розв'язку за параметром і дискретної прогонки з ортогоналізацією розв'язків на кроці по координаті С.К. Годунова. Початкова

задача інтегрувалась за схемою вкладеного методу Рунге-Кутта-Мерсона четвертого порядку з автоматизованим вибором кроку у часі.

Результати чисельних досліджень повзучості тонкостінних оболонкових конструкцій з урахуванням деформації зсуву надано для жорстко закріпленої конічної оболонки, яка виготовлена з алюмінієвого сплаву. Геометричні розміри і навантаження були наступними: товщина оболонки $h = 0,2$ м, максимальний радіус оболонки $R = 1$ м, довжина оболонки $L = 1$ м, кут між нормаллю до твірної конічної оболонки та віссю обертання $\beta = 45^\circ$, внутрішній тиск $p_3 = 10$ МПа. В розрахунках повзучості використовувалась модель повзучості Качанова-Работнова з пошкоджуваністю [5]. На рис. 1 досліджується зміна максимальної інтенсивності напружень (а) та параметра пошкоджуваності (б) у часі отримане з розрахунку по теорії оболонок Кірхгофа-Лява (пунктирна лінія) і теорії з урахуванням деформації зсуву (суцільна лінія). Перетин оболонки з максимальними напруженнями відповідає жорстко закріпленому краю оболонки з більшим радіусом. Різниця часу до руйнування оболонки для розрахунку по двом розглянутим теоріям складає 25%. Це пояснюється тим, що теорія оболонок з урахуванням деформації зсуву, дає більшу свободу для кінематичних параметрів у місці закріплення оболонки, що у свою чергу призводить до зниження рівня напружень та збільшення часу до руйнування оболонки. Аналогічні результати отримані для циліндричних оболонок в роботі [5].

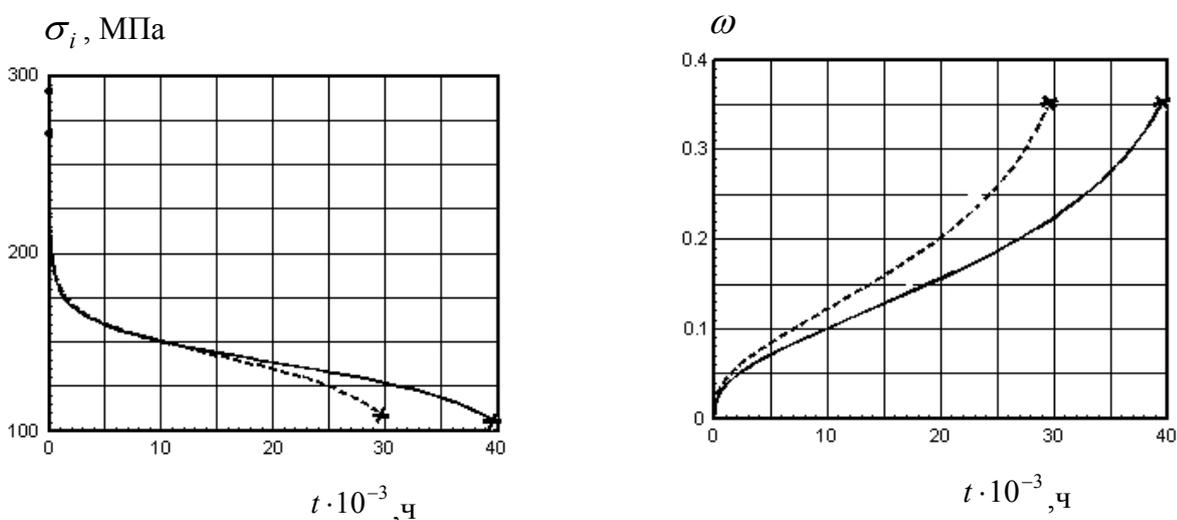


Рис. 1 – Зміна максимальної інтенсивності напружень (а) та параметра пошкоджуваності (б) у часі

Таким чином, по результатам проведених досліджень можна зробити висновки про те, що розрахунки конструкцій по теорії оболонок з урахуванням деформацій зсуву дають можливість отримувати значення напружень та часу до руйнування в оболонках більш близькими до реальних значень. Ці дослідження доводять, що час роботи обладнання в дійсності є більшим ніж в розрахунку по класичній теорії оболонок Кірхгофа-Лява. Це є важливим фактором для вико-

ристання теорії оболонки з урахуванням деформації зсуву при конструюванні та розрахунку оболонкових конструкцій.

Список літератури: 1. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В.И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1983. – 447 с. 2. Остриков А.Н. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 352 с. 3. Пелех Б.Л. Теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью / Б.Л. Пелех. – К.: Наукова думка, 1973. – 248 с. 4. Галишин А.З. К расчету термоупругого напряженного состояния оболочек вращения средней толщины / А.З. Галишин, Ю.Н. Шевченко // Прикладная механика, 2008. – Вып. 44. – № 5. – С. 58-67. 5. Сычев А.И. Расчеты оболочечных элементов оборудования перерабатывающих и пищевых производств на прочность в условиях нелинейного деформирования / А.И. Сычев, Т.А. Сычева // Вісник ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 88. – С. 82-88.

УДК534.1.

ДО РОЗРАХУНКУ РЕЛАКСАЦІЙНИХ АВТОКОЛИВАНЬ У СКРЕБКОВИХ КОНВЕЄРАХ

Бурлака В.В., канд. техн. наук, **Малець О.М.**,
Ольшанський В.П., докт. фіз.-мат. наук.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені П. Василенка)

Simplified formulae for calculation of relaxation self-excited oscillations in scraper conveyors when transporting bulk solids are proposed. Conditions are defined when the mistake caused by the simplifications does not exceed one percent.

При постановці задачі дотримуємось роботи [1], у якій складено та розв'язано рівняння сталого режиму автоколивань, зумовлених різницею значень коефіцієнта сухого тертя спокою та ковзання. Там же наведено огляд публікацій за цією темою та одержано формули для розрахунку кінематичних характеристик автоколивань, зокрема амплітуди й частоти, а також закону переміщення вантажу при транспортуванні, як матеріальної точки заданої маси. Виходячи з реальних значень параметрів в умовах експлуатації скребкових конвеєрів, тут ставиться задача, у межах дискретної математичної моделі, прийнятої в [1], спростити розрахункові формули, зберігаючи їх належну точність.

Аналогічно [1], рух вантажу, як матеріальної точки, що транспортується скребком конвеєра, описуємо рівняння

$$\ddot{x} + p^2 x = p^2 V_0 t - \Delta f g, \quad (1)$$

де $p^2 = c/m$; m – маса вантажу; c – коефіцієнт пружності системи; Δf – різниця значень коефіцієнтів тертя спокою та ковзання; g – прискорення вільного падіння; V_0 – швидкість руху скребкового конвеєра; t – час; $x = x(t)$ – переміщення вантажу; точка над x означає похідну за часом.

Рівняння (1), при нульових початкових умовах

$$x(0) = \dot{x}(0) = 0,$$

має розв'язок

$$x = V_0 t - \frac{V_0}{p} [\sin(pt) - \alpha(1 - \cos(pt))], \quad (2)$$

де $\alpha = \frac{\Delta f g}{p V_0}$ – безрозмірний параметр.

Похідна з (2) подається виразом:

$$\dot{x} = V_0 [1 - \cos(pt) - \alpha \sin(pt)].$$

Із нього випливає, що вантаж зупиняється в момент часу $t = t_1$, який є коренем рівняння

$$-\alpha \sin(pt_1) = 1 - \cos(pt_1). \quad (3)$$

Знайдемо наближений розв'язок цього рівняння, коли α має мале значення. Саме такі значення часто відповідають реальним умовам експлуатації конвеєрів. Цим дана робота відрізняється від [1–3], де будували і використовували точний розв'язок рівняння (3).

Корінь рівняння (3) шукаємо у вигляді:

$$t_1 = \frac{1}{p} (2\pi - \varepsilon), \quad (4)$$

де ε – малий параметр.

Підстановка (4) в (3) приводить до рівняння

$$\alpha \sin \varepsilon = 1 - \cos \varepsilon. \quad (5)$$

Далі використовуємо апроксимації у вигляді двохчленних часткових сум рядів Маклорена:

$$\sin \varepsilon \approx \varepsilon \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{6} \right); \quad \cos \varepsilon \approx 1 - \frac{1}{2} \varepsilon^2. \quad (6)$$

Інформацію про похибки наближень (6) надано в табл. 1.

Таблиця 1

Точні та наближені значення тригонометричних функцій

ε	$\sin \varepsilon$	$\varepsilon / (1 + \varepsilon^2 / 6)$	$\cos \varepsilon$	$1 - \varepsilon^2 / 2$
0,1	0,0998	0,0998	0,9950	0,9950
0,2	0,1987	0,1987	0,9801	0,9800
0,3	0,2955	0,2955	0,9553	0,9550
0,4	0,3894	0,3893	0,9122	0,9200
0,5	0,4794	0,4792	0,8776	0,8750
0,6	0,5646	0,5640	0,8253	0,8200

Як бачимо, похибка наближень (6), при $\varepsilon \in [0;0,6]$, становить десяті долі відсотка. Підставивши (6) в (5), одержуємо квадратне рівняння

$$\varepsilon^2 + \frac{3}{\alpha} \varepsilon - 6 = 0. \quad (7)$$

З нього випливає, що

$$\alpha = \frac{3\varepsilon}{6 - \varepsilon^2}$$

і при $\varepsilon = 0,6$, $\alpha = 0,319$.

Отже, при $\alpha \leq 0,32$, похибка заміни (5) на (7) і запропонованого спрощення в цілому, менша одного відсотка.

Додатній корінь рівняння (7) обчислюємо за формулою

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{3}{2\alpha}\right)^2 + 6} - \frac{3}{2\alpha}. \quad (8)$$

Знаючи ε , далі за формулою (4) легко знайти час руху вантажу на протязі одного періоду автоколивань t_1 . Підставивши це значення t_1 в (2), одержуємо величину переміщення вантажу x_1 за період автоколивань. Після певних перетворень, його розрахунок зводимо до формули:

$$x_1 = \frac{V_0}{p} [2(\pi + \alpha) - \varepsilon]. \quad (9)$$

Нарешті, знаходимо період автоколивань. Він дорівнює

$$T = \frac{x_1}{V_0} = \frac{1}{p} [2(\pi + \alpha) - \varepsilon]. \quad (10)$$

Таким чином, використовуючи формули (4), (8), (9) і (10), при $\alpha < 0,32$, дуже просто наближено обчислити основні кінематичні характеристики автоколивань.

З метою порівняння числових результатів, до яких приводять наближені і точні розв'язки, вони наведені в табл. 2. Точні значення параметрів одержано за формулами роботи [1], а наближені-викладеним способом. Для проведення розрахунків задавали: $\Delta f = 0,05$; $p = 40 \text{ c}^{-1}$ і різні значення V_0 .

Таблиця 2

Наближені й точні значення кінематичних характеристик автоколивань

$V_0, \frac{m}{c}$	форм. (4), (8), (9), (10)			форм. роботи [1]		
	t_1, c	$100x_1, m$	T, c	t_1, c	$100x_1, m$	T, c
0,02	0,1317	0,3247	0,1623	0,1296	0,3205	0,1602
0,03	0,1385	0,4769	0,1590	0,1377	0,4743	0,1581
0,04	0,1426	0,6317	0,1579	0,1422	0,6301	0,1575
0,05	0,1453	0,7877	0,1575	0,1451	0,7866	0,1573
0,10	0,1510	1,5714	0,1571	0,1510	1,5711	0,1571
0,20	0,1540	3,1417	0,1571	0,1540	3,1417	0,1571
0,050	0,1559	7,8540	0,1571	0,1559	7,8540	0,1571

Розрахунки і порівняльний аналіз показують, що в широкому діапазоні значень швидкостей руху конвеєра наближені результати близькі до точних значень. Збіжність результатів поліпшується по мірі зменшення значень безрозмірного критерія α , що має місце при зростанні швидкості руху конвеєра.

Висновки. Запропоновані спрощення зводять розрахунки основних кінематичних характеристик автоколивань до використання елементарних формул. Похибки цих формул, при $\alpha \in [0; 0,32]$, не перевершують одного відсотка.

Список літератури: 1. Ловейкін В.С. Дослідження релаксаційних автоколивань за спрощеної характеристики тертя у скребкових конвеєрах при транспортуванні сипких матеріалів / В.С. Ловейкін, Ю.В. Човнюк, О.Ю. Костина// Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва, 2013. – Вип. 135. – С. 328-335. 2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1967 – 316 с. 3. Тондл А. Автоколебания механических систем /А. Тондл. – М.: Мир, 1979. – 432 с.

УДК 631.362.333

АППРОКСИМАЦИЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА В БАРАБАННОМ СКАЛЬПЕРАТОРЕ

Богданович С.А.

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П. Василенко)

The paper presents the approximation of solutions of equations of mathematical model of the process in a drum skalperators

Скальператор предназначен для сепарации сыпучей смеси и состоит из цилиндрического решетчатого барабана, ось которого расположена горизонтально, а сам барабан вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью. Для повышения эффективности сегрегации смеси на вращательное движение барабана накладываются малые вибрации.

Наложение вибраций на вращательное движение барабана приводит к тому, что среда в этих условиях подчиняется законам динамики вязкой среды, реологический закон которой аналогичен закону Навье-Стокса.

В работе [1, с. 500] предложена математическая модель процесса скальперирования сыпучей смеси в виде двух уравнений. Первое уравнение получено из условия несжимаемости среды выбранной декартовой системе координат:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Второе уравнение получено из второго закона механики сплошной среды:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \text{div} \hat{\sigma} + \rho \vec{g}, \quad (2)$$

где ρ - плотность среды (в данном случае величина постоянная); \vec{g} - интенсивность внешних сил, действующих на среду (в нашем случае равная ускорению свободного падения); $\hat{\sigma}$ - тензор напряжений.

Предлагается метод приближенного решения уравнений (1) и (2).

Искомыми величинами являются компоненты вектора скорости $v_x(x, y, z)$, $v_y(x, y, z)$, $v_z(x, y, z)$, давление $p = p(x, y, z)$ и функция, определяющая

свободную поверхность. Зададим выражения для компонент вектора скорости и давления в виде:

$$\begin{aligned} v_x &= u(z) \cos(\alpha(z)) - y w(z) \frac{d\alpha(z)}{dz} \\ v_y &= u(z) \sin(\alpha(z)) + x w(z) \frac{d\alpha(z)}{dz} \\ v_z &= w(z), \quad p = p(z) \end{aligned} \quad (3)$$

с неизвестными функциями $u(z), \alpha(z), w(z)$. Здесь $\alpha(z)$ представляет собой угол поворота сечения $S(z)$ вокруг оси Oz . Вторые слагаемые в первых двух формулах соответствуют распределению скоростей по поперечному сечению $S(z)$, вращающемуся вокруг оси Oz с угловой скоростью $w(z) d\alpha(z) / dz$. Первые же слагаемые в них определяют движение поперечного сечения в направлении полярного радиуса с углом α . Третья составляющая в (3) задает движение поперечного сечения как целого в направлении оси Oz . Давление будем считать однородным по сечению $S(z)$: $p = p(z)$.

Поверхность S_1 будем считать линейчатой, образованной прямой AB , лежащей в плоскости переменных x, y и меняющей свое направление при изменении z (рис. 1). Обозначим через $h = h(z)$ расстояние от оси Oz до прямой AB (отрезок ON). Будем считать его величину положительной, если точка O располагается вне свободной поверхности, и отрицательной - в противном случае. Нетрудно заметить, что общее уравнение прямой AB можно записать в форме:

$$x \cos(\alpha) + y \sin(\alpha) = h. \quad (4)$$

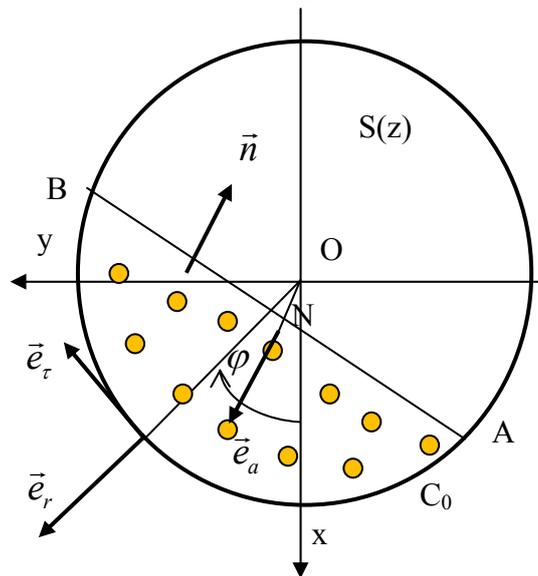


Рис. 1. Поперечное сечение цилиндрического решета с сыпучей смесью

Координаты точек A, B пересечения этой прямой с контуром C_0 цилиндра определяются как решение нелинейной системы уравнений:

$$\begin{cases} x \cos(\alpha) + y \sin(\alpha) = h \\ x^2 + y^2 = R_0^2 \end{cases} \quad (5)$$

и имеют вид:

$$\begin{aligned} x_A &= (R_0^2 - h^2)^{1/2} \sin(\alpha) + h \cos(\alpha) \\ y_A &= h \sin(\alpha) - \cos(\alpha)(R_0^2 - h^2)^{1/2} \\ x_B &= h \cos(\alpha) - (R_0^2 - h^2)^{1/2} \sin(\alpha) \\ y_B &= h \sin(\alpha) + \cos(\alpha)(R_0^2 - h^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (6)$$

Соответствующие полярные углы φ_A, φ_B этих точек определяются выражениями:

$$\varphi_A = \begin{cases} -\arccos\left(\frac{x_A}{R_0}\right) & (x_A < 0) \\ \arcsin\left(\frac{y_A}{R_0}\right) & (x_A \geq 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$\varphi_B = \begin{cases} \arccos\left(\frac{x_B}{R_0}\right) & (x_B < 0) \\ \arcsin\left(\frac{y_B}{R_0}\right) & (x_B \geq 0) \end{cases}$$

В этом случае единичная нормаль \vec{n}_1 к S_1 будет равна

$$\vec{n}_1 = -\vec{n} = \left(-\frac{\cos \alpha}{\sqrt{1+h'^2}}, -\frac{\sin \alpha}{\sqrt{1+h'^2}}, \frac{h'}{\sqrt{1+h'^2}} \right). \quad (8)$$

Кинематическое граничное условие для S_1 определяется дифференцированием (4) по времени. После несложных преобразований получаем:

$$h'w + u = 0 \quad (S_1). \quad (9)$$

Элементы площади dS поверхностей $\Delta S_0, \Delta S_1$ и элемент объёма dV равны [2, с. 276-280]:

$$\begin{aligned} dS &= R_0 d\varphi dz (\Delta S_0) \\ dS &= \frac{dy dz}{n_{1x} \cos \alpha} = -\frac{dy dz}{\cos^2 \alpha} \sqrt{1+h'^2} \quad (\Delta S_1) \\ dV &= dz dS \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь (') означает дифференцирование по переменной z .

В интегральной форме уравнения несжимаемости присутствуют интегралы по поверхностям $\Delta S_0, \Delta S_1$ и разность интегралов по $S(z+dz), S(z)$. Запишем общие соотношения для этих величин в применении произвольной функции $F = F(x, y, z)$:

$$\int_{\Delta S_0} F(x, y, z) dS = R_0 dz \int_{\varphi_A}^{\varphi_B} F(R_0 \cos \varphi, R_0 \sin \varphi, z) d\varphi \quad (11)$$

$$\int_{\Delta S_1} F(x, y, z) dS = \sqrt{1+h^2} \frac{dz}{\cos^2 \alpha} \int_{y_A}^{y_B} F\left(\frac{h-y \sin \alpha}{\cos \alpha}, y, z\right) dy \quad (12)$$

При нахождении разности интегралов по $S(z+dz)$ и $S(z)$ воспользуемся теоремой о дифференцировании интеграла по параметру [2, с. 276-280] Получим:

$$\int_{S(z+dz)} F(x, y, z+dz) dS - \int_{S(z)} F(x, y, z) dS = dz \left\{ \int_{S(z)} \frac{\partial F}{\partial z}(x, y, z) dS + \right. \\ \left. + \frac{h' + \alpha' h t g \alpha}{\cos \alpha} \int_{y_A}^{y_B} F\left(\frac{h-y \sin \alpha}{\cos \alpha}, y, z\right) dy - \frac{\alpha'}{\cos^2 \alpha} \int_{y_A}^{y_B} F\left(\frac{h-y \sin \alpha}{\cos \alpha}, y, z\right) dy \right\} \quad (13)$$

Согласно (3) получаем выражение для радиальной составляющей скорости на поверхности цилиндрического решета:

$$v_r = \vec{v} \cdot \vec{e}_r = u \cos(\varphi - \alpha). \quad (14)$$

Воспользуемся формулой (11) для получения осредненного уравнения, из граничного условия получим соотношение:

$$\left[\sin(\varphi_B - \alpha) - \sin(\varphi_A - \alpha) \right] u + (\varphi_A - \varphi_B) K_d p = 0. \quad (15)$$

которое можно рассматривать как уравнение для определения давления в виде:

$$p = \Phi u \quad \left(\Phi = \frac{\sin(\varphi_B - \alpha) - \sin(\varphi_A - \alpha)}{(\varphi_B - \varphi_A) K_d} \right). \quad (16)$$

Применяя операцию, указанную в формуле (11), к интегральной форме уравнения несжимаемости получим следующее выражение:

$$\frac{w(y_B - y_A)}{\cos \alpha} h' + S w' + \\ + \left[\frac{h(y_B - y_A) \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \frac{(y_B^2 - y_A^2) - 2h(y_B - y_A) \sin \alpha}{2 \cos^3 \alpha} - \frac{y_B^2 - y_A^2}{2 \cos^2 \alpha} \right] w \alpha' + \\ + R_0 \left[\sin(\varphi_B - \alpha) - \sin(\varphi_A - \alpha) \right] u = 0 \quad (17)$$

При рассмотрении уравнений движения и изменения кинетического момента будем придерживаться предположений Стокса и гидравлического приближения теории русловых потоков [3, с. 450-452], [4, с. 96]. В этом случае пренебрегают нелинейными инерционными членами в ускорении и вязкостью среды при определении тензора напряжений. Однако члены, связанные с гидравлическим сопротивлением и силой трения на твердой стенке цилиндрического решета оставляют, что в некоторой мере учитывает действие вязких сил. Так как малая вязкость приводит к появлению малого параметра (обратного значения числа Рейнольдса Re) при старших производных по пространственным переменным в уравнении движения, то решение приобретает погранслойный характер, появляются зоны вблизи границы, в которых имеют место боль-

шие градиенты для характеристик течения. В этом случае для решения задачи применяют асимптотические методы и так называемые «внутренние» и «внешние» разложения по малому параметру $1/\text{Re}$ [3, с. 450-452]. Можно считать, что используемый нами метод дает фактически «внешнее» решение.

С учетом сделанных предположений получим уравнение:

$$\left(\frac{\Phi(y_B^2 - y_A^2)}{2\cos^2 \alpha} - \frac{\Phi h(y_B - y_A)\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - S \frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} \right) u\alpha' - \Phi S u' - \left(\frac{\Phi(y_B - y_A)}{\cos \alpha} + S \frac{\partial \Phi}{\partial h} \right) u h' - f R_0 \Phi(y_B - y_A) u - \lambda R_0 (\varphi_B - \varphi_A) w = 0 \quad (18)$$

Список литературы: 1. Тищенко Л.Н. К построению математической модели процесса сепарации зернового вороха в барабанном скальператоре / Л.Н. Тищенко, С.А. Богданович // Машиностроение – основа технологического развития России: сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С.499-504. 2. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.1 / Г.М. Фихтенгольц. – М.: ГИТТЛ, 1951. – 696 с. 3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 727 с. 4. Константинов Ю.М. Гидравлика / Ю.М. Константинов. – К.: Вища шк., 1988. – 398 с.

УДК 534.1

ВБК – МЕТОД В РАСЧЕТАХ КОЛЕБАНИЙ ОСЦИЛЛЯТОРА ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Ольшанский В.П., докт. физ.-мат. наук

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П. Василенко)

Ольшанский С.В., канд. физ.-мат. наук

(Национальный технический университет «ХПИ»)

In elementary functions approximate analytical solutions of the equation of free oscillation of variable stiffness are built. Shown by calculations that, within certain limits, approximate solutions lead to results high accuracy in different types of change in stiffness of the oscillating system with one degree of freedom

Введение. В технике используют механизмы, жесткость элементов которых в ходе движения меняется с течением времени. Так при подъеме или опускании груза, подвешенного на тросе, меняется длина троса, а следовательно и его жесткость на растяжение или кручение. При движении тела по балке (тележки по стреле крана) изгибная жесткость балки зависит от места ее нагружения и меняется в ходе движения. К осциллятору переменной жесткости могут относиться и биосистемы, упругость которых, вследствие усталости мышц, зависит от длительности работы. Поэтому изучение особенностей колебаний в системах переменной жесткости относиться к актуальным научно-прикладным задачам.

При монотонном изменении жесткости колебания осциллятора описываются уравнениями с переменными (непериодическими) коэффициентами. В отдельных случаях, например при линейном и экспоненциальном изменениях жесткости, решения уравнений выражаются в функциях Бесселя [1], [2]. Но в общем случае решения уравнений не сводятся к известным специальным функциям. При соблюдении определенных ограничений их приходится решать аналитически асимптотическими методами [3], [4] или численно на компьютере. Но вместо них, для расчета линейных колебаний, можно также применить ВБК – метод [5], который распространен в физических исследованиях. В механике этот метод используют при решении отдельных задач в [6], [7]. Целью данной статьи является иллюстрация возможностей ВБК – метода при расчете свободных колебаний системы с одной степенью свободы, к которой часто сводится модель механизма в теории механизмов и машин.

Постановка и приближенное решение задачи колебаний. Свободные колебания осциллятора, при наличии силы вязкого трения, описываем дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} + \omega^2 f(t)x = 0. \quad (1)$$

В (1) $\mu = \frac{k}{m}$; $\omega^2 = \frac{c}{m}$; x – перемещение осциллятора массой m ; k – коэффициент вязкого трения; c – начальное значение коэффициента жесткости пружины; $f(t)$ – монотонная функция времени t , такая что $f(0) = 1$; $f(t) > 0$.

Уравнение (1) решаем при начальных условиях:

$$x(0) = x_0; \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = \dot{x}_0, \quad (2)$$

обозначив через x_0, \dot{x}_0 начальные отклонение и скорость осциллятора.

Принимая

$$x(t) = \exp\left(-\frac{\mu}{2}t\right) \cdot y(t), \quad (3)$$

после подстановки (3) в (1), получаем уравнение:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \left[\omega^2 f(t) - \frac{1}{4} \mu^2 \right] y = 0, \quad (4)$$

которое решаем приближенно методом ВБК. Согласно этому методу [5] фундаментальные решения y_1 и y_2 уравнения (4) определяются выражением

$$y_{1,2} = \exp\left(\int v_{1,2}(t) dt\right),$$

в котором

$$v_{1,2} = \pm i\omega \left(\sqrt{f(t)} - \frac{\mu^2}{8\omega^2} \frac{1}{\sqrt{f(t)}} \right) + O\left(\frac{1}{\omega^2}\right); i = \sqrt{-1}.$$

С учетом (3), это приводит к следующему приближенному решению задачи Коши:

$$y = \exp\left(-\frac{\mu}{2}t\right) \left[x_0 \cdot \cos(F(t)) + c \cdot \sin(F(t)) \right]. \quad (5)$$

Здесь

$$F(t) = \omega \int_0^t \sqrt{f(t)} dt - \frac{\mu^2}{8\omega} \int_0^t \frac{dt}{\int_0^t \sqrt{f(t)}}; \quad (6)$$

$$c = \frac{\dot{x}_0 + 0,5\mu x_0}{\omega - \frac{\mu^2}{8\omega}}.$$

Используя (5) и (6), определим колебания осциллятора при конкретных вариантах изменения его жесткости. Задавая различные $f(t)$, получаем различные $F(t)$, но при этом сохраняется форма решения (5).

1. Пусть жесткость является степенной функцией времени, для которой

$$f(t) = (1 + \gamma t)^{2\alpha},$$

причем $\alpha \geq 0$; $1 + \gamma t > 0$; $\gamma - const$.

При $\gamma > 0$ жесткость возрастает, а при $\gamma < 0$ – убывает.

Выполнив интегрирование согласно (6), находим:

$$F(t) = \frac{\omega}{\gamma(\alpha + 1)} \left[(1 + \gamma t)^{\alpha + 1} - 1 \right] - \frac{\mu^2}{8\omega\gamma(1 - \alpha)} \left[(1 + \gamma t)^{1 - \alpha} - 1 \right] \quad (7)$$

при $\alpha \neq 1$ и

$$F(t) = \frac{\omega}{2\gamma} \left[(1 + \gamma t)^2 - 1 \right] - \frac{\mu^2}{8\omega\gamma} \ln(1 + \gamma t) \quad \text{при } \alpha = 1.$$

В частном случае, когда $\alpha = 0$, предельным переходом $\alpha \rightarrow 0$, из (7) получаем

$$F(t) = \left(\omega - \frac{\mu^2}{8\omega} \right) t. \quad (8)$$

В случае точного решения этой задачи:

$$F(t) = \sqrt{\omega^2 - \frac{1}{4}\mu^2 t}.$$

Погрешность ВБК метода будет малой, когда $\omega^2 \gg \frac{1}{4}\mu^2$, так как

$$\sqrt{\omega^2 - \frac{1}{4}\mu^2} = \omega \left(1 - \frac{1}{8} \frac{\mu^2}{\omega^2} + O\left(\frac{\mu^4}{\omega^4}\right) \right).$$

2. Рассмотрим далее обобщенный гиперболический закон изменения жесткости, для которого

$$f(t) = \frac{1}{(1 + \gamma t)^{2\beta}}, \quad (9)$$

$\beta \geq 0$; $1 + \gamma t > 0$.

При $\gamma > 0$ – жесткость убывает, а при $\gamma < 0$ – возрастает.

Подставив (9) в (6), получаем

$$F(t) = \frac{\omega}{\gamma(1-\beta)} \left[(1+\gamma t)^{1-\beta} - 1 \right] - \frac{\mu^2}{8\omega\gamma(\beta+1)} \left[(1+\gamma t)^{\beta+1} - 1 \right], \quad (10)$$

когда $\beta \neq 1$ и

$$F(t) = \frac{\omega}{\gamma} \ln(1+\gamma t) - \frac{\mu^2}{16\omega\gamma} \left[(1+\gamma t)^2 - 1 \right], \text{ когда } \beta = 1.$$

Если $\gamma \rightarrow 0$, то последнее выражение переходит в (8).

Остановимся на двух примерах, где изменение жесткости подчиняется гиперболическому закону.

Пример 1. Подвешенный на тросе груз массой m совершает равномерное вертикальное движение со скоростью v . Приведенный модуль упругости троса E . Площадь поперечного сечения A . В момент начала движения (при $t=0$) трос имел длину l . Пренебрегая массой троса, определить вертикальные колебания груза, вызванные начальными возмущениями x_0 и \dot{x}_0 . Выше отмечали, что точное решение этой задачи выражается в функциях Бесселя [1]. Приближенными решениями этой задачи будут выражения (5), (10), когда в них положить: $\beta = 1/2$; $\omega = \left(\frac{EA}{ml} \right)^{1/2}$; $\gamma = \pm v/l$; знак “-” надо брать при подъеме груза, а знак “+” – при его опускании.

Выражения (5), (10) могут также описывать поворотные (угловые) колебания груза в горизонтальной плоскости, но при этом изменится формула вычисления ω . Если J_r – момент инерции груза, G – приведенный модуль сдвига троса, а i_0 – полярный момент инерции поперечного сечения, то $\omega = \left(\frac{Gi}{J_r l} \right)^{1/2}$.

В процессе таких колебаний трос подвергается кручению, за счет поворота груза на угол x .

Пример 2. Точечный груз массой m равномерно движется со скоростью v по горизонтальной консольной балке. Модуль упругости материала балки E , а J – момент инерции ее поперечного сечения. В момент начала движения груз находится на расстоянии l от заземленного края. Пренебрегая массой балки нужно определить вертикальные колебания груза, вызванные начальными факторами x_0 и \dot{x}_0 . Эти колебания приближенно будут описываться выражениями

(5), (10), когда в них положить: $\beta = 3/2$; $\omega = \left(\frac{3EJ}{ml^3} \right)^{1/2}$; $\gamma = \pm v/l$; знак “+” надо

брать при удалении груза от заземленного края балки, а знак “-” – при приближении груза к этому краю.

3. Далее рассмотрим третий вариант изменения жесткости. Пусть она меняется по показательному закону. Тогда

$$f(t) = \exp(\lambda t). \quad (11)$$

При $\lambda > 0$ жесткость осциллятора возрастает, а при $\lambda < 0$ – убывает.

Проинтегрировав (6), для зависимости (11), получаем

$$F(t) = \frac{\omega}{\lambda}(e^{\lambda t} - 1) + \frac{\mu^2}{8\omega\lambda}(e^{\lambda t} - 1). \quad (12)$$

Колебания осциллятора, как прежде, описываются решением (5), после подстановки в него выражения (12). Напомним, что точное решение этой задачи выражается в функциях Бесселя [2].

Анализ результатов расчета. Проведем сравнение результатов полученных численным интегрированием уравнения (1) с результатами, полученными с помощью приближенных решений (5), (6), (7), (10) и (12). Для этого примем следующие исходные данные: $m = 10$ кг; $\gamma = 0,05$ с⁻¹; $k = 10$ кг/с; $x_0 = 0,05$ м; $\dot{x}_0 = 0,1$ м/с; $\alpha = 0,75$; $\beta = 0,75$; $\lambda = 0,01$ с⁻¹.

В числителях табл. помещены перемещения осциллятора, полученные с помощью численного интегрирования уравнения (1) на компьютере, а в знаменателях – перемещения, вычисленные с помощью приближенных формул (5), (6), (7), (10) и (12), в заданные моменты времени t .

Результаты в таблице свидетельствуют о хорошей точности приближенных формул и эффективности применения ВБК – метода.

Таблица

Перемещения осциллятора в метрах, полученные двумя способами
при различных законах изменения его жесткости

t, c	Законы изменения $f(t)$		
	степенной	гиперболический	экспоненциальный
1	<u>0,0064</u>	<u>-0,0128</u>	<u>-0,0032</u>
	0,0065	-0,0126	-0,0031
2	<u>-0,0063</u>	<u>-0,0051</u>	<u>-0,0185</u>
	-0,0065	-0,0049	-0,0186
3	<u>-0,0031</u>	<u>-0,0047</u>	<u>-0,0106</u>
	-0,0032	-0,0045	-0,0105
4	<u>0,0025</u>	<u>-0,0003</u>	<u>0,0068</u>
	0,0026	-0,0003	0,0098
5	<u>0,0038</u>	<u>-0,0032</u>	<u>0,0038</u>
	0,0041	-0,0030	0,0036
6	<u>-0,0011</u>	<u>0,0024</u>	<u>-0,0025</u>
	-0,0012	0,0022	-0,0023
7	<u>-0,0002</u>	<u>0,0010</u>	<u>-0,0013</u>
	-0,0002	0,0009	-0,0011
8	<u>0,0001</u>	<u>-0,0004</u>	<u>0,0008</u>
	0,0001	-0,0004	0,0007

Выводы. Исследование показало, что используя ВБК – метод, с хорошей точностью можно приближенно решать и те задачи колебаний осцилляторов переменной жесткости, когда нельзя найти их точные аналитические решения в известных специальных функциях.

Список литературы: 1. Светлицкий В.А. Задачи и примеры по теории колебаний / В.А. Светлицкий – М.: Изд-во МГТУ, 1994. – 308 с. 2. Голоскоков Е.Г. Нестационарные колебания деформируемых систем / Е.Г. Голоскоков, А.П. Филиппов. – К.: Наукова думка, 1977. – 340 с. 3. Митропольский Ю.А. Нестационарные процессы в нелинейных колебательных системах / Ю.А. Митропольский – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 283 с. 4. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с. 5. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. / Э. Камке – М.: Наука, 1976. – 576 с. 6. Образцов И.Ф. Асимптотические методы в механике тонкостенных конструкций / И.Ф. Образцов, Б.В. Нерубайло, И.В. Андрианов. – М.: Машиностроение, 1991. – 416 с. 7. Найфэ А. Методы возмущений / А. Найфе. – М.: Мир, 1984. – 456 с.

УДК 621.318.5.002

ПЕРЕВАГИ ВИРОБНИЦТВА ВОГНЕСТІЙКИХ КАБЕЛІВ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ, ЯКІ НЕ МІСТЯТЬ ГАЛОГЕНІВ

Чижова О.В., магістр 2 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

This article deals with the main disadvantages of using PVC isolation in manufacturing cables. Manufacturing of fireproof cables with using isolation of polymer compositions, that don't contain halogens, is also suggested

Кабельні вироби призначені для передавання електричної енергії або інформації. Вони використовуються у різноманітних електричних, електронних, радіотехнічних та волоконно-оптичних схемах. Жодний сучасний технічний пристрій, робота якого пов'язана з використанням електрики, не може працювати без кабелів та дротів, які створюють системи електропостачання та керування роботою цього пристрою.

Конструкція кабельних виробів складається з струмопровідних жил, ізоляції, захисних покриттів та електричних екранів [4, с. 12]. За матеріалом ізоляції усі кабельні вироби можна поділити на такі групи: неізольовані дроти; кабелі та дроти з паперовою (просоченою та непросоченою) ізоляцією; кабелі, дроти та шнури з ПВХ-ізоляцією; кабелі, дроти та шнури з гумовою ізоляцією; емальовані дроти; дроти та кабелі з волокнистою та комбінованою ізоляцією.

Значним попитом на ринку кабельно-провідникової продукції користуються силові кабелі загального призначення на середню напругу (від 1 до 6 кВ) з пластмасовою ізоляцією. Силові кабелі такого типу призначені для експлуатації при температурі навколишнього середовища від -50 до +50 °С, є стійкими до тривалого впливу відносної вологості повітря до 98% при температурі до 35 °С. Допустиме нагрівання жил кабелів в аварійному режимі, що не перевищує 8 годин на добу та не більше 1000 годин за строк служби, не повинне перевищувати 80 °С [2, с. 30].

Полівінілхлорид як матеріал для ізолювання має ряд цінних характеристик, а саме достатню електричну міцність, невелику щільність, добру вологос-

тійкість, стійкість до впливу сонячної радіації та мікроорганізмів, а також прийнятні технологічні характеристики. Однак він має низку недоліків, а саме:

1. Низьку вогнестійкість, що унеможливує застосування кабелів з ПВХ ізоляцією у жилих домах, вогнебезпечних виробництвах та інших умовах, що вимагають від кабелів високої надійності

2. ПВХ ізоляція має порівняно низьку тривало допустиму температуру нагріву – 70 °С. Допустима температура нагріву струмопровідних жил є максимальною температурою, за якої ізоляційний матеріал не втрачає своїх властивостей протягом тривалого часу. Таким чином, допустимі струми навантаження, які може пропускати кабель з ПВХ-ізоляцією протягом тривалого часу недостатньо високі.

3. Важливою проблемою, з якою стикаються при закінченні використання ПВХ ізоляції, є складність його утилізації, під час якої виникають високотоксичні хлорорганічні сполуки, наприклад, діоксини, які є канцерогенами.

В сучасних кабельних комунікаціях обсяг та концентрація електричних кабелів значно зростає, що призводить до зростання ризику пожежі. Згідно до даних США, щорічні втрати від пожеж, викликаних займанням кабелів, сягають близько 6 млрд. доларів [2, с. 26]. Саме тому однією з актуальних проблем стає створення вогнестійких кабелів, які не розповсюджують горіння.

На сучасному етапі розвитку технології будівництва у Європі і в країнах СНД група вогнестійких кабелів починає користуватися високим попитом. Наприклад, з початку 2010 року в Україні почали діяти більш жорсткі норми та правила пожежної безпеки, які, окрім інших умов, наказують забезпечувати усі прилади, що відповідають за безпеку будівлі, вогнестійкими кабелями.

Вогнестійкі кабелі, відомі також як безпечні кабелі, широко використовуються в будівельній промисловості як частина протипожежних систем. Ці кабелі характеризуються обмеженим поширенням горіння під час пожежі, а також зменшеним виділенням диму, особливо корозійно-активних газів. Однак їх ключовою роллю в системі протипожежної безпеки є збереження здатності функціонування електричного кола під час пожежі протягом визначеного часу. Завдяки застосуванню вогнестійких кабелів мають безперебійно працювати системи оповіщення про пожежу, аварійне освітлення та інші життєво важливі пристрої протягом часу, необхідного для прибуття рятувальників та повної евакуації людей із будівлі. До останнього часу проблему вогнестійкості вирішували шляхом нанесення вогнезахисних покриттів на кабельні лінії, що давало змогу на окремих типах кабелів забезпечувати збереження працездатності ланцюгів до 20-30 хвилин, але цього зовсім недостатньо. Кардинально проблему вдається вирішити лише завдяки використанню спеціально розроблених для цієї мети вогнестійких кабелів. Пожежобезпечні кабелі вогнестійкого виконання мають в маркуванні додатковий індекс «FR» (fire resistance – стійкий до вогню). При розробці вогнестійких кабелів вирішується проблема не лише збереження працездатності при пожежі, але й забезпечення всього іншого комплексу вимог пожежної безпеки.

Найбільш придатними до використання вогнестійкими кабелями є кабелі з ізоляцією із полімерних композицій, які не містять галогенів. Такі кабелі при

загорянні не виділяють корозійно-активних газів, що дає змогу широко використовувати такі кабелі на об'єктах, оснащених електронною апаратурою.

Силові кабелі безгалогенного типу характеризуються порівняно низьким утворенням диму при горінні. Зниження пропускання світла під час горіння або тління не перевищує 20%, що дає змогу використовувати їх у таких фактично закритих спорудах, як метрополітен, де дим є найнебезпечнішим фактором пожежі. Під впливом полум'я на кабелі, створені з нових безгалогенних електроізоляційних матеріалів, відбувається ендотермічна реакція розкладання гідратів з виділенням води. Пари води, що виділилася, та горючі гази екранують поверхню кабелю від впливу кисню. Оксиди металів, що утворюються, створюють додатковий ізолюючий шар. Та невелика кількість газоподібних продуктів, які виділяються при горінні, не є корозійним-активним, а щільність диму та токсичність є невеликими [1].

Окрім використання ізоляції з безгалогенних полімерних композицій також потрібно використовувати додаткові вогнезахисні бар'єри з слою слюди (сполучення слюди зі склотканиною на основі кремнійорганічного лаку) зверху струмопровідної стрічки. Пропонується використовувати стрічки Елмікатекс 54509 вітчизняного виробництва, які являють собою електроізоляційну тканину зі скляних ниток як підкладки, силіцієорганічного зв'язувального та шару паперу зі слюди флогопіт [3]. Вогнезахисний бар'єр може бути розміщений і зверху осердя вогнестійких кабелів на напругу 1-6 кВ. Такі стрічки у сполученні з безгалогенною ізоляцією забезпечують ізоляційні властивості шару протягом тривалого часу під впливом полум'я.

При впровадженні виробництва запропонованої продукції на підприємстві треба враховувати необхідність закупівлі нового обладнання у випадку, коли недостатньо існуючого. Також, економічний ефект від впровадження технології залежить від собівартості полімерної композиції, що не містить галогенів, та загального попиту на таку продукцію підприємства. Попит на вогнестійкі кабелі наразі є високим та продовжує зростати, оскільки постійно оновлюються технічні регламенти для будівництва, за якими постає необхідність використовувати лише вогнестійкі кабелі. Значним попитом така продукція також буде користуватися у електростанцій, метрополітенів та ін.

Після випуску та реалізації перших партій продукції підприємство отримує певну частку ринку вогнестійких кабелів. Очікуваний розмір частки ринку залежить від ефективності проведення певних маркетингових заходів з реклами та просуванню нової продукції, згідно до існуючих переваг підприємства щодо якості, ціни, іміджу та країни походження покупців.

При виробництві вогнестійких кабелів основними затратними матеріалами є мідь або алюміній, склослюдєнітова стрічка, ПЕТ-Е плівка, крепірований папір, сталеві стрічки та полімерна композиція CONFill 6205. На основі даних про матеріальні затрати визначається загальна структура собівартості продукції. Також визначається орієнтовна сума витрат на маркетингові заходи необхідні на просування продукції. Ця сума входить у статтю «Інші операційні витрати» при розрахунку собівартості. Витрати на сертифікацію та отримання дозволів є одноразовими, які можуть скласти близько 150 тис. грн.

Виходячи з даних про заплановані обсяги реалізації та заплановану собівартість, визначається економічна ефективність та рентабельність випуску вогнестійких кабелів. У випадку наявності всього необхідного обладнання одноразовими витратами є лише сертифікація продукції та отримання дозволів, тож строк окупності лінії є мінімальним, а лінія починає приносити чистий прибуток вже протягом першого року використання. Отже, створення лінії для виробництва вогнестійких кабелів з використанням полімерних композицій, що не містять галогенів, є вигідним вкладенням коштів.

Таким чином, після проведення аналізу технології виробництва кабелів з ПВХ ізоляцією був виявлений ряд її недоліків, а саме висока горючість, токсичність при утилізації та порівняно низька температура експлуатації, що погіршує технічні характеристики кабелів. На основі даного аналізу було запропоновано виробництво та використання вогнестійких кабелів із використанням ізоляції з полімерних композицій, які не містять галогенів. Такі кабелі наразі користуються значним попитом як на ринку України, так і закордоном, тож їх випуск принесе значні прибутки виробнику кабельно-провідникової продукції.

Науковий керівник докт. техн. наук, проф. Новіков Ф.В.

Список літератури: 1. Информационно-аналитическое издание «Кабель». Материалы конференции «Полимерные материалы» / Joachim Kuckler, Piotr Weber, О.Н. Кузнецова. – Режим доступа: http://www.kabel-news.ru/netcat_files/90/100/mart_2010_Condor_compounds.pdf. 2. Ларина Э. Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии: Учебник для вузов / Э. Т. Ларина. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 464 с. 3. Официальный сайт группы компаний «Элмика». Каталог продукции – Режим доступа: <http://www.electroelmika.ru/catalog/izolyaciya/elrcrolenty/nepropolitannie/elmikatek> 4. Пешков И. Б. Кабели и провода. Основы кабельной техники / А. И. Балашов, М. А. Боев, А. С. Воронцов и др. Под редакцией Пешкова И. Б. – М.: «Энергоатомиздат», 2009. – 470 с.

УДК 662.641

К ВЫБОРУ МЕТОДОВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ РАЗГРУЗКИ СМЕРЗАЮЩИХСЯ ГРУЗОВ

Болобан А.К., студент 4 курса, **Савченко Н.Ф.**, канд. техн. наук
(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

A classification of existing methods for restoring free-flowing goods. Promising local decisions impact on the frozen zone array pulse methods are attributed to energy use of combustible gas mixtures.

В зимний период проблемы выгрузки различных сыпучих грузов приобретают особую актуальность, так как их проведение требует чрезвычайно большой трудоемкости, повышает длительность разгрузки вагонов в разы [1-4].

Механизированная разгрузка смерзающихся грузов возможна либо при наличии эффективной профилактики смерзания, либо на специализированных

разгрузочных комплексах с учетом физико-механических свойств грузов, объемов перевозок, а также климатических зон, где расположены пункты отправления и назначения грузов.

При поставке сыпучих грузов учитывается то, что территория бывшего СССР разделена на восемь климатических зон, в которые входят следующие районы:

I – Закавказье, Туркмения и Таджикистан;

II – западная часть Украины, Молдова, районы Одессы и Николаева, Крым, Северный Кавказ, Узбекистан и Киргизия;

III – западные районы Прибалтики и Белоруссии, юг Украины, Сальско-Маньчская низменность, юг Казахстана;

IV – восточные районы Прибалтики, Белоруссии и Украины, низовья Волги и Дона, районы Ар Крым.

Характеристики климатических зон, которые являются одним из определяющих факторов при выборе способа перевозки и разгрузки смерзающихся грузов, представлены в табл.

Таблица

Характеристики климатических зон

Климатическая зона	Отрицательная температура наиболее холодной пятидневки, °С	Продолжительность холодного периода года, мес.
I	5	1 – 2
II	10	2 – 3
III	15	3 – 4
IV	20	4 – 5

Существуют различные способы снижения трудоемкости выгрузки [1-4].

Для механического рыхления таких грузов применяют бурофрезерные установки, самоходные виброударные установки, виброрыхлители различных типов, установки экскаваторного типа.

В условиях устойчивых морозов эффективной мерой предохранения насыпных грузов от смерзания в вагонах в пути следования является предварительное (до погрузки) промораживание груза путем многократного пересыпания (перелопачивания) его массы экскаватором, скрепером, грейферным крапом или другим механизмом (механические методы). При этом необходимо, чтобы частицы груза возможно лучше обветривались наружным воздухом. Промораживание может считаться законченным после достижения в середине слоя пересыпаемого груза температуры минус 3 °С и ниже.

К химическим способам снижения трудоемкости выгрузки относятся методы пересыпания негашеной известью, солью, хлористым кальцием и др.

С целью разогрева смерзшихся грузов используют тепляки и другие обогревательные устройства (например, инфракрасные излучатели). Разогрев смерзшихся грузов, восстановление сыпучести грузов механическим рыхлением или другими способами, обеспечивающими выгрузку, следует вести в по-

рядке, предусмотренном инструкцией, утверждаемой организацией-грузополучателем.

Выбор различных профилактических средств (примесей, добавок, веществ, покрытий) против смерзания груза делает грузоотправитель в зависимости от рода груза, технологии выгрузки и последующего использования или переработки груза потребителем. При этом выбранные к применению средства профилактики не должны отрицательно влиять на подвижной состав, а также на качество и свойства перевозимого груза, предусмотренные соответствующими ГОСТами или техническими условиями на продукцию.

Особое распространение получают физико-термические методы. Интересное решение для восстановления сыпучести смерзшегося угля предложено авторами [3], где в комплексе используется электрогидроимпульсный эффект (эффект Юткина). Данный эффект возникает при инициировании с помощью емкостного накопителя электрического разряда в ионопроводящей жидкости, который сопровождается возникновением ударных волн, способных выполнять механическую работу, например, восстанавливать сыпучесть смерзшегося угля.

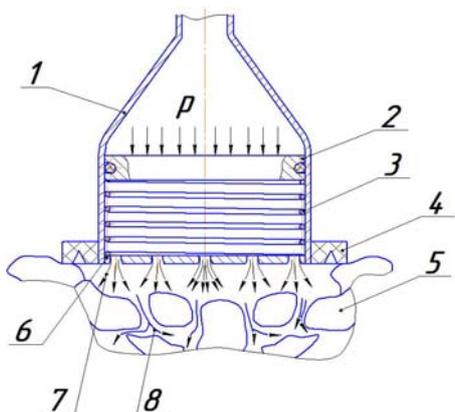


Рис. 1. Схема импульсного дробления массива щебня

1- импульсная камера установки; 2 - поршень; 3 - пружина для удержания поршня и фиксации его положения (фиксатор не показан); 4 - эластичная опора; 5 - щебень; 6 - основание с форсунками; 7, 8 - термо-, абразивные потоки высокоскоростных струй).

В качестве энергоносителя применяется горючая газовая смесь (стехиометрические). Поджиг горючей газовой смеси, ее горение и последующая детонация осуществляются в импульсной камере малогабаритной и мобильной установки, разработанной в ХНЭУ [4]. Благодаря небольшой массе предлагаемой установки и высокой ее мобильности она может быть легко менять свое положение в вагоне, на площадке открытого хранения щебня. Это сможет обеспечивать термоимпульсное оплавление ледяных пленок, соединяющих гранулы щебня. При этом вовлеченные в распространяющемся высокоскоростном потоке частицы воды, испаряясь, как клин, раздвигают частицы щебня, разрыхляют массив. Температура газового потока достигает 800 - 1200⁰С.

Их преимуществом можно считать низкие капитальные затраты, возможность использовать в качестве энергоносителей различные газовые горючие

смеси (ацетилен-кислород (или воздух), пропан-кислород, смеси паров бензина и др.), возможность изменения в широких диапазонах параметров нагрузки.

Список литературы: 1. Матасов С.Ф. Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам / С.Ф. Матасов, Л.М. Куртунов, А.С. Хорунжий. – М.: Metallurgy, 1974. – 248 с. 2. Комплексная механизация погрузочно-разгрузочных работ с навалочным грузом. Режим доступа: <http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/SPM/KMPRR/> 3. Пат. 120633 Российская Федерация: МПК В65G67/24. Разгрузочный комплекс / Ким К. К., Шпилев М. А.; опубл. 27.09.12. Бюл. № 27. 4. Савченко Н.Ф. Устройство для детонационной газовой штамповки. – А.С. №1804934, В21Д 26/08, 04.04.90 г.

УДК 339.138

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МАРКЕТИНГОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ПРИКЛАДІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІЗИТОК

Марченко К.Ю., студентка 4 курсу, **Савченко М.Ф.**, канд. техн. наук (Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

The article discloses the relevance of using business cards as an effective marketing tool. 3D-printing is considered as the most effective tool to increase sales of goods and services of different companies, which provides the most powerful and the long-term impact on the consumer.

Для кожного підприємства важливим питанням є розробка та впровадження ефективної технології, яка б у повній мірі відповідала обраній стратегії. В умовах ринкових відносин роль технологічного розвитку підвищується, тому що своєчасна заміна технології забезпечує конкурентоспроможність підприємства [1, 2].

Для рекламного бізнесу візитка є одним з найважливіших видів поліграфічної продукції. В минулому візитка була частиною етикету для вузького кола людей, сьогодні – це обов'язковий атрибут кожної ділової людини для обміну координатної інформації з партнерами.

В залежності від бажання та фінансових можливостей візитка може виконувати цілком великі можливості: надавати інформацію про людину чи компанію, про товари та послуги, бути «обличчям» компанії, її гідним представником, який виконує не тільки інформаційні, але й і іміджеві функції. Візитка – це ефективний засіб маркетингу [3].

Сьогодні конкуренція і постійний пошук нових ефективних рекламних рішень швидко популяризували об'ємні та анімовані зображення. 3D-поліграфія – найбільш ефективний на сьогоднішній день інструмент для збільшення продажів продуктів і послуг різних компаній, який надає найбільш потужне і довгостроковий вплив на споживача. Зображення з різними візуальними ефектами – новий вид рекламних носіїв, який має величезний потенціал і можливості.

Стерео-варіотехнологія – це друк повнокольорових об'ємних зображень, які дозволяють передавати не тільки об'єм на плоскій поверхні, але і створювати ілюзію руху або бачити кілька різних фігур при зміні кута зору (стерео –

об'ємне зображення, варіо-ефект зміни картинок). Ефекти можуть бути найрізноманітнішими:

- псевдо-стерео – після спеціальної обробки композиція набуває ефект глибини, при цьому вихідні зображення залишаються плоскими;
- псевдо-об'єм – відрізняється від плоского псевдо-стерео тим, що плоскі об'єкти, що зберігаються в шарах, здобувають об'ємний вигляд;
- стерео фото зйомка декількох послідовних кадрів – метод багато ракурсів фотозйомки (досить швидкий і дає найбільш передбачувані результати);
- моделювання в спеціальних 3D-програмах – глибина і реалістичність зображень, підготовлених за допомогою моделювання в спеціальних 3D-програмах, як правило, вище, ніж у псевдо-стерео і псевдо-об'ємних композицій, це найдорожчий спосіб репродукування стереозображень, що дозволяє відтворювати об'єкти, недоступні для фотографування;
- варіо-ефект – заміщення одного кадру іншим на фрагментах зображення або по всій його площі;
- морфінг – один об'єкт зображення трансформується в інший (кадри плавно змінюють один одного) (рис.1);



Рис. 1. Ефект морфінгу

- зуммерування – полягає в тому, що один або декілька об'єктів то збільшуються, то зменшуються в розмірах, цей ефект також використовується і в анімації (пульсуюче серце; автомобіль, що наближається і т.п.).

Стерео-варіо зображення, які використовуються в рекламній поліграфії, дають можливість якісно підвищити ефективність реклами за рахунок більш високого ступеня залучення уваги споживача і більш ефективною фіксації його уваги на об'єкт реклами.

Згідно численним маркетинговим дослідженням тривимірні та анімовані зображення мають ряд переваг: ефективніше залучають і на тривалий час фокусують на собі увагу потенційного покупця; істотно збільшують контраст сприйнятого якості серед конкуруючих пропозицій; дозволяють підвищити час спостереження за візуальною інформацією і забезпечують отримання якісно інших емоційних вражень; покращують сприйняття інформації завдяки яскравості, ясності, глибині, динаміці і реалізму зображень; мають більшу реалістичність, сприяючи створенню міцного асоціативного зв'язку з рекламованим продуктом; збільшують продажі, глибше зв'язуючись із споживачем на емоційному рівні [1].

Ринкова ціна широкоформатного друку стерео-варіо вельми висока і в середньому складає 20 грн. за одиницю. Це обумовлено технологічною складністю підготовки і виготовлення, новизною і своєрідною елітарністю цього рекламного носія. Однак цінова тенденція тут та ж, що і при друку звичайних широкоформатних зображень: чим крупніше замовлення – тим більше знижка. Слід зазначити, що завдяки кращому залученню уваги споживачів у разі друку стерео-варіо, вкладені рекламу кошти окупляться швидше і надійніше, ніж у випадку традиційного друку.

Таким чином, зображення з різними візуальними ефектами – новий вид рекламних носіїв, який має величезний потенціал і можливості.

Список літератури: 1. Київська друкарня стерео-варіо. – Режим доступу: <http://www.art-3d.net> 2. Найденко О.Є. Оцінка відповідності технології виробництва стратегії підприємства / О.Є. Найденко. – Харків: ХНЕУ, 2005. – 400 с. 3. Поліграфічні послуги друкарні. – Режим доступу: <http://www.alkor-4.ru>

УДК 621.793

ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВОЇ СУМІШІ У ЯКОСТІ ЗАХИСНОГО ГАЗУ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

Крюк А.Г., канд. техн. наук, **Осикова А.М.**, магістр 2 курсу
(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

It is shown that welding argon can receive a greater number of weld metal per unit time, and the metal loss due to sputtering, and therefore labor costs for removal spray less than when welding carbon dioxide

Зварювання в захисних газах є одним зі способів дугового зварювання. Відомі наступні різновиди зварювання в захисному газі: в інертних одноатомних газах (аргон, гелій), у нейтральних двоатомних газах (азот, водень) та у вуглекислому газі. У практиці найбільш широке застосування одержало зварювання у вуглекислому газі.

З кожним роком все більша кількість промислових підприємств, на яких застосовуються зварювальні роботи, починають використовувати зварювання в середовищі захисних газів, про це свідчить аналіз ринку обладнання для дугового зварювання плавленням. За останнє десятиліття частка зварювання в захисних газах зросла з 64% до 75,7%. Якщо розглядати застосування зварювальних газів тільки з точки зору отримання найкращого захисту реакційного простору зварювальної дуги від зовнішнього повітря, то оптимальним захисним газом буде аргон. Аргон важчий за повітря (густина 1,78 кг/м³), володіє низьким потенціалом іонізації (15,7 В), не вступає в хімічні взаємодії з іншими елементами і в достатніх кількостях міститься у вільному вигляді (0,9325% об., або 0,00007% ваг.), що дозволяє отримувати його з повітря в ректифікаційних установках. В даний час аргон широко застосовується в якості захисного газу при зварюванні алюмінієвих сплавів і високолегованих сталей (особливо нержавію-

чих хромонікелевих). Однак при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей основних структурних класів на ПАТ «Завод «Червоний Жовтень» основним захисним газом залишається вуглекислий газ CO_2 . Між тим застосування аргону дозволяє підвищити температуру зварювальної дуги, що покращує проплавлення зварного шва, збільшуючи продуктивність зварювання в цілому. При цьому проплавлення набуває «кинджальної» форми, що дозволяє виконувати однопрохідні зварювання в щільному металу великої товщини, який обробляється. При зварюванні в середовищі аргону мінімізується вигорання активних легуючих елементів, що дозволяє використовувати більш дешеві зварювальні дроти [1]. Вуглекислий газ має високу щільність і сам по собі здатний забезпечити якісний захист реакційного простору, його потенціал іонізації, рівний 14,3 В, це дає можливість використовувати при зварюванні ефект дисоціації молекул вуглекислого газу на оксид вуглецю CO і вільний кисень [2]: $\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \text{O}$. У якості захисної газової суміші для зварювання плавким електродом у всіх промислово розвинених країнах давно вже не застосовують чистий вуглекислий газ. Підвищення продуктивності зварювальних робіт при застосуванні газових сумішей становить не менше 30-50%. Наприклад, застосування газових сумішей при напівавтоматичному зварюванні металу, що підлягає подальшому фарбуванню, не вимагає подальшої зачистки зварного шва і біляшовної зони [3]. Зварений шов виходить форми і чистоти цілком придатної для подальшого фарбування. Це забезпечує значне підвищення продуктивності праці при подальших роботах зі звареними виробами на підприємстві.

У табл. 1 наведені дані, які показують вплив газової суміші на параметри зварювання: струм зварювання $I_{зв}$; напруга дуги U_d ; кількість наплавленого металу в одиницю часу Q ; коефіцієнт втрат металу на розбризкування ψ ; коефіцієнт забризкування $A_{нб}$, який визначає трудовитрати на видалення бризок з поверхні зварюваних деталей.

Проаналізувавши дані наведені у табл. 1 можна зробити висновок, що зварювання в середовищі аргону дасть можливість отримувати більшу кількість наплавленого металу в одиницю часу, при цьому втрати металу на розбризкування, а відповідно і трудовитрати на видалення бризок менше ніж при зварюванні із застосуванням вуглекислого газу. Але варто звернути увагу на результат від застосування суміші 78% Ar, 20% CO_2 і 2% O_2 , який представлено в табл. 2 [3].

Таблиця 1

Вплив газової суміші на параметри зварювання

Захисний газ	$I_{зв}$, А	U_d , В	Q , кг/год.	ψ , %	$A_{нб}$, %
CO_2	200 – 210	22 – 23	2,3	4,7	1,5
	300 – 310	30 – 33	4,3	6,7	2
82% Ar + 18% CO_2	200 – 210	24 – 25	3,7	3,8	0,3
	300 – 310	30 – 31	6	2,9	0,3
78% Ar + 20% CO_2 + 2% O_2	200 – 210	25 – 26	3,7	3,2	0,2
	300 – 310	30 – 31	6	2,9	0,2
86% Ar + 12% CO_2 + 2% O_2	200 – 210	21 – 22	3,1	1,4	0,2
	300 – 310	29 – 30	4,4	0,5	0

Порівняння параметрів зварювання при використанні CO₂
та суміші 78% Ar + 20% CO₂ + 2% O₂

Параметри зварювання	При використанні CO ₂	При використанні суміші 78% Ar + 20% CO ₂ + 2% O ₂
Кількість наплавленого металу в одиницю часу, кг/год	2,3 – 4,3	3,7 – 6
Коефіцієнт втрат металу на розбризкування, %	4,7 – 6,7	2,9 – 3,2
Коефіцієнт набризкування, що визначає трудовитрати на видалення бризок з поверхні зварювальних деталей, %	1,5 – 2	0,2

З порівняння параметрів зварювання видно, що при використанні суміші обсяг наплавленого металу в одиницю часу перевершує результат при використанні аргону, а втрати металу на розбризкування менше ніж при використанні вуглекислого газу, а отже зменшилися і трудовитрати на видалення бризок з поверхні зварювальних деталей, ніж при використанні вуглекислого газу, що свідчить про більш доцільне використання суміші 78% Ar + 20% CO₂ + 2% O₂. Далі розрахуємо економію від запропонованого заходу. При застосуванні зварювання в однакових умовах з використанням різних захисних газів будуть отримані наступні результати: за 60 хвилин зварювання із застосуванням в якості захисного газу CO₂ витрачається 960 л газу, при застосуванні газової суміші яка складається з 78% Ar, 20% CO₂ і 2% O₂ на таку ж роботу необхідно 43 хвилини, відповідно витрачається 688 л суміші. Середня ціна CO₂ становить 2,6 грн/л, а вартість готової суміші 3,5 грн/л, відповідно вартість захисного газу при такому зварюванні буде визначатися за формулою:

$$C_{в\ газу} = V \cdot Ц, \text{ грн}; \quad (1)$$

$$C_{в\ CO_2} = 960 \cdot 2,6 = 2466,15 \text{ грн}; \quad (2)$$

$$C_{в\ суміші} = 688 \cdot 3,5 = 2422,65 \text{ грн}; \quad (3)$$

де V – необхідний обсяг захисного газу; Ц – ціна 1 л захисного газу.

Економія E₁ при використанні суміші буде наступною:

$$E_1 = 2466,15 - 2422,65 = 43,5 \text{ грн}. \quad (4)$$

Витрата електроенергії на зварювання в загальному вигляді визначаються за формулою [3]:

$$E_{сб} = U \cdot J \cdot t / (q \cdot 1000), \text{ кВт. год}, \quad (5)$$

де U – напруга зварювальної дуги, що приймається за технологічним режимом, В; J – сила струму (визначається виміром), А; T – час горіння дуги, год.; q – ККД джерела живлення дуги (0,8);

Необхідна кількість електроенергії для даної зварювальної операції E_{св CO₂} буде складати:

$$E_{св\ CO_2} = 12 \text{ кВт/год} [300 \cdot 32 \cdot 1 / (1000 \cdot 0,8)]; \quad (6)$$

$$E_{св\ суміші} = 300 \cdot 32 \cdot 0,71 / (1000 \cdot 0,8) = 8,6 \text{ кВт/год}. \quad (7)$$

Економія електроенергії E₂ при використанні сумішей складе:

$$E_2 = (12 - 8,6) \cdot 0,671 = 2,28 \text{ грн/год}. \quad (8)$$

Загальна економія складе:

$$E_{\text{заг/год}} = 2,28 + 43,5 = 45,78 \text{ грн/год.} \quad (9)$$

Розраховані показники зведено у табл. 3 для визначення ефективності використання газових сумішей в якості захисного газу.

Таблиця 3

Вихідні дані для розрахунку ефекту при застосуванні газових сумішей

№ з/п	Витрати	До	Після	Відхилення (+;-)
		CO ₂	Суміш 78%Ar+20%CO ₂ +2%O ₂	
1	Витрати часу на зварювання, хв	60	43	-17
2	Захисний газ, л/60 хв	960	688	-272
3	Ціна, грн/л	2,6	3,5	0,9
4	Електроенергія, кВт/год	12	8,6	-3,4

При використанні газових сумішей (що складаються з 78% Ar, 20% CO₂ і 2% O₂) час зварювання скорочується з 60 хвилин до 43 хвилин, а економія буде становити 45,78 грн/год. Отриманий ефект свідчить про економічну доцільність запропонованих заходів та забезпечить досягнення позитивних зрушень.

Список літератури: 1. Резницкий А. М. Ремонт и наладка электросварочного оборудования / А.М. Резницкий, В.С. Коцюбинский. – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 3. Чернышов Г. Г. Сварочное дело: Сварка и резка металлов: Учебник для нач. проф. образования / Г.Г. Чернышов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с.

УДК 621.923

ЕФЕКТИВНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОАБРАЗИВНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ РОЗПИЛЮВАННЯ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ

Шустова К.В., магістр 2 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

The technology of extraction of natural facing stone-jet units, the comparative analysis of existing methods of separating blocks of the array jet technology by its advantages and disadvantages compared to other methods of extraction of stone, and set out the main lines of this technology.

Україна має близько 5 % світових ресурсів природного декоративного каменю, займаючи при цьому лише 0,4 % площі світової суші. Майже одна третина (200 тис. км²) території держави припадає на Український щит, який складається переважно з унікальних за своїми забарвленням та текстурним малюнком гранітів, діоритів, лабрадоритів, габро та інших різновидів гірських порід. Власна сировинна база України сприяє розвитку каменеобробної промисловості. Каменеобробна промисловість України забезпечує щорічне виготовлення

1,8–2,1 млн. м² облицювальних плит і різних виробів з каменю. Номенклатура кам'яної продукції в Україні з кожним роком розширюється. Основним її видом залишаються облицювальні плити. Збільшуються обсяги виготовлення архітектурно-будівельних, ритуальних, дорожньо-будівельних, художньо-естетичних кам'яних виробів.

Виходячи з існуючого парку розпилувального обладнання в Україні, для кожного типу обладнання існує мінімальна межа об'єму блока, нижче якої його розпилювання стає збитковим. Крім того, конкретна довжина, ширина і висота блока в певній мірі впливають на показники ефективності розпилювання. Мала вивченість оптимальних лінійних розмірів блока природного декоративного каменю для канатного типу розпилувальних верстатів призводить до зниження продуктивності даних типів верстатів. Метою даної роботи є дослідження оптимальних лінійних розмірів блоків для розпилювання канатними верстами, що призведе до підвищення продуктивності даного розпилювання.

Дослідженнями в області вдосконалення технології розпилювання каменю та розробкою оптимальних режимів розпилювання займалися такі вчені, як: Сичов Ю.І., Берлін Ю.Я. [1, 2, 3], Давтян К.Д., Левковський Г.Л. [4], Орлов А.М. [5], Бакка М.Т., Ільченко І.В. [6] та інші.

В основі технології гідроабразивного різання лежить принцип ерозійного впливу суміші високошвидкісного водяного струменя, що виступає в якості носія, і твердих абразивних частинок на оброблюваний матеріал.

Фізична суть механізму гідроабразивного різання полягає у відриві і віднесенні з порожнини різучих частинок розрізаного матеріалу швидкісним потоком твердофазних частинок. Стійкість витікання й ефективність впливу двофазної струменя забезпечуються оптимальним вибором цілого ряду параметрів різання, включаючи тиск і витрата води, що подається, а також витрата і розмір часток абразивного матеріалу.

На сьогодні відомі три основні виробники гідроабразивних установок: “Pellegrini” (Італія) випускає установки марки “PelJet”, “WaterJet s.r.l.” (Італія) – “QuarryJet”, “NED corp.” (США) – “Ned-Jet 2000”.

Технічна характеристика установок наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Технічна характеристика установок

Марка установки	“Ned-Jet 2000“	“QuarryJet”	“PelJet”
Витрата води, л/хв	23-27	7,2	18-22
Тиск подачі води, МПа	276	-	220
Потужність дизельного двигуна, кВт	150	110	118
Ширина різки, мм	44-76	60	44-64
Глибина різки, м	4,6	4	3,6
Довжина різки без переміщення установки, м	6,1	7	9
Габарити, м	2,5×2,5×1,85	2,5×2,0×2,2	–
Маса, кг	3175	4000	–

Гідроабразивне різання або як її називають водоабразивне різання, різка водою, акварезка, різка waterjet (Ватерджет) – все це сучасна технологія різання

матеріалу за допомогою водяного струменя високого тиску с абразивом. Насос високого тиску подає воду під тиском до 4130 атмосфер в самоналаштовану ріжучу головку верстата, керовану від системи ЧПУ. Вода, проходячи через складну систему каналів, перемішується з абразивним піском і зі швидкістю 1200 м/с, викидається через фокусуючу трубку (діаметр 1 мм) тонким струменем, здатної вирізати будь-які форми.

Цей високошвидкісний водоабразивний струмінь і використовується в якості універсального ріжучого інструменту. Після різання матеріалу залишкова енергія струменя гаситься спеціальною водяною пасткою.

Ріжуча головка встановлюється на пристрої позиціонування координатного столу і може переміщатися за допомогою електроприводів за трьома координатами з робочими ходами, зумовленими габаритами координатного столу.

Гідроабразивне обробка є не тільки альтернативою механічної, лазерної, ультразвукової та плазмової різанні, але і в деяких випадках (різка багатшарових, стільникових і композиційних матеріалів, кераміки) єдино можливою.

Гідроабразивне різання особливо ефективно при різанні багатьох важкооброблюваних матеріалів: природний камінь, натуральний і штучний граніт і мармур, кераміка, металокераміка, керамограніт, керамічна плитка, кахель, чорні метали і сплави, в тому числі важко оброблювальні (тверді і магнітні сплави, титан, корозійностійкі та жароміцні сталі), неіржавіюча сталь, алюміній, латунь, мідь, бронза, цирконій, полімерні матеріали, вінілпласт, оргскло, пластик, пінопласт, фольгована і металізована пластмаса, композитні матеріали, та ін. При гідроабразивному різанні не створюється розривів у структурі матеріалу, який, таким чином, зберігає свої первинні властивості.

Гідроабразивне струмінь не змінює фізико-механічні властивості матеріалу і виключає деформацію, оплавлення і пригорання матеріалу.

Перевагами технології гідроабразивного різання є:

- універсальність;
- низька температура в зоні різку 60-90 °С;
- висока точність різання по контуру;
- якість поверхні різку;
- економічність процесу;
- екологічна чистота і повна відсутність шкідливих газівиділень;
- повна пожежо- і вибухобезпечність.

Таким чином технологія гідроабразивного різання дає можливість використання однієї і тієї ж установки для різання широкого спектру матеріалів, без зміни або переналагодження ріжучого інструменту. Діапазон товщини розрізування матеріалів від 0,1 до 300 мм. Тепло яке утворюється в процесі різання практично відразу несеться водою. У результаті не відбувається помітного підвищення температури заготовки, що забезпечує по суті «холодний» різ всіх матеріалів.

Технологія гідроабразивного різання поряд з досить високою швидкістю різання широкого діапазону товщини різних матеріалів дозволяє додатково підвищити продуктивність за рахунок: скорочення кількості або повного виклю-

чення супутніх технологічних операцій (зміна або переналагодження ріжучого інструменту, подальша механічна обробка деталі); економії часу на механічне закріплення заготовки на координатному столі; зменшення часу холостого ходу ріжучої головки, внаслідок можливості різання тонколистових матеріалів в багат шаровому пакеті. Крім усього перерахованого вище, використання гідроабразивної технології дозволяє значно зменшити втрати матеріалу при різанні, як за рахунок малої ширини різку, так і за рахунок скорочення припусків на додаткову механічну обробку.

Науковий керівник докт. техн. наук, проф. Новіков Ф.В.

Список літератури: 1. Сычев Ю.И. Распиловка камня / Ю.И. Сычев, Ю.Я. Берлин. – М.: Стройиздат, 1989. – 320 с. 2. Сычев Ю.И. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню / Ю.И. Сычев, Ю.Я. Берлин. – М.: Стройиздат, 1985. – 312 с. 3. Берлин Ю.Я. Материаловедение для камнеобработчиков / Ю.Я. Берлин, Ю.И. Сычев. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 176 с. 4. Давтян К.Д. Технология алмазно-канатного пиления и комплексное использование минерального сырья / К.Д. Давтян, Г.Л. Левковский / Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. – М.: ИКОН РАН, 2004. – 288 с. 5. Орлов А.М. Добыча и обработка природного камня / А.М. Орлов. – М.: Стойиздат, 1977. – 350 с. 6. Бакка Н.Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений: Справочник / Н.Т. Бакка, И.В. Ильченко. – М.: Недра, 1992. – 303 с.

УДК 551.594

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРАЖЕНИЯ СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА

Петков А.А., докт. техн. наук
(Национальный технический университет «ХПИ»)

This paper discusses the experimental data on shock lightning rod long spark discharge. Shows the dependence of the probability of hitting the distance to the start of the discharge

В настоящее время уделяется значительное внимание экспериментальным исследованиям защитных свойств стержневых молниеотводов [1–4], которые являются одним из основных средств защиты различных объектов от прямого поражения разрядом молнии [2]. Одним из аспектов этих исследований является установление взаимосвязи между вероятностью поражения стержневого молниеотвода и расстоянием от его вершины до точки начала финального разряда длинной искры, имитирующей разряд молнии. Данные такого рода необходимы также для оценки вероятности поражения стержневых объектов типа башен, прожекторных мачт и др.

На рис. 1 представлена схема испытаний для определения вероятности поражения стержня, установленного на проводящей плоскости, которая была реализована на экспериментальной базе НИПКИ «Молния» [3]. При фиксированном расстоянии R проводилась серия разрядов длинной искры с потенци-

ального электрода на заземленный стержень, имитирующий молниеотвод. По результатам отработки серии разрядов подсчитывалось количество поражений стержня и заземленной плоскости и далее определялась вероятность поражения стержня при данном R , как отношение количества поражений стержня к общему количеству поражений стержня и заземленной плоскости.

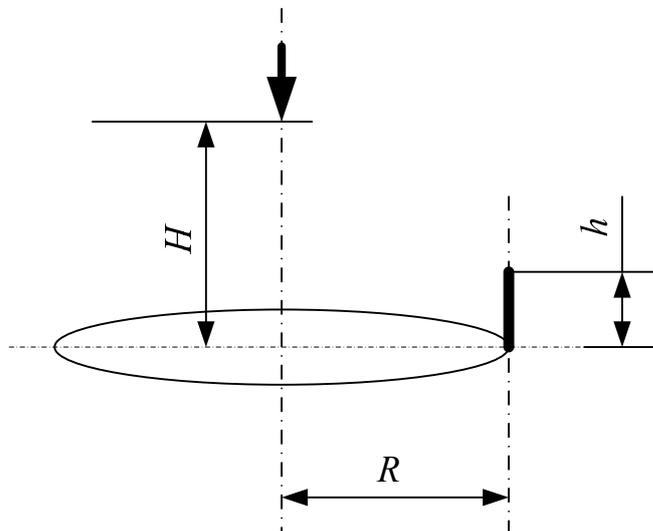


Рис. 1. Схема испытаний стержня, установленного на проводящей плоскости

Высота подвеса потенциального электрода, с которого развивается разряд длинной искры, в экспериментах была фиксированной и определялась возможностью пробоя воздушного промежутка импульсом напряжения, формируемым штатным генератором импульсов напряжения, имеющимся на экспериментальной базе. На рис. 2 показана зависимость вероятности поражения стержня при следующих параметрах поле образующей системы: высоте подвеса потенциального электрода $H = 3$ м и высоте стержневого электрода $h = 0,3$ м.

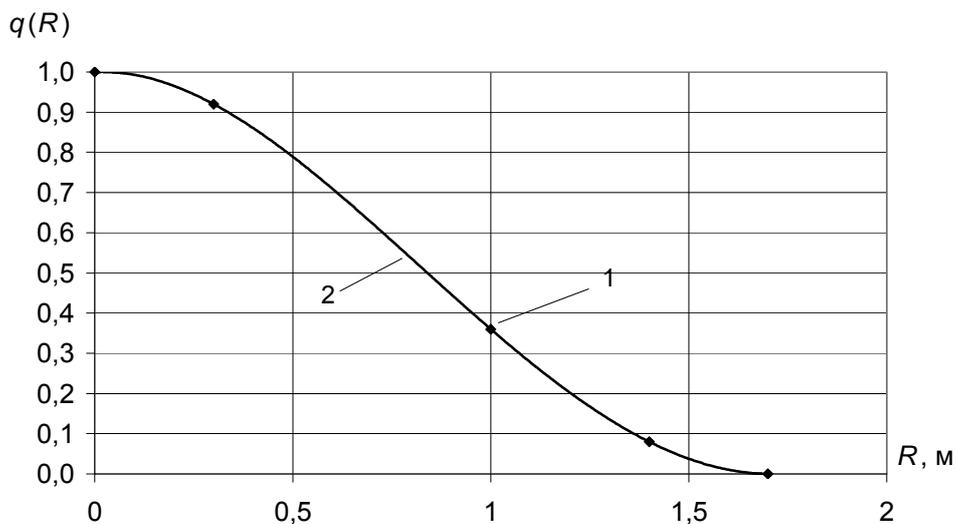


Рис. 2. Зависимость вероятности поражения стержня при $H = 3$ м, $h = 0,3$ м

На рис.2 представлены экспериментальные данные 1 и аппроксимирующая их зависимость 2, которая имеет вид

$$g(r) = -0,04R^4 + 0,555R^3 - 1,2R^2 + 0,044R + 1. \quad (1)$$

На рис. 3 показана зависимость вероятности поражения стержня при следующих параметрах поле образующей системы: высоте подвеса потенциально-го электрода $H = 3$ м и высоте стержневого электрода $h = 0,15$ м.

Приведенные на рисунке экспериментальные данные 1 аппроксимируются зависимостью (2), которая имеет вид

$$g(r) = 0,95R^3 - 1,82R^2 - 0,0086R + 1. \quad (2)$$

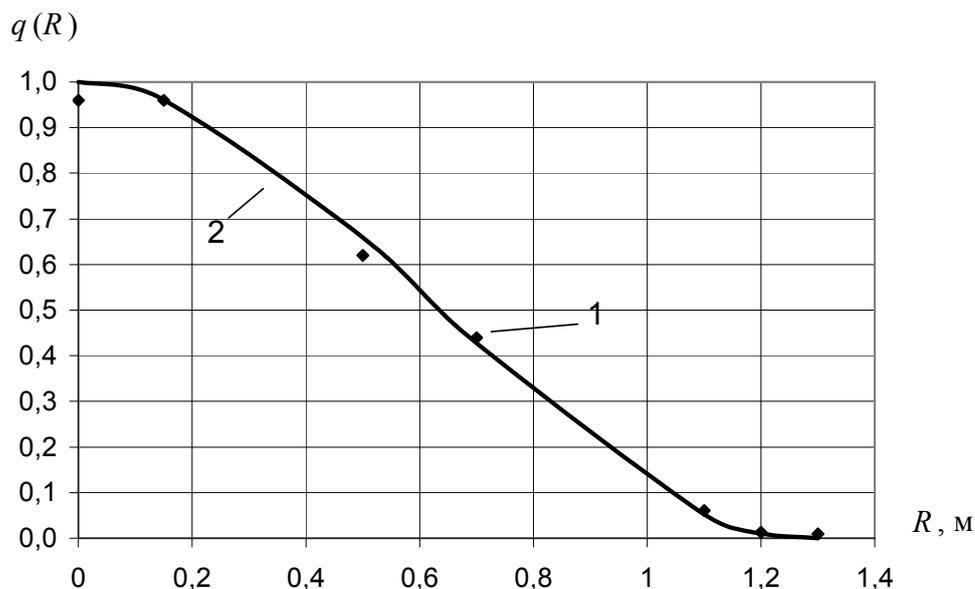


Рис. 3. Зависимость вероятности поражения стержня при $H = 3$ м, $h = 0,15$ м

Как видно из рисунков максимальное значение расстояния R , при котором еще происходит разряд длинной искры на стержень, составляет: для варианта $H = 3$ м, $h = 0,3$ м – $R_{\max} = 1,7$ м; для варианта $H = 3$ м, $h = 0,15$ м – $R_{\max} = 1,3$ м. Полученные в работе данные при использовании теории подобия [5] позволяют корректировать зоны защиты стержневых молниеотводов, рекомендуемых в [2]. Совместное использование данных по определению вероятности появления поражающего разряда молнии в районе расположения стержневого объекта [4] и результатов, полученных в настоящей работе, позволит более достоверно определять вероятность поражения стержневых объектов (башни, мачты и т.п.), чем это предлагается в действующем нормативном документе по молниезащите [6].

Список литературы: 1. 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. 2. Стандарт ИЕС 62305-1, Ed. 1: Protection against lightning – Part 1: General Principles. – ИЕС, 2003. – 61 Р. 3. Экспериментальные исследования поражения заземленной плоскости и размещенных на ней объектов электрическим разрядом в длинном промежутке / [Баранов М.И., Доценко В.И., Зиньковский В.М. и др.] //

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – №27. – С. 11 – 20. 4. Петков А.А. Вероятность появления поражающего разряда молнии в районе расположения стержневого объекта / А.А. Петков // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2014. – №12. – С. 115 – 121. 5. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) / В.А. Веников, Г.В. Веников. – М.: Высш. школа, 1984. – 439 с. 6. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (ІЕС 62305:2006, NEQ): ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 48 с. – (Національний стандарт України).

3. ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 33.330.3

УПРАВЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Бенин Е.Ю.

(ООО “Научно-производственное объединение “Свет шахтера”, г. Харьков)

The results of theoretical and experimental research in the production costs of engineering products, the possibility of cost management

Современное развитие машиностроительного производства невозможно без применения новых наукоемких технологий, высокопроизводительного оборудования и инструментов, поскольку они позволяют в 10 и более раз повысить производительность труда, существенно снизить себестоимость обработки и обеспечить высококачественное изготовление изделий. По сути, модернизация предприятий является основным направлением интенсификации производства и создания конкурентоспособной машиностроительной продукции. В связи с этим возникает проблема эффективного использования нового оборудования и инструментов, т.к. при неправильной (неоптимальной) их эксплуатации может быть получен отрицательный результат вследствие того, что они весьма дорогостоящи и поэтому требуют максимального использования потенциальных возможностей. Исходя из этого, целью работы является обоснование условий снижения себестоимости обработки при использовании современных станков с ЧПУ и прогрессивных конструкций режущих инструментов. Для достижения поставленной цели определены суммарные затраты на выполнение операции фрезерования деталей $\sum Z_{оп} = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/н} + П_{расх}$, где $Z_{инстр}$ – затраты на инструмент; $Z_{оборуд}$ – затраты на оборудование; $Z_{з/н}$ – затраты на заработную плату рабочих (трудозатраты); $П_{расх}$ – прочие расходы (дополнительные накладные расходы без учета расходов на оборудование и инструмент) [1, с. 142-146]. Рассматривалось фрезерование монолитной фрезой из быстрорежущей стали и сборной фрезой, оснащенной пластинами из твердого сплава с износостойким покрытием. Установлено, что применение сборной фрезы позволяет существенно повысить производительность обработки. В результате трудоемкость обработки (на 1 деталь) для двух рассматриваемых вариантов обработки соответственно равна 0,8 и 6,9 часа; затраты на инструмент – 5,36 и 25,6 гривен; затраты на заработную плату рабочего – 19,53 и 120,33 гривен; затраты на оборудование – 19,86 и 171,26 гривен; прочие расходы – 29,30 и 180,50 гривен; суммарные затраты – 74,05 и 497,69 гривен. В итоге экономия затрат (на 1 деталь) от применения сборной фрезы составила 423,64 гривен, тогда как ее цена равна 1400 гривен, а цена монолитной фрезы – всего 138 гривен, т.е. цена сборной фрезы значительно больше цены монолитной фрезы. Наблю-

даемое снижение затрат на инструмент от применения сборной фрезы обусловлено многократным увеличением ее стойкости. Следовательно, применение сборной фрезы обеспечивает одновременное снижение двух статей затрат, связанных с заработной платой рабочего и расходом инструмента. Этим показана эффективность применения с точки зрения снижения себестоимости обработки более производительного и износостойкого, но дорогостоящего инструмента.

Заслуживает внимания тот факт, что прочие расходы (дополнительные накладные расходы без учета расходов на оборудование и инструмент) в данном случае превышают все остальные статьи затрат. Следовательно, их уменьшение необходимо рассматривать важным резервом повышения эффективности производства. Как вытекает из приведенных данных, добиться их существенного уменьшения (в 6 раз) можно за счет применения более производительной сборной фрезы. Примерно в такое же количество раз уменьшаются и все остальные статьи затрат. При этом затраты на режущий инструмент принимают наименьшие значения, составляющие всего 5–7 % от суммарных затрат на обработку. Это также указывает на то, что для повышения эффективности обработки целесообразно использовать более дорогой производительный инструмент. Благодаря его применению можно существенно уменьшить статью затрат, связанную с заработной платой рабочего, в связи с уменьшением технологического времени обработки. Одновременно уменьшаются затраты на оборудование и прочие расходы. Следовательно, для анализа себестоимости обработки C достаточно рассмотреть всего две статьи затрат, связанные с заработной платой рабочего и расходом режущих инструментов в процессе обработки [2, с. 84-86]:

$$C = \frac{N \cdot g}{V \cdot S \cdot t} \cdot S_1 \cdot k_D + \frac{N \cdot g \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1} \cdot C}{C_4}, \quad (1)$$

де N – количество изготавливаемых деталей; g – объем металла, удаляемого при обработке с одной детали, м³; S_1 – тарифная ставка рабочего, гривен /час.; k_D – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего; V – скорость резания, м/с; t – глубина резания, м; S – подача, м/об.; C_4 , m_1 , p , q – постоянные стойкости инструмента для определенных условий обработки ($m_1 > p > q$; $m_1 > 1$); C – цена инструмента, гривен.

Очевидно, себестоимость обработки C изменяется по экстремальной зависимости с изменением скорости резания V . Расчетами установлено, что имеет место минимум функции C от скорости резания V . Поэтому для правильного выбора характеристики режущего инструмента с точки зрения его стоимости и производительности обработки необходимо использовать условие минимума себестоимости обработки C . Расчетами также установлено, что в точке экстремума для данных условий обработки затраты на заработную плату рабочего примерно в 4 раза превышают затраты на режущий инструмент. Следовательно, выбор режущего инструмента необходимо производить из этого условия. При его несоблюдении суммарные затраты будут резко увеличиваться и эффект от применения новых инструментов и технологий обработки достигаться не будет.

Для анализа данной закономерности преобразуем зависимость (1):

$$C = \frac{1}{S^{\frac{1-p}{m_1}} \cdot t^{\frac{1-q}{m_1}}} \cdot \left[\frac{\alpha_2 \cdot (m_1 - 1)}{\alpha_1} \right]^{\frac{1}{m_1}} \cdot \alpha_1 \cdot \left[\frac{1}{z} + \frac{z^{m_1-1}}{(m_1-1)} \right], \quad (2)$$

где $\alpha_1 = N \cdot \mathcal{G} \cdot S_1 \cdot k_D$; $\alpha_2 = N \cdot \frac{\mathcal{G} \cdot \Pi}{C_4}$; $z = Q / Q_{экстр}$ – безразмерная величина;
 $Q = V \cdot t \cdot S$ – производительность обработки, м³/с; $Q_{экстр}$ – производительность обработки, соответствующая точке экстремума (минимума) себестоимости обработки C .

Рассмотрим относительную величину себестоимости обработки \bar{C} , равную второму множителю, заключенному в квадратные скобки:

$$\bar{C} = \left[\frac{1}{z} + \frac{z^{m_1-1}}{(m_1-1)} \right]. \quad (3)$$

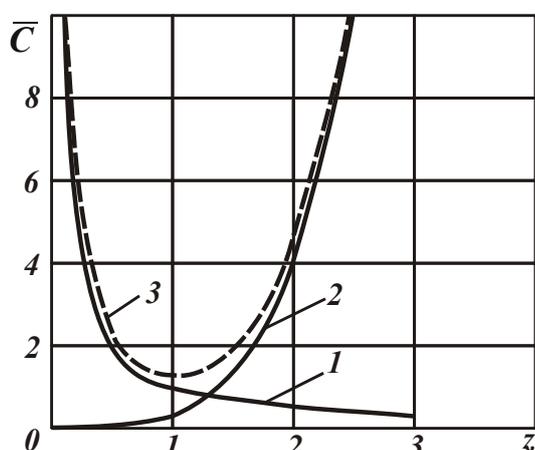


Рис. 1. Характер изменения величин $1/z$ (1), $0,25 \cdot z^4$ (2) и $1/z + 0,25 \cdot z^4$ (3)

На рис. 1 показан характер изменения первого и второго слагаемых зависимости (3), а также функции \bar{C} для $m_1=5$ [1, с. 144]. Как видно, любое отклонение безразмерной величины z от значения $z=1$ приводит к резкому увеличению функции \bar{C} . Следовательно, для эффективного ведения процесса обработки необходимо соблюдать условие $z=1$ путем выбора оптимальных характеристик инструмента.

В точке экстремума, т.е. при $z=1$, функция \bar{C} , описываемая зависимостью (3), принимает вид:

$$\bar{C} = \left[1 + \frac{1}{(m_1-1)} \right]. \quad (4)$$

В табл. 1 приведены расчетные значения функции \bar{C} , а также отношения первой и второй статей затрат \bar{C}_1 / \bar{C}_2 . Как следует из таблицы, функция \bar{C} уменьшается с увеличением параметра m_1 , а отношение \bar{C}_1 / \bar{C}_2 , наоборот, увеличивается и принимает значения в пределах 1 ... 6.

Таблица 1

Расчетные значения функции \bar{C} и отношения \bar{C}_1 / \bar{C}_2

m_1	2	3	4	5	6	7
\bar{C}	2	1,5	1,33	1,25	1,2	1,17
\bar{C}_1 / \bar{C}_2	1	2	3	4	5	6

Следовательно, установленное выше значение $\bar{C}_1 / \bar{C}_2 = 4$ является частным случаем для рассматриваемых условий обработки. В общем случае отно-

шение \bar{C}_1 / \bar{C}_2 тем больше, чем больше параметр m_1 , т.е. чем выше физико-механические свойства обрабатываемого материала, определяющие стойкость инструмента.

Расчетами установлено, что в точке экстремума себестоимости обработки C , определяемой зависимостью (1), стойкость режущего инструмента T принимает значения, описываемые зависимостью:

$$T = \frac{(m_1 - 1) \cdot C}{S_1 \cdot k_D}. \quad (5)$$

Для установления стойкости режущего инструмента T необходимо знать параметры m_1 , C , S_1 , k_D . Параметр m_1 определяется экспериментально или выбирается из справочной литературы, а параметры C , S_1 , k_D – задаются. Обеспечение заданной стойкости режущего инструмента T , в соответствии с зависимостью (5), достигается установлением оптимальной скорости резания V . Полученные решения использованы на ряде машиностроительных предприятий при разработке мероприятий по модернизации производства, приобретению нового оборудования, инструментов и оснастки.

Список литературы: 1. Жовтобрюх В.А. Определение оптимальных условий механической обработки по наименьшим затратам на операцию / В.А. Жовтобрюх, Ф.В. Новиков, Е.Ю. Бенін // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Вип. 9 (205). – С. 142-146. 2. Новіков Ф.В. Обґрунтування економічної ефективності технології виготовлення деталей машин / Ф.В. Новіков, Є.Ю. Бенін // Економіка розвитку. Науковий журнал. – Х.: ХНЕУ, 2012. – №1(61). – С. 84-86.

УДК 33.330.3

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Новиков Д.Ф., магистр 1 курса

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

Considered one of the important directions of investment activity in the industry. Reflected the greatest achievements of our scientists in this direction. It is shown that cooperation between business and science is able to give a real answer to the problems arising in the workplace. An example of such cooperation, which resulted in recommendations designed to improve the production process for a particular enterprise. It is shown that these recommendations can be applied to other industrial enterprises

Переход государства на рыночные отношения повлек за собой практически полную остановку отечественных промышленных предприятий. И лишь начиная с 2000 года они начали возобновлять свою деятельность. После десятилетнего простоя оборудование устарело и не было способно выпускать конкурентоспособную продукцию. Исходя из этого, руководители предприятий

начали осуществлять инвестиционную деятельность по техническому перевооружению своих предприятий, в результате чего появилась возможность выпускать продукцию, пользующуюся спросом, как на отечественном, так и на мировом рынке.

В данной статье показано одно из приоритетных направлений разработки и осуществления инвестиционной деятельности на промышленном предприятии, а так же обоснованы методы ее проведения.

В настоящее время в научной литературе приведено достаточно много информации об инвестиционной деятельности предприятий. Однако она в основном посвящена инвестиционной деятельности как деятельности по приобретению акций успешно развивающихся предприятий, что связано с экономической нестабильностью в государстве. В результате инвестор не уверен, что получит экономический эффект от проведения долгосрочной инвестиционной деятельности. Поэтому приобретение акций предприятия является наиболее выгодным направлением инвестиционной деятельности с экономической точки зрения, т.к. инвестор может получить экономический эффект в течение краткосрочного периода, не затрачивая собственных усилий.

Инвестирование средств в техническое перевооружение предприятия является долгосрочным проектом, характеризуется высокой трудоемкостью его проведения и высокими рисками. Поэтому этому вопросу в научной литературе уделено относительно мало внимания. Данное направление исследования в научной литературе рассматривают: Гринева В.Н., Легостаева Н.В., Лисица Н.М., Малиновская О.В., Пономаренко В.С., Попков В.П., Скобелева И.П., Ястремская Е.Н. [2, 4, 5]. В этих исследованиях рассматривается вопрос о необходимости проведения технического перевооружения предприятия. Однако методика проведения перевооружения и результаты, которые могут быть получены вследствие проведения инвестиционной деятельности, не приведены.

В настоящее время наблюдается разрыв между теорией и практикой в данном вопросе. Научные школы, занимающиеся вопросами инвестиций, фактически не могут оказать помощь промышленным предприятиям в разработках инвестиционных планов и проведении технического перевооружения производства. Научные школы, которые должны разрабатывать рекомендации по внедрению и применению новейших технологий изготовления изделий, осуществляют свою деятельность на основе усовершенствования устаревших технологий, инструментов и оборудования. Понимая отставание теории от реалий предприятий, бизнес все чаще вкладывает собственные средства в разработку новых моделей, методик, концепций проведения технического перевооружения предприятия и дальнейшего применения нового оборудования и инструментов, тем самым, выполняя за свой счет обязанности государственных структур, которым выделяются на это государственные средства.

Вложение средств бизнесом в разработку теории носит единичный характер, однако он является реальным на практике, что приводит к значительному эффекту для всей экономики. При разработке теории бизнес призывает к сотрудничеству ученых, которые максимально приближены к производству и теоретической информации. Одним из примеров является сотрудничество ка-

федры техники и технологии Харьковского национального экономического университета (заведующий кафедрой проф. Новиков Ф.В.) и Технического Центра “ВариУс”, г. Днепропетровск (директор Жовтобрюх В.А.), который занимается техническим перевооружением промышленных предприятий Украины. В результате их совместной деятельности разработана методика определения режимов резания металлов при наименьших затратах на металлообработку, которая получила применение на машиностроительных предприятиях [1]. Так, зарубежные производители металлорежущего инструмента (*Sandvik, Iscar, Tunggaloy, TaeguTec, Pramed, Somta, Korloy, Zcc, Kenmetal* и др.) рекомендуют режимы резания, которые больше применимы для их экономик с их уровнем заработных плат рабочих и т.д. К сожалению, на наших предприятиях эти режимы резания оказываются малоэффективными. Это связано с тем, что отношение стоимости инструмента к заработной плате рабочего является у нас в разы выше, чем в более развитых странах. Из этого получается, что, к примеру, в Израиле или Японии следует уменьшать затраты на заработную плату путем повышения скорости резания (производительности обработки) и значительного уменьшения стойкости инструмента, т.к. между ними имеет место обратная зависимость. Этот вывод сделан на основании проведенных экспериментов, которые показаны на рис. 1. Из графиков следует, что изменение стойкости инструмента из-за изменения скорости резания не пропорциональное. Поэтому, уменьшив скорость резания на 1%, можно добиться увеличения стойкости приблизительно на 2%. На предприятиях Украины необходимо уменьшать не заработную плату, а затраты на инструменты путем повышения стойкости инструментов. Однако для этого важно правильно устанавливать режимы резания на основе научно обоснованных результатов исследований.

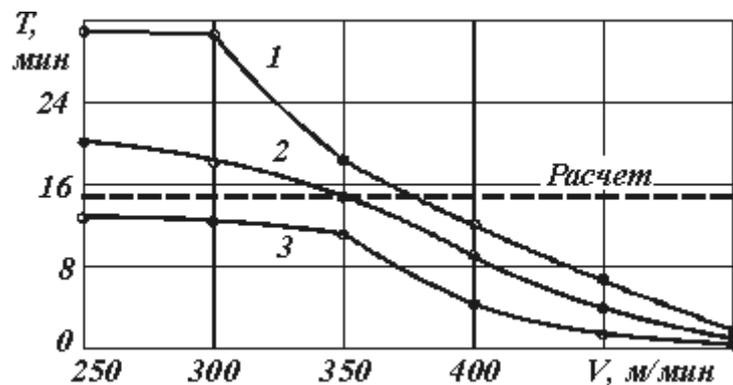


Рис. 1 – Сравнение стойкости кромки твердосплавной пластины инструмента при обработке среднеуглеродистой стали:
1 – сплав ТТ8115; 2 – сплав ТТ8125; 3 – сплав ТТ8135 [1]

По стандартным заводским режимам стойкость сменной металлорежущей пластины для токарной обработки составляет 5 часов. Стоимость одной пластины составляет 120 грн. (цена действительна на 1.01.2014г.). Часовая тарифная ставка рабочего составляет 25 грн. с учетом отчислений в Пенсионный фонд. Затраты на обработку деталей определяются зависимостью:

$$C = 3П + (З_{инстр} / T), \quad (1)$$

где C – затраты на обработку детали за 1 час; $3П$ – заработная плата рабочего за 1 час работы с социальными отчислениями, грн.; $З_{инстр}$ – затраты на инструмент, грн.; T – стойкость сменной пластины, часов.

Просчитав себестоимость обработки 1 часа по заводским режимам, получается 49 грн./час.

При подборе режимов резания по разработанной методике, оптимальная стойкость пластины оказалась равной 8 часам, при этом производительность осталась примерно на таком же уровне, т.е. за 8 часов работы обрабатывается столько же деталей, как и за 8 часов работы по заводским режимам. Затраты на обработку деталей по новым режимам составила: 40 грн./час. Экономический эффект от применения данной методики составил 9 грн./час или 18,4%.

Применение новой методики позволяет осуществлять планирование потребности в инструменте для выполнения производственных планов на предприятии. Это обусловлено возможностью предварительного расчета стойкости инструмента. Возможность определения стойкости инструмента на этапе его внедрения позволит сократить количество испытаний, проводимых предприятием-поставщиком инструментов.

В настоящее время услуги по расчету оптимальных режимов резания на основании наименьшей себестоимости предоставляет предприятие “Эльбор-4”. Это предприятие так же на протяжении более 20 лет осуществляет консультирование по техническим вопросам, проводит международные научно-практические конференции и обучение персонала.

Бизнес сейчас готов вкладывать собственные средства в разработку и усовершенствование теории проведения инвестиционной деятельности и процессов обработки деталей. Это позволяет предприятию, которое вкладывает средств в науку, получить конкурентное преимущество и тем самым обеспечить получение дополнительной прибыли. Сотрудники таких предприятий хорошо знакомы с проблемами, возникающими на заводах Украины. Поэтому сотрудничество бизнеса и науки способно дать наибольший результат.

Научный руководитель докт. техн. наук, проф. Новиков Ф.В.

Список литературы: 1. Жовтобрюх В. А. Разработка эффективных операций механической обработки по критерию наименьшей себестоимости / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф. – г. Одесса – Киев: АТМ Украины, 2013. – С. 30-33. 2. Малиновская О.В., Скобелева И.П., Легостаева Н.В. Инвестиции / под ред. д.э.н., проф. И.П. Скоблевой: учебное пособие (опорный конспект лекций). СПб.: СПГУВК, 2009. – 186 с. 3. Новиков Д.Ф. Особенности внедрения инновационных технологий на предприятиях Украины в условиях повышенной конкуренции // Новые и нетрадиционные технологи в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции, 22-24 мая 2013 г., г. Одесса – Киев: АТМ Украины, 2013. – 125-128 с. 4. Пономаренко В.С., Гриньова В.М., Лисиця Н.М., Ястремська О.М. Економічні та соціальні аспекти управління інвестиційною діяльністю: Монографія. – Харків: вид. ХДЕУ, 2003. – 180 с. 5. Попков В.П. Организация и финансирование инвестиций. – СПб: Питер, 2001. – 224 с.

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

Новиков Д.Ф., магистр 1 курса, **Оспищева А.К.**, магистр 1 курса
(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

We justify the conditions for increasing competitiveness of engineering products based on cost reduction processing machine parts

За последние 15 лет на рынке металлорежущего инструмента в Украине начали активно использовать новейшие инструменты, произведенные за рубежом. С каждым годом все больше появляется дилеров, внедряющих эти инструменты. Поэтому использование новых методик по рациональному применению инструментов способно улучшить процесс обработки и уменьшить себестоимость изготовления деталей машин [1].

Опыт внедрения инструментов зарубежного производства показал, что рекомендуемые режимы резания, как правило, нерациональны, и поэтому технологи предприятия-поставщика и предприятия-заказчика постоянно пытаются подобрать оптимальные режимы резания. Однако, при таком подборе режимов резания нет четкого критерия, по которому определяется их оптимальность. В основном стремятся увеличить производительность обработки или повысить стойкость инструментов, а иногда и оба фактора одновременно.

При этом не обращается внимание на то, какие затраты несет предприятие, изменяя режимы резания. Критерий минимизации себестоимости обработки в данном случае является второстепенным, т.к. при ручном подборе режимов резания технологи стремятся уменьшить машинное время обработки и увеличить стойкость инструмента. В их понимании все это должно дать минимизацию затрат, хотя в действительности себестоимость обработки изменяется совершенно по другим более сложным законам и для ее минимизации необходимо располагать соответствующими экономическими знаниями и методиками расчета. Однако технологи имеют в основном техническое образование и недостаточно владеют экономическими законами, что ограничивает возможности понимания, как же действительно изменяется себестоимость: в каких случаях она снижается, а в каких растет за счет увеличения режимов резания.

В результате проведенных экспериментов установлена связь между стойкостью инструмента и скоростью резания (рис. 1). Как видно, с увеличением скорости резания V стойкость инструмента T непрерывно уменьшается, причем зарубежного инструмента с износостойкими покрытиями с меньшей интенсивностью. Это позволяет обработку вести с увеличенной скоростью резания – до 500 м/мин, тогда как отечественным инструментом – всего со скоростью резания до 200 м/мин. Однако, как известно, увеличение скорости резания V ведет к увеличению себестоимости обработки детали C . Поэтому важно провести ана-

лиз изменения себестоимости обработки от скорости резания и выбрать наилучший вариант обработки.

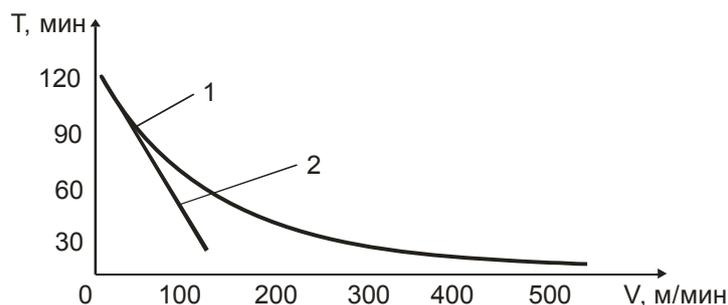


Рис. 1. Зависимость стойкости инструмента от скорости резания:
1 – зарубежный инструмент; 2 – отечественный инструмент

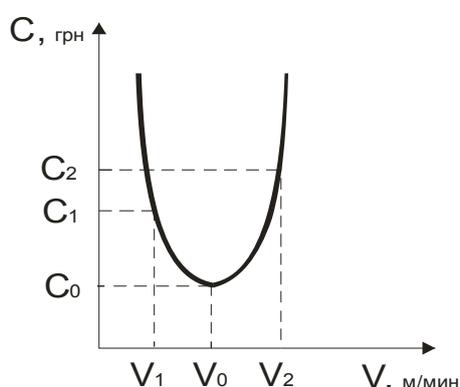


Рис. 2. Зависимость себестоимости обработки детали от скорости резания

Расчетами установлено, что изменение себестоимости обработки от скорости резания подчиняется экстремальной зависимости (в виде параболы, рис. 2), т.е. при достижении скорости резания V_0 себестоимость принимает минимальное значение C_0 . Этим объясняется то, что технолог, подбирая режимы резания вручную, как правило, попадает на левую или правую ветвь параболы, а это приводит к увеличению себестоимости обработки. Например, если технолог выбрал скорость резания V_1 , то себестоимость обработки будет равна значению C_1

и, следовательно, предприятие недоиспользует возможности инструмента, производительность не максимальная, а значит, у предприятия существуют резервы производственной мощности. Если же технолог выбрал скорость резания V_2 , то себестоимость будет равна значению C_2 . В этом случае инструмент используется сверх нормы, и имеет место перерасход инструмента, что значительно увеличивает себестоимость обработки.

Определить экстремальное (минимальное) значение себестоимости обработки C_0 на основе лишь производственного опыта технолога практически не возможно. Нужны еще и аналитические исследования. Без них любая операция обработки будет характеризоваться заведомо увеличенной себестоимостью.

При внедрении нового инструмента (например, зарубежного производства) на предприятии зачастую используют те же режимы резания (скорость резания), которые применялись ранее при обработке устаревшими конструкциями инструментов (например, отечественного производства). Естественно, это не позволит в максимальной степени реализовать потенциальные возможности нового более качественного инструмента. Подтверждением тому являются графики зависимостей изменения себестоимости обработки от скорости резания для новой и устаревшей конструкций инструментов (рис. 3).

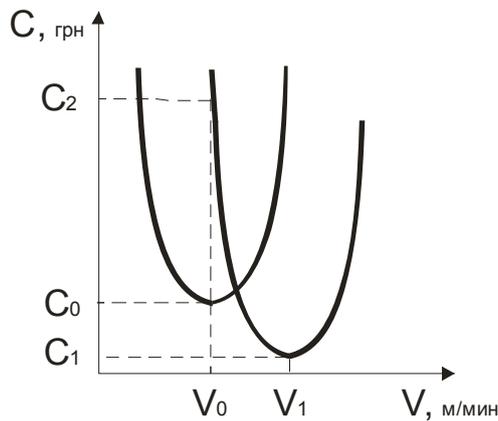


Рис. 3. Зависимости себестоимости обработки от скорости резания для новой и устаревшей конструкций инструментов

Как видно, минимум себестоимости для устаревшей конструкции инструмента достигается при скорости резания V_0 , а для новой конструкции инструмента – при скорости резания V_1 . Следовательно, минимальное значение себестоимости C_1 меньше минимального значения C_0 , т.е. применение нового инструмента позволяет уменьшить минимальное значение себестоимости обработки. Однако, это будет справедливо при обработке с оптимальными скоростями резания – V_1 и V_0 . Если же обработку новым инструментом вести со скоростью V_0 , то себестоимость резко увеличится до значения $C_2 > C_0$. Поэтому новый более качественный инструмент будет создавать эффект снижения себестоимости лишь при правильном выборе оптимальной скорости резания, в данном случае равной V_1 .

Вместе с тем, не зная характер изменения себестоимости обработки и оптимального значения скорости резания V_1 , при внедрении новых инструментов технологи будут констатировать лишь факт увеличения стойкости инструмента (рис. 2), и на его основе считать, что внедрение прошло успешно. На самом деле себестоимость обработки при этом существенно увеличится, но это станет известно только в конце года, когда будут сравниваться все затраты предприятия с затратами за предыдущий период. Промышленность Украины сейчас переходит на новый этап развития процессов обработки металла. Многие руководители предприятий осознают необходимость использования новых технологий для уменьшения себестоимости обработки. Поэтому предложенная методика выбора оптимальных режимов резания по критерию минимальной себестоимости позволит значительно уменьшить себестоимость и тем самым увеличить конкурентоспособность изготавливаемой продукции.

Научный руководитель докт. техн. наук, проф. Новиков Ф.В.

Список литературы: 1. Новиков Д.Ф. Особенности внедрения инновационных технологий на предприятиях Украины в условиях повышенной конкуренции // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф., г. Одесса – Киев: АТМ Украины, 2013. – 125-128 с

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Назаренко В.Б., аспирантка

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнеця)

The paper analyzes the state of engineering in Ukraine and formulated the basic conditions for the creation of competitive engineering products. It is shown that the industry's development priorities should be: overcoming scientific and technological gap with the industrialized countries, increasing the level of scientific research in the field of engineering, the growth of innovative activity of enterprises, creating conditions for increasing the output of high-tech products

Машиностроение – основная отрасль современной промышленности. Также машиностроение наиболее комплексная и структурно дифференцированная отрасль промышленности, т.к. вместе с металлообработкой она охватывает почти 200 разных подотраслей и производств.

Машиностроение лидирует по стоимости продукции в развитых странах: на отрасль приходится до 35 – 40 % всей стоимости промышленной продукции и до 1/3 всех работающих в промышленности. Все достижения НТП внедряются в первую очередь в этой отрасли. Она является самой наукоемкой отраслью современной индустрии. Ассортимент видов и типов продукции машиностроения насчитывает несколько миллионов наименований. Ни одна страна мира не может производить такое количество изделий. Именно поэтому актуальным является вопрос специализации машиностроительного комплекса разных стран мира.

Целью работы является исследование современного состояния машиностроения Украины, а также путей снижения себестоимости продукции отрасли.

Задача – определить ключевые стороны снижения себестоимости продукции машиностроительной отрасли.

Объект – функционирования машиностроительной отрасли Украины.

Предмет – снижение себестоимости продукции машиностроительной отрасли Украины.

Машиностроение – целый комплекс отраслей обрабатывающей промышленности. Условно в составе машиностроения мира можно выделить три большие группы, которые охватывают 90% всех товаров, выпускаемых этой отраслью, и являются приблизительно равными по стоимости продукции: 1) общее машиностроение; 2) транспортное машиностроение; 3) электротехника (включая электронику).

Без машиностроительной промышленности существование человечества просто невозможно. Машиностроение является главной отраслью промышленности мира. Приблизительно 90 % его продукции обеспечивают индустриально развитые страны. Лидерами отрасли являются США, Япония, Германия, Великобритания, Франция, Россия, Испания, Китай, Бразилия. В экономи-

чески отсталых странах доля продукции машиностроения в общем объеме обрабатывающей промышленности не превышает 20%. Доля машиностроительных производств в экономически развитых странах мира составляет 30-50% от общего выпуска промышленной продукции. Доля машиностроительного производства к общему объему выпущенной промышленной продукции экономически развитых стран показано на рис 1.

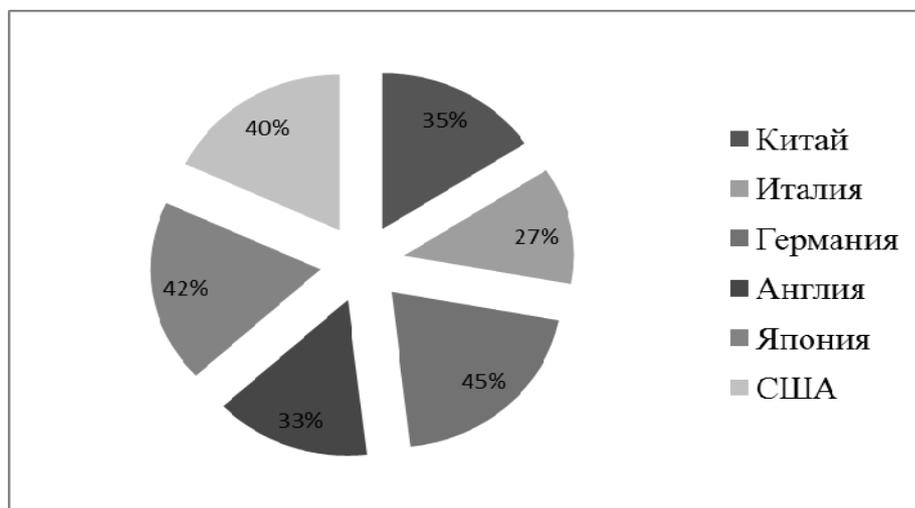


Рис. 1. Доля машиностроительного производства к общему объему выпущенной промышленной продукции

Доля машиностроительной отрасли в промышленности Украины составляет 15%, в части ВВП составляет около 11%, здесь сосредоточено более 15% стоимости основных фондов, почти 6% оборотных активов промышленности Украины и более 22% количества наемных работников. Эти показатели существенно уступают показателям развитых стран мира, что свидетельствует о недостаточном развитии отрасли машиностроения в Украине.

Одним из путей продвижения украинских товаров машиностроительной отрасли автор видит в снижении себестоимости продукции данной отрасли.

Среди основных проблем предприятий машиностроительного комплекса Украины можно выделить следующие:

1. Устаревшие основные производственные фонды. Анализ основных средств предприятий машиностроения показывает превышение новых основных средств над амортизацией. Уровень износа оборудования на большинстве предприятий составляет около 70%, в производстве транспортного оборудования, где уровень износа основных средств превышает 72%. Устаревшие производственные мощности многих предприятий отрасли не позволяют наполнить рынок и удовлетворить спрос товарами национального производства. Эффективность использования устаревшего оборудования значительно ниже, а следовательно и отдача будет меньше, что влечет за собой повышение себестоимости продукции.

2. Низкий уровень инновационной активности украинских предприятий, их низкая инвестиционная привлекательность. Количество инноваций на промышленных предприятиях в сравнении с развитыми странами остается слиш-

ком низким, доля предприятий, которые внедряют инновации, едва превышает 10%. Отсутствие инвестиций служит причиной отсутствия инноваций и недостаточной эффективности труда.

3. Отсутствие в Украине ряда высокотехнологических отраслей. Прежде всего, отсутствует ряд высокотехнологических отраслей ключевых экспортных позиций машиностроения: IT индустрия, производство сложной медицинской техники, многих приборов для научных исследований и современных легковых автомобилей. Данный недостаток вынуждает Украинские компании закупать необходимые им недостающие элементы в других более развитых странах, что безусловно дороже чем возможно было бы их производить на территории нашей страны.

4. По качеству и технологическими решениями изделия радиоэлектроники, бытовые приборы, сельскохозяйственные и дорожно-строительные машины, а также целый ряд других товаров значительно проигрывают зарубежным аналогам. В этой области в широких масштабах продолжают использоваться характерные для советской экономике затратные технологии, что в свою очередь ведет к возрастанию ресурсоемкой продукции и препятствует сокращению издержек производства и выпуску инновационной продукции в других отраслях экономики.

5. Также значительную роль играет низкий уровень конкурентоспособности экономики Украины. Так в 2012 г. Согласно рейтингу Всемирного экономического форума (ВЕФ) Украина по Индексу глобальной конкурентоспособности (GCI) занимает 72 место из 144-х. По индексу экономической свободы Украина была и остается страной с «несвободной» экономикой и в 2012 заняла 161-е место из 183-х, по рейтингу ведения бизнеса – 137-е из 185, по индексу человеческого развития – 78-е из 180-ти, по индексу конкурентоспособности IT-сферы 67-е из 155-ти. Таким образом, по стадии конкурентоспособности Украина пребывает только на этапе перехода от факторной ориентации к ориентации на эффективность.

В Украине также наблюдается недостаточная поддержка отраслевой науки со стороны государства. Например, в США ежегодно на научные исследования в области машиностроения расходуется в среднем 2,5 % ВВП, в странах Евросоюза – около 3% ВВП, в Украине же всего 0,1% ВВП. С другой стороны, предприятия машиностроительной отрасли Украины имеют значительный инновационный потенциал, значительные возможности для формирования новых и усиления существующих конкурентных преимуществ, как на внешнем, так и на внутреннем рынках. Перспективной выглядит разработка эффективной государственной политики, основной целью которой стало бы создание инновационно-инвестиционной базы для возрождения машиностроительного комплекса Украины

Таким образом, как это ни парадоксально, развитие отрасли и понижение себестоимости ее продукции невозможно без вложения значительных инвестиций. В настоящее время данный износ оборудования составляет около 70 %. При недостатке финансовых ресурсов достаточно медленно решаются проблемы восстановления производственного потенциала отрасли. Руководству госу-

дарства должно приложить значительные усилия для стимулирования инвестиционной деятельности машиностроительной промышленности и развития науки государства.

Приоритетными направлениями развития отрасли должны стать: преодоление научно-технологического отставания от индустриально развитых стран, повышение уровня научных разработок в области машиностроения, рост инновационной активности предприятий, создание условий для увеличения объемов выпуска высокотехнологичной продукции.

Список литературы: 1. Васюков О.Я. (2013), *Машинобудування в Україні* [Engineering in Ukraine], Труд, Херсон, Україна. 2. Максименко М.Н. (2012), *Науковий прорив машинобудування* [Scientific breakthrough engineering], ХНТУ, Херсон, Україна. 3. Таїров Я.К. (2013), *Проблеми сучасного машинобудування* [Problems of modern engineering], ХНТУ, Херсон, Україна. 4. Державний комітет статистики України. Електронний ресурс (2013) "State Statistics Committee of Ukraine. Electronic resource", available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>

УДК 658. 821. 338

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ УПАКОВКИ ПРОДУКЦІЇ

Тітова М.Г., студентка 4 курсу
(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

In this work the feasibility study of the process of manufacturing packaging products

ПП «Чугуївський завод мінеральних вод» займається випуском безалкогольних газованих напоїв. Основні потужності заводу направлені на виготовлення продукції ТМ «LimCo». У 2013 році було виготовлено та реалізовано продукції даної марки на 16 797 тис. грн. по всій Україні.

Процес виготовлення готової продукції складається з кількох етапів: замовлення скляної тари місткістю 0,5 л.; виготовлення напою та розлив у пляшки; замовлення етикеток та нанесення їх на скляну тару.

Скляна тара для ТМ «LimCo» замовляється у ТОВ «Мереф'янська скляна компанія». Пляшка виготовляється із скла зеленого кольору, призначеного для напоїв. Характеристики пляшки наведені на рис. 1.



Об'єм: 500 мл
Вага: 224 гр
Висота: 240 мм
Діаметр: 64,7 мм

Рис. 1. Характеристики скляної тари ТМ «LimCo»

Особливо складним етапом виготовлення готової продукції є виготовлення етикетки. Етикетка ТМ “LimCo” містить інформацію про продукт, виробника, вміст, термін зберігання тощо. Етикетка допомагає споживачу звернути увагу на потрібний товар серед розмаїття інших товарів.



Рис. 2. Дизайн етикетки продукції ТМ “LimCo”

Етикетка допомагає споживачу звернути увагу на потрібний товар серед розмаїття інших товарів. Ефективно розроблена етикетка виділяє продукт із числа йому подібних, і при інших рівних умовах, завдяки цьому споживач надає перевагу продукту. Дизайн етикетки ТМ “LimCo” зображено на рис. 2.

Важливими технологічними характеристиками етикетки є: багатоколірний друк високої якості; яскраві і чисті кольори штрихових зображень, тексту; якісні напівтонові (растрові) зображення; виворотка, друк по вивороті; дрібний текст, а іноді і мікро-текст; тиснення, припресування фольги і голограм, фігурна висічка самої етикетки і мікро-висічка на етикетці (при спробі переклеювання етикетки з оригіналу на підробку завдяки мікро-висічці етикетка розшарується).

Виготовлення етикеток для ТМ “LimCo” здійснюється на підприємстві «Фактор-друк» із застосуванням машини флексографічного способу друку «Graficon UNIQ 340». Флексографія є одним із найефективніших різновидів високого способу друку для виготовлення етикеток, в якій використовують пружно-еластичні друкарські форми та малов'язкі швидковисихаючі фарби. У флексографії друкарська форма виконує не тільки свою основну функцію як форма, але ще й функцію декеля, що дозволяє друкувати матеріали з різною фактурою (мікрогеометрією) з мінімально необхідним тиском, що є дуже важливим для якісного друку.

У даній машині для флексографічного друку застосовують рідкі фарби, що закріплюються переважно за рахунок випаровування розчинників, та еластичних форм, що дозволяє задруковувати матеріали, які не всмоктують фарбу, такі як самоклеючий папір. Для друку на флексографічній машині характерні висока тиражостійкість друкарських форм та велика продуктивність друку [1].

Технологія флексографічного друку на машині «Graficon UNIQ 340» відрізняється простотою, низькими витратами і водночас високою продуктивністю, не потребує багато робітників – машина має простий друкарський апарат. Друк є екологічно чистим, використовуються фарби на водяній основі.

Устаткування має низьку енергомідкість (на 40–50% меншу у порівнянні з офсетним способом). Флексографічний друк характеризується поточністю виробництва – всі операції, починаючи від розмотування рулону та закінчуючи розрізанням або фальцюванням готових виробів, виконується за один прогін.

Потреба у виробничих площах на 50–60% є меншою, ніж в офсетному друці. Капіталовкладення є меншими, ніж у традиційних видах друку: машини виконують друк, оброблення і, в той самий час, коштують дешевше від офсетних. Завдяки агрегуванню машин усуваються сторонні операції, відсоток ма-

кулатури є низьким за рахунок спрощеної конструкції друкарського апарата. Можливість застосування фарб УФ-затвердження підвищує якість продукції та швидкість друку [2].

Задля ефективного порівняння офсетного та флексографічного способу друку, проведемо аналіз їх основних показників. Обидві машини флексографічного та офсетного способу друку мають схожі конфігурації, а саме: формат А2, 4 барвистих секцій і секцію УФ-лакування. При виготовленні етикетки ТМ “LimCo” використовують друкарську машину MITSUBISHI серії 3H-2 і автоматичний тигельний прес KLUGE EDH 13x19. Задля покращення технологічного процесу пропонується використання наявної на підприємстві флексографічної машини «Graficon UNIQ 340», оснащеної пристроєм висікання, гарячого тиснення, розрізання на листи і ламінатором. Результати порівняння цих машин, їх продуктивності та інших виробничих характеристик наведено у табл. 1 [3].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика офсетного та флексографічного друку

	Офсетна машина і тигельний прес	Флексографічна машина
1	2	3
Максимальний формат	36x52 см	33x61 см
Швидкість друку (отг./год.)	13 000	21 000
Продуктивність (м ² /год.)	2 433	3 049
Мінімальна технологічна площа	80 м ²	30 м ²
Обслуговуючий персонал	3 - 4 чол.	1-2 чол.
Екологічність застосованої фарби	Низька	Висока
Шар нанесення фарби	середньої товщини	мінімальна товщина
Вид багатофарбованої машини	секційна	планетарна
Необхідність додаткового обладнання	використання тигельного пресу	нема необхідності у додатковому обладнання

Як вже зазначалося вище, тиражостійкість флексографічних форм дуже велика, що призводить до здешевлення продукції при великих тиражах. Унікальна властивість флексографічного друку – можливість практично довільно міняти як довжину, так і ширину друку – дозволяє використовувати форму саме того розміру, який необхідний для друку. Більш того флексографічна машина даної конфігурації дозволить друкувати етикетки ТМ “LimCo” на листах більшого розміру (33x61 см). Це збільшить місткість більшої кількості етикеток, а саме по 32 етикетки на лист. Таким чином, кожні 2 місяці в середньому буде

друкуватися не 13 334 таких листа, а 12 500, що скоротить витрати на самоклеючий папір, фарби та оплату працівникам друкарні.

Для визначення ефективності запропонованого поліпшення технологічного процесу для ПП «Чугуївський завод мінеральних вод» приведемо витрати на друк 400 000 екземплярів етикеток «LimCo»: офсетний друк – 68 360 грн/тираж; флексографічний друк – 36 240 грн/тираж.

Встановлено, що витрати на друк зменшуються на:

$$(1 - 36\,240 / 68\,360) \cdot 100 = 47 \%$$

Економія за 1 тираж від зміни способу друку становить:

$$E = 68\,360 - 36\,240 = 32\,120 \text{ грн.}$$

Так як замовлення етикеток на ПП «Чугуївський завод мінеральних вод» проводиться 1 раз на 2 місяці, то річний економічний ефект становить:

$$E_{\text{фр}} = 32\,120 \cdot 6 = 192\,720 \text{ грн.}$$

Таким чином видно, що з економічної точки зору використання флексографічного друку при виготовленні етикетки «LimCo» для ПП «Чугуївський завод мінеральних вод» цілком виправдано: витрати на друк значно менші, а продуктивність та якість набагато вищі.

Науковий керівник докт. техн. наук, проф. Новіков Ф.В.

Список літератури: 1. Друкарське устаткування: підручник/ Я. І. Чехман, В. Т. Сенкусь, В. П. Дідич і др. – Львів: Укр. акад. друкарства, 2005. – 468 с. 2. Грабовський Є. М. Технології поліграфічного виробництва: Конспект лекцій для студентів напряму підготовки 0927 "Видавничо-поліграфічна справа" всіх форм навчання / Є. М. Грабовський. – Х.: ХНЕУ, 2007. – 139 с. 3. Мирний Д.Д. Друкувальні машини та поліграфічні матеріали / Д.Д. Мирний, І.Г. Довгий. – Львів: Афіша, 2001. – 97 с.

УДК 66.05

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІЛЬТРУВАННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ ОЛІГОЕФІРАКРИЛАТІВ МГФ-9

Ткачук О.О., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

The article is about the issues of choosing filter material for filters at a chemical plant to improve the quality of filtration and extend the life of filter fabrics, reduce the cost of support materials

Технологічний процес виробництва олігоефіракрилатів МГФ-9 на ПрАТ«Армопласт» має дві важливі стадії, під час яких відбувається фільтрація толуольного розчину та очисне фільтрування безпосередньо олігоефіракрилату. Процеси фільтрації в хімічному виробництві мають, як правило, більш складний характер, ніж фільтрація в інших галузях. Від якості фільтрації залежить якість кінцевого продукту, а значить, що й прибуток підприємства та його репутація.

У цеху ДЦСС, відділенні №1, де відбувається виробництво олігоефірактрилату МГФ-9 встановлені два друк-фільтри. Друк-фільтр – це ємкісний фільтр, що працює під тиском. Такі фільтри призначені для фільтрації невибухонебезпечних речовин в температурних рамках від -20°C до $+200^{\circ}\text{C}$ [1].

При аналізі роботи всього підприємства та цеху ДЦСС, відділення №1 з виготовлення олігоефіракрилату МГФ-9 було виявлено, що фільтри, які використовуються на виробництві, мають низьку продуктивність і проблеми з якістю фільтрації. Тому для вдосконалення технологічного процесу було запропоновано використовувати новий фільтруючий матеріал, тобто дещо змінити фільтруючі перегородки в фільтрах. Це дасть змогу підвищити якість фільтрації, її чистоту, та дещо скоротити час операцій фільтрування, а значить, покращити якість продукту, що виготовляється.

Переваги використання друк-фільтрів: можливість здійснювати фільтрацію в інертній атмосфері; відсутність контакту зовнішнього середовища і оператора з речовиною – робота в стерильних умовах, з чутливими і токсичними речовинами; можливість обігріву або охолодження фільтруючої ємності через парову сорочку під дією пари або води; більш висока продуктивність за рахунок збільшення рушійної сили процесу за допомогою підвищення тиску; широкий діапазон застосування робочих температур і тиску; швидка і ефективна сушка осаду [2].

На даному виробництві встановлено два друк-фільтри моделей ДСЕов 0,2-11-12-01 та ДСЕов 0,4-11-12-01. Стосовно фільтруючого матеріалу, тобто бельтингу, який використовується на даних фільтрах, то необхідно вжити заходів по усуненню цих недоліків.

Вже було відмічено, що на підприємстві виконується фільтрація рідин, кінцевим продуктом якої є фільтрат. У таких випадках дуже важливо правильно підібрати фільтрувальну тканину. Низькопрониклива тканина забезпечить високу чистоту фільтрату, але збільшить вологість осаду і знизить продуктивність фільтру. Ефект від високопроникливої тканини буде прямо протилежним, тобто швидкість процесу фільтрації буде великою, але фільтрат буде містити багато домішок [2]. Тому для більшої якості фільтрації треба правильно підібрати фільтруючий матеріал.

Головне призначення фільтрувальної тканини – уловлювання твердих частинок з рідин. Функціонально така тканина є перегородкою, на якій осідають частинки. Сучасні фільтрувальні тканини дозволяють вловлювати частинки до $1,0\ \mu\text{m}$ з рідин [3].

Як було сказано, на виробництві використовують бельтинг. Недоліками бельтинг-полотна, яке використовують як фільтруючу тканину, є швидкий знос (оборотність 60-80 разів) і забивання полотна частинками маси і різке погіршення фільтрації. Кращі результати отримують при використанні нейлонового або капронового полотна або ж при спільному їх використанні з бельтинг-полотном, так як поліпшуються умови фільтрації, подовжується термін служби, скорочується витрата полотна на $1\ \text{t}$ фільтрувальної маси до $0,42\ \text{m}^2$.

Тому на ПрАТ «Армопласт» для покращення якості фільтрації та зменшення витрат на супутні матеріали було запропоновано впровадити деякі зміни.

Фільтруючу перегородку (бельтинг) необхідно дещо вдосконалити, шляхом комбінування двох фільтруючих тканин – бельтингу та капрону. Ці дві матерії мають різні властивості, які будуть доповнювати одна одну, покращуючи якість фільтрації та подовжуючи термін служби фільтруючої перегородки.

Бельтинг застосовується при фільтруванні розчинів в якості фільтрувального матеріалу не лише в хімічній промисловості. Бельтинг виробляється полотняним переплетенням з крученої бавовняної пряжі, а більш міцні сорти – із застосуванням хімічних волокон [3].

Допоміжною тканиною вибрано поліамідне (капронове) волокно. Тканина має чудові властивості по відношенню до будь-яких фізичних навантажень і стійка до лужного середовища. Капрон розчинний у концентрованих кислотах. Фільтрувальна поліамідна тканина здатна тривало працювати при температурах до 90 °С.

Таким чином, використання двох фільтрувальних тканин дасть можливість використовувати їх властивості так, щоб вони доповнювали одна одну. Наприклад, поліамідна тканина має більшу водопроникність, тобто спочатку велика кількість рідини буде проходити через капрон, залишаючи на ньому великі частинки домішок, а потім вже через бельтинг полотно, щоб зовсім відфільтрувати маленькі частки домішок.

Це дасть змогу підвищити якість фільтрації завдяки подвійному бар'єру та знизити знос полотна, а значить скоротити витрати на допоміжні матеріали. Тобто, якщо раніше на 1 т олігоєфіракрилату МГФ-9 необхідно було 2,6 м² бельтинг-полотна, то тепер витрати на 1 т фільтрувальної маси скорочуються до 0,42 м² кожного полотна – усього 0,84 м². Продуктивність фільтру завдяки високій водопроникності капрону не знизиться, тобто кількість фільтрату за певну одиницю часу буде тією ж.

Таким чином, можемо стверджувати, що вимоги, щодо вибору оптимальної фільтруючої перегородки задовільнені: термін служби подовжується, якість фільтрації покращується, продуктивність фільтру не змінюється, витрати на допоміжні матеріали скорочуються.

Розрахунок і порівняння витрат, собівартості установки лише бельтинг-полотна та використання фільтруючої перегородки з двох тканин – поліамідної та бельтингу представлені в табл. 1.

Економії коштів ми досягли завдяки збільшенню терміну служби фільтруючого полотна та скороченню його зносу. Витрати на фільтруючі матеріали будуть менші.

Крім того, використання подвійної фільтруючої перегородки дозволить підвищити якість фільтрування. Олігоєфіракрилат МГФ-9 може бути вищого сорту та першого сорту, які відмінні між собою процентним співвідношенням олігоєфіракрилатів і толуолу.

Ціна на продукт різного сорту дещо відрізняється. Продукт вищого сорту має більш ширше застосування, а значить і більший попит. В табл. 2 наведений розрахунок прибутковості за рахунок збільшення частки виробництва олігоєфіракрилату МГФ-9 вищого сорту.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця витрат

№	Вид витрат	Бельтинг	Бельтинг + капрон	
1	2	3	4	
1	Ціна за 1 м ² без ПДВ, грн.	83	Бельтинг Капрон	83 54
2	Ціна за 1 м ² з ПДВ 20%, грн.	99,6	Бельтинг Капрон	99,6 64,8
3	Кількість матеріалу на 1 т фільтрату, м ²	2,6	Бельтинг Капрон	0,42 0,42
4	Всього кількість матеріалу на 1 т фільтрату, м ²	2,6	0,84	
5	Всього випуск олігоефіракрилату МГФ-9, т/рік	10	10	
6	Витрати на фільтруючий матеріал на 1 т, грн	258,96	69,05	
7	Витрати на фільтруючий матеріал на річну програму, грн	2 589,6	690,5	
8	Загальна економія, грн.	1 899,1		

Таблиця 2

Розрахунок додаткового прибутку

Найменування показника та одиниці виміру	Значення величини с граничними відхиленнями	
	Вищий сорт	Перший сорт
1	2	3
Зовнішній вигляд	Прозора рідина від жовтого, зеленого до темно-коричневого кольору без механічних домішок	Прозора рідина від жовтого, зеленого до темно-коричневого кольору. Допускається наявність невеликої кількості часток у вигляді волокон і точок
Масова частка толуолу, %, не більше	1,8	2,5
Масова частка води, %, не більше	0,1	Не нормується
Масова частка основної речовини, %, не менше	98,0	97,5
Співвідношення часток виробництва до зміни технологічного процесу, %	45	55
Співвідношення часток виробництва після зміни технологічного процесу, %	60	40
Ціна продукту за 1 кг, грн	100	77
Річний прибуток від виробництва 10 т олігоефіракрилату МГФ-9 до зміни технологічного процесу, тис. грн.	450	423,5

Всього до зміни технологічного процесу, тис. грн	873,5	
Річний прибуток від виробництва 10 т олігоефіракрилату МГФ-9 після зміни технологічного процесу, тис. грн.	600	308
Всього після зміни технологічного процесу, тис. грн	908	
Додатковий прибуток, тис. грн.	34,5	

Отже, після вдосконалення процесу фільтрації на виробництві загальна економія на допоміжних матеріалах складе 1 899,1 грн., а додатковий прибуток від збільшення частки продукту вищого сорту принесе 34 500 грн., бо якість фільтрації покращується.

Науковий керівник докт. техн. наук, проф. Новіков Ф.В.

Список літератури: 1. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 55 (1028). – 198 с. 2. Малигін Є.Н. Методика автоматизованого вибору та розрахунку фільтрів для розділення суспензій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : Кафедра «Гнучкі автоматизовані виробничі системи» / Є.Н. Малигін, С.В. Карпушкін, С.Н. Маковеїв; ТДТУ. – Вестник ТДТУ. 2003. Том 9. № 4. – 10 с. 3. Фільтри для рідин. Каталог. Частина II. Фільтри періодичної дії, фільтр-преси, патронні керамічні фільтри. – М.: ЦНТІхімнафтомаш, 2006. – 72 с.

УДК 66.05

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОКАЛИНИ НА ТОВ «ЛОЗІВСЬКИЙ КУЗНЕЧНО-МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД»

Мироненко Ю.О., магістр 2 курсу, **Дитиненко Т.С.**, магістр
(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

The paper describes the utilization of existing technology scaling on of "Lozovskoy Kuznechna Mechanical Plant" and the ways of its improvement

Аналіз діючої технології утилізації окалини на підприємстві показав, що на даний момент на ТОВ «ЛКМЗ» існує проблема зберігання та утилізації окалини як промислового відходу. На це витрачаються значні кошти підприємства, в той час, як з цього можна було б отримати деякий прибуток, якщо зробити в це інвестиції та придбати необхідне обладнання. Щорічно, лише на зберігання окалини в діяльності ТОВ «ЛКМЗ» витрачається близько 12 тис. грн.

У прокатному виробництві металургійних та металообробних підприємств утворюються великі кількості замащеної окалини, яка знаходить обме-

жене застосування і скидається у шламонакопичувачі. Шлами неоднорідні за складом і можуть містити від 10 до 95% окалини, від 10 до 50% олив і від 3 до 80% води. Відходи належать до IV категорії екологічної небезпеки, забруднюють ґрунт, ґрунтові води і атмосферу нафтопродуктами, а також речовинами, що утворюються у результаті сонячного опромінення, окислення і т.п. Окалина містить до 70% заліза, що може зробити її використання вигідним.

Утилізація замасленої окалини викликає великі труднощі, особливо дрібної (крупність частинок до 100 мкм) з вторинних відстійників, що містить до 20-30% олив. Основні шляхи її переробки – хімічне і термічне знежирення, однак, ці процеси є дорогими. Тому створення нового виду продукції на основі замасленої окалини та визначення технічної та економічної доцільності її використання на різних стадіях металургійного переділу є актуальною проблемою.

Існує два шляхи утилізації окалини: повернення її у металургійне виробництво або використання її в інших виробництвах (наприклад, у лакофарбовому). Замаслену окалину важко підготувати до утилізації через підвищений вміст у ній олив, а в прокатних цехах металургійних підприємств утворюються великі кількості замасленої окалини, яка знаходить обмежене застосування і скидається в шламонакопичувачі.

Проблема утилізації замасленої окалини у даний час вирішується в основному в одному напрямку – знемаслення її з отриманням чистої, знежиреної, легко утилізованої окалини. Однак і хімічне, і термічне знемаслення – дорогі процеси, що створюють додаткові екологічні та економічні ускладнення. У даний час практично усі дрібнодисперсні залізовмісні відходи утилізують у складі аглошихти. Основними проблемами, що ускладнюють ефективну термічну переробку окалини відомими способами (наприклад, в обертових печах), є утворення настилів при підвищенні температури процесу; спікання оброблюваного матеріалу; низька стійкість вогнетривкої футеровки печей; інтенсивне золовиділення; необхідність доспалявання горючих компонентів, концентрація яких в відведених газах не перевищує 5–7 %; значний пиловиніс; низька питома продуктивність; підвищені капітальні витрати. Перераховані недоліки поглиблюються коливаннями вмісту олії та вологи.

Пропонуються наступні три способи використання замасленої окалини у агловиробництві:

а) окалина шаром у 10 мм укладається поверх шару аглошихти перед запальним горном. Температура горіння аглошихти 1250–1300°C. При запалюванні оливи згоряють (оливи згоряють при температурі 900°C), а продукти горіння видаляються разом з газами, що відходять. Головний недолік цього способу: виникає замикаючий шар на верхньому шарі аглошихти у результаті стікання окалини. Тому процес запалювання аглошихти сповільнюється і частина оливи не встигає згоріти і втягується у шар шихти [«Способ агломерации железорудных материалов»: А.с.: Информации института "Черметинформация", 1975, сер.22, вып.5, с. 6. // Ростовский В.И., Плискановский С.Т., Иванов А.И., Исполатов В.Б., Гладуш Д., Ручкин И.И., Жунев А.Г.; Донецкий ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт; Заявл. 17.12.81; Опубл. 15.04.84, Бюл. № 14];

б) більш ефективним є спосіб утилізації, коли окалина вторинних відстійників попередньо змішується з колошниковим пилом і ошлаковується. Огрудкована суміш укладається аналогічно попередньому способу, при цьому не відбувається зниження газопроникності аглошихти і практично усі нафтопродукти вигорають у запальному горні [«Способ агломерации железорудных материалов»: // Голубов А.Ф., Ростовский В.И., Беловодов Н.Н., Падалка В.П., Фоменко С.И., Перистый М.М., Овсянников В.А., Пономарев Е.З., Исполатов И.Б., Вухтаев В.В.; Донецкий ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт.; Заявл. 07.04.87; Опубл. 07.03.89, Бюл. № 9].

в) унікальна інноваційна технологія ВНІМТ, що ґрунтується на низькотемпературній обробці замащеної окалини високошвидкісним потоком продуктів повного спалювання палива в установці вихрового (циклонного типу). При цьому видалення масла і води проводиться шляхом їх сублімації при нагріванні матеріалів до температури 400–450°C без доступу кисню. Потік теплоносія, необхідний для теплової обробки, утворюється в результаті факельного спалювання палива при мінімумі надлишку повітря в топці циклонічної печі. У результаті в відведених газах відсутній вільний кисень або його концентрація мінімальна, що запобігає займанню парів масла в робочому просторі реактора.

Найбільш успішно в зарубіжному досвіді використовується утилізація окалини шляхом брикетування. Цей спосіб широко застосовується у металургійному виробництві США, Великобританії, Німеччини, Польщі, Південної Кореї, Японії, Франції. Виявляють цікавість до цієї проблеми Китай, Індія, Туреччина. В останні роки і в Україні брикетування також набуло особливої актуальності.

Для першого варіанту циклом досліджень показані і офіційно визнані істотні переваги безобжигового окусковання, що виразилося у трьох-, п'ятикратному зниженні технологічних паливних чисел (сумарних енергетичних витрат). Відповідно до цього у стільки ж разів скорочується забруднення навколишнього середовища. Використання цієї схеми дозволяє повністю утилізувати практично увесь пил і окалину, що утворюється у прокатному виробництві, що призводить до збільшення виходу металу, до зниження плати за забруднення навколишнього середовища. Дана схема також дозволяє підвищити економічний та екологічний ефект виробництва [Рынок отработанных смазочных материалов / В.М. Школьников, А.А. Гордукалов, В.И. Юзефович / Материалы международной научной конференции «Новые технологии в переработке и утилизации отработанных масел и смазочных материалов». – Москва, 2003. – С. 14-15].

Другий спосіб поводження з замащеною прокатною окалиною представляє собою технологію видалення із вторинної окалини оливи, що утворюється при прокатці. Дана технологія включає в себе збір забрудненої оливою вторинної окалини та визначення вмісту оливи. Частина окалини, що містить більше 0,5 % оливи, суспендується у воді, у результаті отримують водну суспензію, що містить 25 % твердих компонентів. Суспензію піддають інтенсивному перемішуванню, отримуючи суспензію окалини з пониженим вмістом мастила в емульсії оливи у воді. У результаті подальшого поділу фаз отримують вторинну окалину з пониженим вмістом мастила і емульсію мастила у воді. Окалину з

пониженим вмістом оливи промивають у проточній воді, отримуючи окалину, що не містить оливи, і відходи промивної води, яку потім використовують вдруге для отримання суспензії окалини у воді на початковій стадії. Всі стадії обробки повторюють до отримання окалини, що містить менше 0,5 % оливи. Потім знемаслену окалину сушать. Для впровадження у ТОВ «ЛКМЗ» можна запропонувати останній, третій варіант. Схема переробки прокатної окалини наведена на рис. 1.

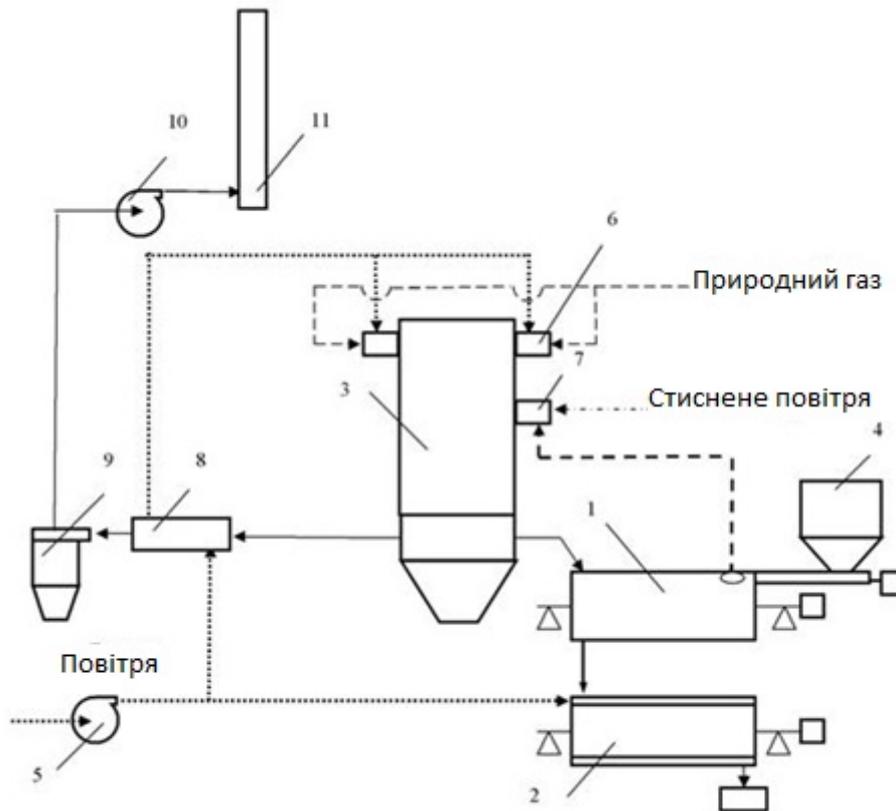


Рис. 1. Технологічна схема установки ВНІМТ

Окалина завантажується в бункер 4 і шнековим живильником подається в випалювальний реактор 1. Рухаючись назустріч потоку продуктів згоряння, окалина послідовно проходить стадії сушки, нагріву і знемаслення. Термообробка окалини відбувається за рахунок тепла потоку продуктів згоряння, що надходять з циклонічної печі 3. Подача продуктів згоряння в реактор 1 виробляється тангенціально через звужуюче сопло. Обезмаслений матеріал з температурою 600 °C вивантажується в реактор-охолоджувач 2, де охолоджується повітрям, що поступає від вентилятора 5. Відходять з обжигового реактора димові гази, що містять пари масла (піролізний газ) через газохідну систему, надходять на спалювання в циклонну піч 3. Для транспортування піролізного газу використовується ежекторна установка 7. Повітря від вентилятора 5 підігрівається в рекуператорі 8, подається на горіння в газовий пальник 6. Димові гази охолоджуються в рекуператорі 8, очищаються в циклоні 9 і димососом 10 викидаються в димову трубу 11.

Дана ВНІМТ технологія має переваги в порівнянні з традиційними: більш низькі капітальні та експлуатаційні витрати; підвищена надійність при експлуатації; більш компактна, ніж традиційні установки; знижені витрати енергоресурсів на термообробку. Зображення даного устаткування приведене на рис. 2.



Рис. 2. Фото установки для переробки масловмісної прокатної окалини

Технічні характеристики запропонованої установки наведені в табл. 1.

Попередні техніко-економічні розрахунки показують, що капітальні, експлуатаційні та енергетичні витрати будуть знижені завдяки впровадженню даної технології. Потреба у переробці прокатної окалини велика, оскільки вирішується проблема отримання з відходів цінної вторинної сировини для металургійних і суміжних виробництв; виключаються скидання окалини у відвали; з'являється можливість переробки великої кількості окалини, що вже накопичено у відвалах трубопрокатних і листопрокатних виробництв; поліпшується екологічна ситуація у місцях розташування прокатних виробництв; виключаються виплати штрафів за забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами. Спосіб дозволяє знизити капітальні та експлуатаційні витрати. Для його здійснення не потрібно додаткового підведення теплової та електроенергії, навпаки, тепло від згоряння оливи використовується безпосередньо у процесі високотемпературної обробки замасленої прокатної окалини.

Переваги даного способу в тому, що взагалі вирішено завдання переробки замасленої прокатної окалини, що її не скидають у відвали, а в результаті пере-

робки отримують цінну вторинну сировину для металургійних виробництв, крім того, це найбільш економічно вигідний варіант і ця технологія вже випробувана та може вважатися надійною. ВАТ «Синарський трубний завод» (м. Каменськ-Уральський Свердловської області) в 2009 р. вже ввів в експлуатацію дану установку, яка переробляє до 12 т/добу замаслених рідких відходів і до 14 т/добу замасленої прокатної окалини.

Таблиця 1

Технічні характеристики установки ВНІМТ Альфа Лаваль

Характеристика	Одиниця вимірювання	Значення
Продуктивність по готовій окалині	кг/год.	450
Продуктивність по сирій окалині	кг/год.	600
Вологість вихідної окалини	%	20
Вміст олії	%	5
Витрата природного газу	м ³ /год.	19,5
Випалювальний реактор		
Діаметр	мм	850
Довжина	мм	3600
Вага металоконструкцій	т	4,8
Вага футеровки	т	4,4
Реактор - охолоджувач		
Діаметр	мм	850
Довжина	мм	3600
Вага металоконструкцій	т	5,8
Циклонна піч		
Діаметр	мм	1160
Довжина	мм	8030
Вага металоконструкцій	т	7,8
Вага футеровки	т	32,2
Питома витрата природного газу на готовий матеріал	м ³ /т	43,3

Пропонована технологія дозволяє також утилізувати :
маслостоки і відпрацьовані мастильно-охолоджуючі рідини з вмістом олії до 5-25% ,

нафтошлами з вмістом нафтопродуктів більше 25 %;

замаслену дрантя, тканини, деревну тирсу з вмістом олії понад 15%;

При цьому є можливість отримувати сухий продукт у вигляді окалини, яка відповідає ГОСТ 2787-75; високотемпературні гази, теплоту яких можна ефективно використовувати для вироблення теплової та електричної енергії.

Здійснення даного способу в установці для переробки замасленої прокатної окалини є простим і надійним у реалізації. Виробництво екологічно чисте, тому що немає ні рідких, ні твердих токсичних відходів, а також не відбувається забруднення навколишнього середовища. Прокатна окалина у присутності тільки гарячого і зріджувального повітря працює сама на себе, на очищення від оливи. Відсутні будь-які добавки хімічних реагентів. У результаті переробки отримують суху знемаслену окалину, що представляє собою товарну продук-

цію, тобто вторинну сировину, що придатна для отримання феросплавів в електрохімічному виробництві, агломератів для доменного виробництва, а також залізовмісних компонентів. Економічне обґрунтування запропонованих нововведень спирається на зіставлення економічних результатів від провадження заходів з витратами на їх здійснення [1, 2]. Для цього є доцільним використання показника порівняльної економічної ефективності:

$$E_n = P - Z, \quad (1)$$

де P – економічний результат, грн; Z – затрати на проведення конкретного заходу, грн.

Економічний результат природоохоронних заходів (P) найчастіше визначається за величиною економічних збитків (U_{np}), яких завдяки цим заходам вдавалося уникнути, та величиною додаткового доходу (ΔD) від повторного використання матеріалів, тобто:

$$P = U_{np} + \Delta D, \quad (2)$$

де U_{np} – відвернений збиток, грн; ΔD – додатковий прибуток від утилізації речовин або їх вторинного використання, грн.

Річні витрати на здійснення заходів визначаються за формулою:

$$Z = C + E_n \times K, \quad (3)$$

де C – поточні (експлуатаційні витрати), грн; E_n – коефіцієнт приведення одноразових вкладень до одного року (інколи в літературі він називається коефіцієнтом дисконтування або нормативним коефіцієнтом ефективності капітальних вкладень. Розміри цього коефіцієнта залежать від норми прибутковості в галузі, термінів експлуатації обладнання та устаткування, макроекономічних показників і в середньому $E_n = 0,12 - 0,15$ (без урахування інфляції)); K – одноразові (капітальні) вкладення, грн.

Величина збору за розміщення відпрацьованої оливи визначається:

$$Прв = \sum_{i=1}^n (Mli + Mni \cdot Kn) \cdot Нбі \cdot Кт \cdot Ко, \quad (4)$$

де $Прв$ – величина зборів за розміщення відходів, грн.; Mli – обсяг відходів i -го виду в межах ліміту (відповідно до дозволів на розміщення), т.; Mni – обсяг понадлімітного розміщення відходів (різниця між обсягами фактичного розміщення і лімітом) i -ї забруднюючої речовини т.; Kn – коефіцієнт кратності збору за понадлімітне розміщення відходів ($Kn=5$); $Нбі$ – норматив збору за тонну, у гривнях за тонну (грн./т), залежить від класу небезпеки відходу і складає:

для 1 класу – 822,52 грн./т;

для 2 класу – 29,96 грн./т;

для 3 класу – 7,52 грн./т;

для 4 класу – 2,93 грн./т;

$Кт$ – коригувальний коефіцієнт, що враховує розташування місця розміщення відходів (для майданчика, що розташований у межах населених пунктів, приймаємо $Кт = 3$); $Ко$ – коригувальний коефіцієнт, що враховує облаштування місця розміщення відходів (для обладнаного майданчика приймаємо $Ко = 1$).

Вихідні дані для розрахунку плати за розміщення відходу відпрацьованих олив у локомотивному депо станції «С» в 2012 році наводяться в табл. 2.

Вихідні дані для розрахунку плати за розміщення відходу
відпрацьованих олив у ТОВ «ЛКМЗ» за 2012 рік

№	Назва відходу	Клас небезпеки	Обсяг відходів, т
1.	Відпрацьовані оливи	2	135,0

Величина плати за розміщення відходів визначаємо за формулою (4) з урахуванням того, що понадлімітна кількість відпрацьованих олив дорівнює нуль: $P=135,0 \times 29,96 \times 3 \times 1=12133,8$ грн.

Вартість 1-ї тонни свіжої індустриальної оливи ІПП-18 складає 10700 грн/т, регенованої – 4173 грн/т, тобто відновлені оливи на 39 % дешевше ніж свіжа. Тобто, ефект від використання 1 т регенованої оливи ІПП-18 складає: $10700 - 4173 = 6527$ грн. Після регенерації 90 т індустриальної оливи ІПП-18 вихід очищеного продукту складає 81 т (90%), тоді ефект використання складатиме: $6527 \times 81 = 528687$ грн. Вартість 1-ї тонни свіжої моторної оливи М-14В₂ складає 12800 грн/т, регенованої – 7450 грн/т, тобто відновлена олива на 42 % дешевше, ніж свіжа. Ефект від використання 1 т регенованої оливи М-14В₂ складає: $12800 - 7450 = 5350$ грн.

Після регенерації 45 т моторної оливи М-14В₂, вихід очищеного продукту складає 40,5 т, то ефект використання складатиме: $350 \times 40,5 = 216675$ грн. Отже: $\Delta D = 528687 + 216675 = 745362$ грн. Економічний результат заходів розрахуємо за формулою (2): $P = 12133,8 + 745362 = 757495,8$ грн.

Вартість на регенерацію 1-ї тонни оливи становить 260 грн. Вартість регенерації 135 т відпрацьованих олив складатиме: $C = 135 \times 260 = 35100$ грн.

Капітальні затрати на установку Альфа Лаваль ОСМ 304 для очищення відпрацьованих олив складатимуть 360 тис. грн. Річні витрати на здійснення запропонованих заходів визначаються за формулою (3):

$$Z = 35100 + 0,14 \times 360\ 000 = 85500 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність розраховується за формулою (4):

$$E_n = 757\ 495,8 - 85500 = 671995,8 \text{ грн.}$$

Так як розрахунок економічної ефективності має позитивний результат, то впровадження в ТОВ «ЛКМЗ» установки Альфа Лаваль ОСМ 304 для очищення відпрацьованих олив є вигідним. Окупність установки «УВР» утилізації відпрацьованих олив розрахуємо за формулою:

$$O_k = Z/P = 85500 / 671995,8 = 0,13 \text{ року} = 1,5 \text{ місяців.} \quad (5)$$

Отже, повна окупність установки Альфа Лаваль ОСМ 304 для регенерації відпрацьованих олив вартістю у 360 тис. гривень можлива приблизно за півтора місяці.

Науковий керівник докт. техн. наук, проф. Новіков Ф.В.

Список літератури: 1. Пономаренко В.С., Гриньова В.М., Лисиця Н.М., Ястремська О.М. Економічні та соціальні аспекти управління інвестиційною діяльністю: Монографія. – Харків: вид. ХДЕУ, 2003. – 180 с. 2. Попков В.П. Организация и финансирование инвестиций. – СПб: Питер, 2001. – 224 с.

ГОСПОДАРСЬКИЙ ТА ЗАГАЛЬНИЙ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ

Міщенко А.Н.

(Одеський національний політехнічний університет)

This paper analyzes the economic mechanism and overall organizational-economic mechanism of quality control

На сучасному етапі розвитку економіки України спостерігається загальне усвідомлення стратегічної ролі якості для успішної роботи підприємств та їх економічної цінності для країни в цілому.

Ще у 2001 році кабінет міністрів та Президент України з метою підвищення якості та конкурентоспроможності вітчизняної продукції, забезпечення захисту інтересів споживача та сприянню вступу України до європейського та світового економічного простору видали указ “Про заходи, спрямовані на підвищення якості вітчизняної продукції” [1]. В рамках цього указу були розглянуті і проблеми підвищення ефективності роботи господарського механізму країни. Цей документ планує розробку та нововведення нормативно-правових актів державної підтримки втілення на підприємствах систем управління якістю та свідчить про об’єктивну оцінку важливості цього магістрального напрямку в економічному механізмі господарської системи країни.

Україна, вступивши на шлях ринкової економіки пізніше ніж інші країни, має можливість позбавитися помилкових рішень та відхилень у процесі вирішення проблем підвищення якості продукції.

Відомо, що господарський механізм забезпечує взаємодію підсистеми, що управляє, та підсистеми, якою управляють. та невід’ємно пов’язаний з реальними завданнями виробництва, які не в останню чергу визначаються об’єктивними законами виробництва, у тому числі законом відповідності рівня розвитку інтелектуального та виробничого потенціалу суспільства і характеру суспільно-виробничих і політичних відносин.

В політичній економії відрізняють дію економічних законів від їх свідомого використання. Механізм економічних законів і господарський механізм є поняттями різних рівнів: перший передбачає об’єктивну необхідність економічних законів, другий використовується в конкретній господарській практиці.

Центральним у системі господарського механізму є економічний механізм, що діє через економічні інтереси як усвідомлені матеріальні потреби людей та складається з комплексу економічних способів, методів, нормативів, за допомогою яких реалізуються об’єктивні економічні закони.

Господарський механізм – складна суспільна система, для якої характерний досить високий ступінь невизначеності притаманних їй зв’язків і відносин. Це відкрита, непостійна система з гнучкими і переважно нестійкими внутріш-

німи і зовнішніми зв'язками [2]. Такий характер системи обумовлює актуальність дослідження ролі економічних законів у розвитку господарського механізму. Досвід вітчизняних та закордонних підприємств, які досягли найкращих ділових результатів в умовах загострення конкурентної боротьби показує, що найбільш потужним та практичним способом рішення виникаючих в бізнесі проблем може стати підхід до управління якістю продукції. Його головна ціль – задоволення запитів споживачів шляхом безперервного підвищення якості продукції та внутрішніх процесів діяльності підприємства. Таким чином, стає ясною необхідність навіть у структурі внутрішнього економічного механізму керуватися загальними законами економічного розвитку, наприклад загальним механізмом управління якістю.

По ряду об'єктивних та суб'єктивних причин українські підприємства вступили у загальну боротьбу за якість продукції з значним запізненням та роблять у цьому напрямку тільки перші кроки, засвоюючи окремі елементи цієї системи, часто не поєднуючи їх один з другим. Така ситуація має як від'ємні, так і позитивні риси. Беручи до уваги та творчо перероблюючи досвід інших країн ми можемо не повторювати їхні помилки, а спробувати вирішати виникаючі проблеми відразу на вищому рівні.

Значну допомогу у цьому надають загальні закони, зокрема загальний закон управління якістю продукції, який важливо не тільки усвідомлювати у цілому, але і володіти методами його втілення у життя з урахуванням особливостей окремих галузей промисловості.

З метою нововведення системи управління якістю продукції пропонується створення на підприємствах спеціалізованих служб якості, основною задачею яких повинно стати застосування на всіх рівнях управління ефективних методів контролю та засобів досягнення цілей в області якості [3]. Для роботи у таких службах необхідно мати штат спеціально підготовлених фахівців в області управління виробництвом – менеджерів, а їх кількість недостатня і професія ця не розповсюджена у нашій країні. Наявність спеціалістів, спроможних забезпечити задовільний рівень управління, потребує створення бази для їх підготовки. Такі спеціалісти повинні усвідомлювати необхідність змін та бути спроможними відчувати необхідність концепцій покращення якості своєї діяльності та діяльності підприємства в цілому. Під час цілеспрямованої роботи над удосконаленням систем управління якістю спеціалісти підвищують свій професійний рівень та подальше зможуть розв'язувати більш складні завдання.

Рух за якість виник не випадково, він обумовлений дією об'єктивного економічного закону, сформульованому ще на початку 20 сторіччя, та зазначившemu, що з розвитком виробничих сил зростає суспільне споживання. Для задоволення постійно зростаючого суспільного споживання і мають бути спрямовані інтенсивні розробки адекватних способів по підвищенню рівня якості продукції та діяльності вітчизняних підприємств.

Таким чином, вище означені дані вказують на те, що загальний закон управління якістю є складовою частиною господарського механізму, спрямований на удосконалення його функціонування.

Список літератури: 1. Указ Президента України №113/2001 от 23.02.2001 “О мероприятиях по повышению качества отечественной продукции”. 2. Внутрішній економічний механізм підприємства: навч. посібник / Грешко М.Г. и др. – К.: КНЕУ, 2001. – С. 25-40. 3. Иванов В.Н. Особенности и перспективы движения за качество. Стандарты и качество / 1-2003.

УДК 658. 821. 338

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Літвінов М. С., студент 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

The work proved effective application conditions of transport and storage of the company

Виробничий комплекс ТМ «Солодка Мрія» характеризується переважно ручною працею при виробництві продукції, де використовуються технологічні лінії з виробництва слойки, мармеладних та шоколадних виробів.

Розглянемо технологічну систему діяльності підприємства (рис. 1).



Рис. 1. Схема технологічного процесу транспортно-складських робіт на підприємстві

Основні етапи транспортно-складських робіт:

1. Закупівля сировини – сировина «яйця, масло, мука, цукор» – контролюється менеджером. В розпорядженні підприємства є вантажний фургон «ГАЗ 4301» 1994 року випуску з водієм.

2. Доставка сировини здійснюється на транспортному засобі підприємства, склад постачальника сировини знаходиться поруч з виробничою зоною.

3. Виготовлення продукції складається з приготування суміші, змішування сировини в міксері до потрібної структури, надання форми продукції, випікання в печі «КЕП-400», застигання випічки.

4. Внутрішньо-складські роботи – охолоджене печиво доставляють у зону фасування, яка знаходиться на складі готової продукції.

5. Формування замовлень здійснюється на основі даних програми 1С: Підприємство 8.

6. Транспортування контролюється менеджером, здійснюється на малотоннажному автомобілі.

Поетапне дослідження технологічного процесу виявило проблемний момент у ході доставки замовлень, а саме те, що автомобілі, які використовуються в цілях транспортування, мають ряд недоліків, бо потребують модернізацію (заміна старих деталей новими), ремонт декілька разів на рік, високі витрати палива.

Проблемою та напрямком для подальших досліджень є необхідність заміни автомобіля більш вдосконаленим для скорочення витрат на паливо та ремонтні роботи

Оскільки робота старої вантажівки не є ефективною та несе за собою багато витрат, пропонується заміна на більш сучасну вантажівку «ГАЗель БІЗНЕС» з дизельним двигуном «CUMMINS ISF2.8».

Надійність дизельних силових агрегатів Cummins дуже висока. Значною мірою своєю високою ефективністю і ресурсом силові агрегати Cummins ISF2.8 зобов'язані унікальній конструкції газорозподільного механізму.

Ефективність транспортно-складської системи на підприємстві залежить в першу чергу від економії коштів на паливі.

1. Встановимо економію коштів на паливі:

Середній обсяг витрат на паливо за одну зміну для «ЗАЗ-33021» (8 л) і середня ціна на паливо «А-92» складає 13,95 грн., тоді $8 \text{ л} \cdot 13,95 \text{ грн} = 111,6 \text{ грн}$. Середній обсяг витрат на дизельне паливо для «ЗАЗ-БІЗНЕС» (6 л), середня ціна на дизельне паливо складає 12,05 грн., тоді $6 \text{ л} \cdot 12,05 \text{ грн} = 72,3 \text{ грн}$. В результаті: $111,6 \text{ грн} - 42,3 \text{ грн} = 39,3 \text{ грн}$.

Економія коштів на паливі за одну робочу зміну складе 39,3 грн.

2. Підприємство може продати старе авто за ринковою ціною 60 тис. грн.

3. Розрахуємо середню ціну від продажу печива за зміну (середня ціна на печиво складає 16,90 грн., середня добова виробка печива 1 600 кг., собівартість сировини 18 000 грн.), тоді $1600 \text{ кг} \cdot 16,90 = 27040 \text{ грн}$. В результаті отримано $27\ 040 \text{ грн} - 18\ 000 \text{ грн} = 9\ 040 \text{ грн}$. прибутку за зміну від продажу печива (при повній загрузці печі та розширеному каналу збуту печива).

4. Ціна на вантажне авто «ГАЗель-БІЗНЕС» складе 165 000 грн.

Оскільки від продажу старого авто отримано 60 000 грн, то можна розрахувати прибуток за зміну, та термін окупності:

$(165\ 000 \text{ грн} - 60\ 000 \text{ грн}) / (9\ 040 \text{ грн} + 39,3 \text{ грн}) = 11,5 \text{ (змін)}$

Висновки. 1. Заміна старого авто на нове може окупитися за 11,5 робочих змін, за умови продажу старого авто, повної загрузки нових та розширення каналу збуту. Отже покупка нового авто буде доцільною.

2. Визначено шлях удосконалення системи транспортування продукції на підприємстві «Солодка Мрія». Технологія виробництва продукції удосконалена за рахунок заміни засобу праці, що дає можливість скоротити матеріальні витрати та повисить продуктивність праці.

Науковий керівник канд. техн. наук, доц. Шкурупій В.Г.

УДК 658. 821. 338

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УМОВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СКЛОТАРИ

Кашкіна Ю.Є., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

In this paper the feasibility study conditions for increasing the efficiency of production of glass at the "Merefyanskoe Glass Company"

ТОВ «Мерефянська скляна компанія» виготовляє виключно склотару (пляшки і банки з безбарвного скла). Для виробництва скла потрібні дві компоненти: шихта та склобій. Шихту виготовляють з піску і соди з деякими хімічними добавками. Склобій - це бите скло, яке додатково подрібнюють, потім обчищають у кілька етапів. Готова суміш надходить в склотарний цех. Піч, у якій виплавляють вихідну масу, з якої далі відливають вироби зображено на рис. 1 [1, 2].



Рис. 1. Піч для виготовлення вихідної маси для виготовлення виробів зі скла

Піч працює на газу. Тут плавлять вихідну масу, з якої далі відливають вироби. В середині печі встановлена відеокамера. Можна спостерігати полум'я з форсунок і розплавлену масу. Далі розплавлена маса подається на машини, які вже безпосередньо виготовляють пляшки. Спочатку це краплі строго дозовано-

го обсягу, які падають приблизно кожену секунду. Пляшка відливається в два етапи: крапля підхоплюється і внизу формується горлечко. Потім заготовку перевертають, щоб горлечко знаходилося зверху, поміщають заготовку в форму і дмуть повітря у вже сформоване горлечко. Скло заповнює форму і в результаті виходить пляшка.

"Технологія NNPB (Narrow Neck Press and Blow - вузькогорле пресовидування) відрізняється тим, що зазвичай для виробництва вузькогорлої тари (пляшок) використовується процес подвійного видування, тоді як для виробництва широкогорлої тари (банок) - процес пресовидування. NNPB - це пресовидування, застосоване при виробництві вузькогорлої тари."

В даному випадку має місце безперервне виробництво. На відміну від дискретного, яке можна розбити на окремі операції, між якими можуть бути будь-якої тривалості паузи, тут все рухається безперервно. Не можна на ніч вимкнути піч (як і домну). Теоретично масу можна злити з печі, наприклад, для ремонту. Але застигле в печі скло - це нічний кошмар для інженерів. Тому виробництво працює цілодобово, у три зміни. У складеному цеху працюють у дві зміни. Ця сторона цеху називається "гарячий кінець", а посада працюючих тут робітників звучить як "оператор гарячого кінця". Інша половина цеху називається "холодний кінець" - там йде контроль якості та пакування. Далі вже готові пляшки йдуть одна за одною на контроль. Весь контроль виконується автоматично за багатьма параметрами у кілька етапів. На виході з камери стоїть спеціальна форсунка, яка потоком повітря здуває браковані пляшки. Далі струнками рядами пляшки йдуть на упаковку: на палети і під термоусадку.

"Пляшки NNPB мають характерні ознаки: відсутність так званого «поясу» (settle wave) на корпусі пляшки і наявність «точок» (найчастіше - на плечах пляшки), які залишаються від застосовуваного в NNPB вакууму. Впровадження NNPB дає можливість значно зменшити вагу склотари та забезпечити рівномірний розподіл скла по стінках пляшки у процесі формування, що, в свою чергу, робить пляшку більш міцною і мінімізує бій на лініях розливу" [3].

Проаналізувавши весь технологічний процес на ТОВ «Мерефянська скляна компанія», можна зазначити, що він відповідає сучасному рівню. На заводі встановлено обладнання німецької компанії HEUE International, світового лідера з виробництва обладнання для NNPB технології. Виробничі потужності заводу дозволяють випускати склотару об'ємом до 2 л як стандартних зразків, так і ексклюзивних моделей.

Полегшена склотара, виготовлена по системі NNPB, має безліч переваг. По-перше, за вагою вона на 20-30% легше, ніж при виробництві звичайних СТ-способом. Це досягається за рахунок унікальності технології, що в свою чергу дозволяє суттєво знизити собівартість склотари. Також унікальна скловарна піч рекуперативного типу потужністю 265 т скломаси на добу дозволяє знизити витрати на енергоресурси. По-друге, зниження ваги склотари допоможе скоротити витрати на логістику (при транспортуванні наземним транспортом споживач платить за вагу вантажу). По-третє, технологія NNPB передбачає відсутність різновисочинності стінок готової продукції, що істотно збільшує міцність склотари, завдяки чому мінімізується склобій при транспортуванні і на лініях роз-

ливу. Крім того, пляшка з полегшеної склотари візуально виглядає набагато естетичніше, що особливо важливо для елітних брендів і набагато більше подобається споживачам [4].

Одним з головних переваг нового виробництва є наявність на виробництві кількох систем контролю якості:

- автоматичні системи контролю роботи скловарної печі і IS-машин;
- системи повного контролю якості склотари, які включають інспекційні машини для контролю якості за 50 параметрами на трьох лініях виробництва;
- система управління технологічною якістю «HEYE International System» – потужний технологічний інструмент, що дозволяє оперативно виявляти всі види браку, проводити його ранню діагностику та профілактику.

Використання для виготовлення шихти складових компонентів високої якості дозволяє споживачеві гарантовано отримати склотару належної якості за прозорості та кінцевої структури скла. Зазначена вище багаторівнева система контролю якості і використання для виробництва склотари високоякісної сировини, дозволяє надати клієнтам ТОВ «Мерефянська скляна компанія» повну гарантію відвантаження якісної склотари [5]. Проте, прибуток та обсяги продажу підприємства не досить високі. Це може означати, що в технології все ж є якісь недоліки, які не видно з першого погляду.

Підприємство виробляє вироби виключно з безбарвного скла. Але не можна не враховувати потреби підприємств, які виробляють напої, товари яких набагато естетичніше будуть виглядати саме в кольорових пляшках. Це, наприклад, винна продукція (червоне, плодово-ягідне вино), елітні напої (віскі, коньяк, лікери), різні сорти пива, які, як правило, ніколи не продаються в пляшках з безбарвного скла. Але, кольорова лінія виробництва пляшок могла б значно підвищити обсяг продажів, а також і обсяг прибутку.

Для виробництва пляшок іншого (коричневого) кольору необхідно придбання ще однієї скловарної печі. Скловарна піч є основним тепловим агрегатом скляного виробництва, в якій при певних температурах здійснюється плавлення скляної шихти, отримання якісної скломаси та вироблення виробів.

Ванна скловарної печі представляє собою складний теплотехнічний агрегат, конструкція якого залежить від способу обігріву, напрямку руху газів, способу розділення басейну та полум'яного простору. Вона складається з робочої камери, пальників, пристроїв для використання тепла відхідних газів (рекуператорів або регенераторів), перевідних клапанів, фундаментів, опор та каркасу.

В скляній промисловості найбільш поширені безперервно діючі ванні печі. Їх застосовують для варіння та вироблення листового, сортового, пляшкового, тарного та іншого масового промислового скла. Ці печі більш економічні, продуктивні і легко піддаються механізації та автоматизації (рис. 2).

Існують такі види ванних печей:

1. Малі ванні печі безперервної дії. Їх використовують при виробленні штучного скла - тарного, сортового, парфумерного і аптекарського посуду - механізованим або ручним способом. У цих печах застосовують переважно підковоподібне напрямом газів. Ширина басейну печі з підковоподібним напрямком полум'я 3-4 м, довжина до 15 м. Площа варильної частини малих печей колива-

ється в межах 10-50 м². При опаленні таких печей висококалорійним паливом повітря підігрівають в рекуператорах.

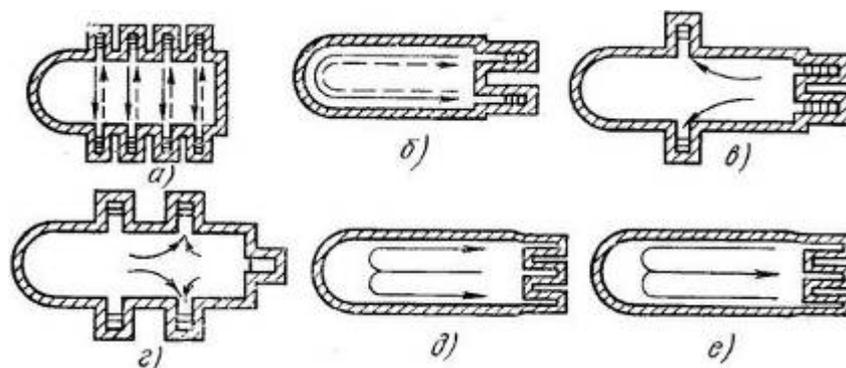


Рис. 2. Види скловарних печей: а – регенеративна піч з поперечним напрямком полум'я; б – те ж з підковоподібним; в – рекуперативна піч з поздовжнім напрямком полум'я; г – те ж з комбінованим, д, е – те ж, з підковоподібним [6]

2. Середні ванні печі безперервної дії. Їх застосовують для механізованого виробництва консервної тари і пляшок. У цих печах використовують полум'яний, електричний і газоелектричний обігрів. Найбільш поширений тип середніх ванних печей - регенеративна проточна піч з поперечним напрямком полум'я.

3. Великі ванні печі застосовують при варінні і механізованого вироблення листового, сортового і тарного скла. Продуктивність ванних печей, призначених для вироблення сортового посуду і склотари, складає 60-120 т/добу; печей для виробництва листового скла 150-450 т/добу. Площа дзеркала студильної частини печі коливається в межах 60-150% від площі дзеркала варильної частини. Така площа потрібна для зниження температури скломаси, що надходить на виробку[7].

Для даного виробництва потрібні середні ванні печі безперервної дії. Такі печі за будовою і загальним характеристикам приблизно однакові:

1. Країна - виробник - Росія. Вага печі - 1500 кг. Вартість – 58 000 грн.
2. Країна - виробник - Німеччина. Вага печі - 1320 кг. Вартість - 55 000 грн.
3. Країна-виробник - Америка. Вага печі - 1200 кг. Вартість 72 000 грн.

Проаналізувавши ці види ванних печей можна зазначити, що вигідніша піч німецької фірми: вага печі більше, ніж у американської, зате вартість набагато менше. Вартість установки і підготовки даної печі до роботи дорівнює 1 000 грн. Прагнення до більш ефективних умов ведення підприємницької діяльності викликає необхідність здійснення нових проектів і заходів, результатом яких може, наприклад, бути:

- 1) розробка і випуск певної продукції для задоволення ринкового попиту, в тому числі за кордоном;
- 2) удосконалення виробництва продукції на базі використання більш сучасних технологій і обладнання;
- 3) економія виробничих ресурсів;
- 4) організація коопераційних поставок між різними партнерами;

- 5) поліпшення якості продукції;
- 6) підвищення екологічної безпеки і т.д.

Підприємець виступає як самостійний товаровиробник, що діє у відповідному ринковому оточенні. Тому техніко-економічна оцінка будь-якого підприємницького проекту повинна обов'язково враховувати особливості функціонування ринку, зокрема, рухливість багатьох параметрів, що характеризують проект, невизначеність досягнення кінцевого результату, суб'єктивність інтересів різних учасників проекту і, як наслідок, множинність критеріїв його оцінки.

Робота підприємств в ринкових умовах вимагає безперервного вдосконалення виробництва, підвищення його ефективності за рахунок раціонального використання всіх видів ресурсів, постійного поліпшення якості продукції, впровадження передової технології. Успішне вирішення цих завдань значною мірою забезпечує стабільність роботи підприємства і його конкурентоспроможність. До основних показників ефективності впровадження нової техніки відносяться наступні:

- 1) річний економічний ефект від впровадження нової техніки;
- 2) ефективність одноразових витрат на створення нової техніки;
- 3) строк окупності одноразових витрат на створення нової техніки.

Ці показники можуть бути як очікуваними, що дозволяють судити про економічну ефективність планованої до використання нової техніки, так і фактичними, які оцінюють ефективність існуючого обладнання. Економічний ефект може бути визначений як різниця приведених витрат до впровадження і після впровадження нової техніки. Витрати при впровадженні нової технології включають: поточні матеріальні витрати; одноразові витрати на створення нової техніки. Для визначення економічного ефекту впровадження нової техніки необхідно порівняти наведені витрати базового і пропонованого варіанту [8] на основі формули:

$$E = E_2 - E_n \cdot K, \quad (1)$$

де E – річний економічний ефект (річна економічна прибуток); E_2 – річна економія (прибуток), викликана впровадженням техніки; K – одноразові витрати, пов'язані з купівлею техніки; E_n – норма прибутку (нормативний прибуток) (нормативний коефіцієнт ефективності).

Річний економічний ефект являє собою абсолютний показник ефективності. Система вважається ефективною, якщо $E_2 > 0$. Виходячи з формули (1), отримано: $E = 58000 - 0,2 \cdot (55000 + 1000) = 58000 - 11200 = 46800$ грн.

Порівняння величини річного економічного ефекту за різних варіантів дає можливість вибору найбільш ефективного варіанту впровадження техніки з найменшими розмірами річних приведених витрат або з найбільшим річним економічним ефектом. Показник ефективності є відносною величиною:

$$E = \frac{E_2}{K}, \quad (2)$$

де K – витрати на модернізацію техніки.

$$\text{Тоді } E = \frac{58\ 000}{56\ 000} = 1,04.$$

Велике значення має визначення часу, протягом якого повністю окупляться всі одноразові витрати, пов'язані з впровадженням нової техніки. Термін окупності є зворотною величиною коефіцієнта ефективності й визначається [9]:

$$T = \frac{K}{E_2} = \frac{56\,000}{58\,000} = 0,96 \text{ років.} \quad (3)$$

Науковий керівник докт. техн. наук, проф. Новіков Ф.В.

Список літератури: 1. Багров Н.М., Овчарова Г.П., Тульверт В.Ф., Трофимов Г.А. - Экономические основы технологического развития: Учебное пособие / Под ред. проф. С.А. Уварова. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2005. – 181 с. 2. МСК. Мерефянская стекольная компания [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.msk.net.ua/> 3. Екскурсія на Мерефянський стекольний завод [Електронний ресурс]. – Електрон. дан. – Режим доступа: http://www.dp.com.ua/2010/04/blog-post_7970.html 4. Стекло Украины [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – <http://ukrglass.info/index.php3/news/Article1192395686> . 5. Стекло Украины [Электронный ресурс]. – Электрон. дан.: <http://ukrglass.info/index.php3?article=msk> 6. Волгина Ю.М. Теплотехническое оборудование стекольных заводов / Ю.М. Волгина – М.: Стройиздат, 1982.– 276 с. 7. Гулоян Ю.А., Голозубов О.А. Справочник молодого рабочего по производству и обработке стекла и стеклоизделий. – М.: Высшая школа, 1989. 8. Марголин А. Расчет экономической эффективности внедрения системы СТсР UV-Setter // Полиграфия, 2003. – № 3. – С. 19-21. 9. Попова Т.К., Кусмарцева Н.В. Методические указания по расчету экономической эффективности. – М., 2007.

УДК 658. 821. 338

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Сидорова К.С., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

We consider the question of improvement of production technology bakery products

Одним з основних шляхів насичення ринку конкурентоспроможними товарами є широке впровадження у виробництво прогресивних способів переробки традиційної сировини і ресурсозберігаючих технологій, що забезпечує підвищення якості продукції і скорочення виробничого циклу.

Першим заходом для покращення діяльності підприємства буде заміна одного з компонентів. Крім основної сировини, яка використовуються в технології виготовлення хліба, традиційно використовуються і харчові добавки. Пекарський порошок в основному застосовується для швидкого бродіння продовольчих продуктів, що прискорює технологічний процес. З боку хлібопекарських підприємств існує стійкий попит на солодові екстракти, які підвищують вихід хліба, покращують органолептичні характеристики і сприяють тривалому збереженню свіжості. Також все частіше на підприємствах застосовують активні дріжджі з сильною здатністю до бродіння. При застосуванні звичайних дріжджів

джів тривалість бродіння опари складала 1,5 - 3 год., якщо ж застосовувати активні дріжджі, то тривалість бродіння скорочується до 1 год. Це дає змогу скоротити час технологічного процесу, а отже виготовляти більшу кількість виробів, що збільшить прибуток підприємства. Тривалість технологічного процесу по операціям приведено в табл. 1.

Таблиця 1

Тривалість технологічного процесу по операціям

№ операції	Назва операції	Тривалість (хв.)
1	Підготовка сировини до виробництва	30 – 40
2	Заміс опари	10 – 15
3	Бродіння опари	90 – 180
4	Заміс тіста	5 – 10
5	Бродіння тіста	60 – 80
6	Розподіл тіста на шматки	7 – 10
7	Округлення	10 – 15
8	Формування виробів і вистоювання	60 – 120
9	Випічка	55 – 60

Загальна середня тривалість виготовлення хлібобулочних виробів складала 450 хв. (7,5 год.). Якщо ж використовувати активні дріжджі, то тривалість технологічного процесу зменшиться на 1 год. і складе 390 хв. (6,5 год.), що дає змогу збільшити випуск виробів.

На ТОВ «Мечта-1» споживається 15 кВт за годину, а отже 4,2 грн за годину.

Розрахуємо економію виплати заробітної плати в грошовому еквіваленті для директора підприємства ТОВ «Мечта-1», враховуючи 10-годинний робочий день, 6-денний робочий тиждень та 60 працівників, які зайняті виготовленням хлібобулочних виробів. Середня заробітна плата складає 3500 грн на місяць. Отже, витрати на заробітну плату складають 210 000 грн.

Розрахуємо денну заробітну плату на 1 чол.:

$$Z_{nd1} = \frac{Z_{nm}}{K_{pd}}, \quad (1)$$

де Z_{nm} – місячна заробітна плата, грн.; K_{pd} – кількість робочих днів.

Розрахуємо годинну заробітну плату на 1 чол.:

$$Z_{nz1} = \frac{Z_{nd1}}{T_z}, \quad (2)$$

де Z_{nd1} – денна заробітна плата, грн.; T_z – тривалість зміни, год.

Витрати на заробітну плату при тривалості процесу 7,5 год.:

$$Z_{n7,5} = \frac{Z_{nz1}}{T_{mn}}, \quad (3)$$

де T_{mn} – тривалість технологічного процесу, год.

Розрахуємо витрати на заробітну плату при тривалості технологічного процесу 6,5 год. за формулою:

$$Z_{n6,5} = \frac{Z_{nz1}}{T_{mn}}, \quad (3.4)$$

Денна заробітна плата на 1 чол. склала 146 грн. Годинна заробітна плата на 1 чол. склала 14,6 грн. Витрати на заробітну плату при тривалості технологічного процесу 7,5 год. склала 109,5 грн., при 6,5 год. – 94,9 грн.



Рис. 1. Машина для розкатки тіста «Rollmatic» SH 6002

Також для скорочення часу на виробництво і збільшення випуску продукції доцільним буде замінити існуюче обладнання. На ТОВ «Мечта-1» замінимо машину для розкатки тіста марки «Rollmatic» SH-50 на SH 6002, яка є більш продуктивною. Якщо порівняти ці моделі, то потужність SH-50 – 0,55 кВт., швидкість стрічки на виході 25 м/хв., SH 6002 – 0,75 кВт., швидкість стрічки на виході 30 м/хв. При виготовленні батонів закруглені заготовки отримують загор-

танням тіста. Цей процес займає 7 - 10 хв., в залежності від потрібної кількості заготовок. Усередині апарату розташовані один над одним два вала, нижній з яких нерухомо закріплений на корпусі, а верхній – на полозах, завдяки чому можна регулювати товщину розкочування тіста. Машина для розкочування тіста марки «Rollmatic» SH 6002 приведена на рис. 1.

Для випічки хлібобулочних та кондитерських виробів використовують хлібопекарську піч марки "Unox" XB 603G. Країна-виробник Італія пропонує більш вигідну піч моделі XB 895. Головними перевагами якої є: потужність електрична 15,8 кВт, в порівнянні з XB 603G – 9,1 кВт; місткість 10 шт. деків порівнянні з XB 603G – 7 шт. Хлібопекарська піч марки "Unox" XB 895 показана на рис. 2

Виходячи з цього, можна розрахувати як зміниться прибуток підприємства за добу. На одному деко випікається 6 виробів. В печі моделі XB 603G 7 деків, тобто 42 вироби. За добу підприємство виготовляє вироби у два етапи. Тобто з однієї печі 84 вироби. Впровадження нового обладнання, а саме печі "Unox" XB 895 дозволяє збільшити виробництво. Розрахуємо: 10 деків×6=60 виробів. За добу 120 виробів. Отже виробництво збільшилося на 36 виробів з однієї печі. Враховуючи ціну 4грн за одну одиницю виробу, маємо: 84 шт.×4 грн.= 336 грн. – з печі XB 603G; 120 шт.×4 грн.=480 грн. – з печі XB 895. Різниця складає 144 грн. з однієї печі за добу. На підприємстві 3 таких печі, а отже ТОВ «Мечта-1» зможе отримувати на 432 грн. за добу більше. За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень удосконалена технологія випічки хліба шляхом заміни існуючого обладнання та інгредієнтів. При заміні обладнання ТОВ «Мечта-1» може отримувати більший дохід від своєї діяльності.



Рис. 2. Хлібопекарська піч "Unox" XB 895

Науковий керівник канд. техн. наук, доц. Шкурупій В.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

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

Новиков Ф.В., Кленов О.С. Теоретический анализ параметров силовой напряженности механической обработки деталей машин	3
Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Управление упругими перемещениями в технологической системе при круглом шлифовании крупногабаритных деталей с износостойкими наплавочными материалами	6
Гершиков І.В., Новіков Ф.В., Нежебовський В.В. Підвищення ефективності обробки зубчастих коліс на операції зубошліфування	10
Стрельчук Р.М., Дитиненко С.А. Повышение эффективности алмазного шлифования новых инструментальных материалов	16
Рябенков И.А. Определение технологических закономерностей формирования параметров точности при механической обработке	18
Сталинский Д.В., Сизый Ю.А., Романченко П.В., Любимый Ю.Н. Экспериментальные исследования вибрационной характеристики ручных шлифовальных машин	21
Гуцаленко Ю.Г. Проблемы электроразрядных технологий спекания под давлением и алмазного шлифования порошковых материалов с высокоплотной структурой	29
Шкурупий В.Г. Повышение качества обрабатываемых поверхностей деталей при доводке свободным абразивом	32
Андилахай А.А. Определение оптимальной геометрической формы сопла при абразивной обработке деталей затопленными струями ...	35
Брижан Т.М. Экспериментальные исследования технологических параметров развертывания глубоких отверстий	39
Лещенко А.И., Иванов Е.И. Обработка крупногабаритных валков в центрах на станках с программным управлением методом контурного точения	45
Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Технологическое обеспечение точности и производительности механической обработки	52
Фадеев В.А. Основные направления совершенствования финишной механической обработки	58
Якимов А.В., Якимов А.А. Оценка эффективности применения прерывистого шлифования	61
Жовтобрюх В.О., Новиков Ф.В. Розробка ефективних технологій високошвидкісної механічної обробки деталей гідравлічних систем	66
Ковальчук А.Н., Нежебовский В.В. Автоматизация измерения геометрических параметров зубчатых колес после механической обработки	75

Новиков С.Г., Малыхин В.В, Ткаченко Т.Б., Горбатенко С.А., Новиков Ф.В. Высокоэффективные устройства для отделочной обработки алмазно-абразивными брусками	86
Андилахай В.А. Обеспечение точности и производительности круглого шлифования при съеме больших припусков	92
Лищенко Н.В., Ларшин В.П., Макаров С.Н. Повышение эффективности адаптивного управления станками с ЧПУ	95
Хавин Г.Л. Межслойное трещинообразование при сверлении полимерных композитов	99

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Тришевский О.И, Бондаренко С.Н. Проблемы проектирования технологии и оборудования для получения длинномерных замкнутых продольных гофров формовкой в валках	105
Спольник А.И., Волчок И.В., Калиберда Л.М. Применение магнитного резонанса для определения поверхностной энергии металлических ферромагнетиков	110
Спольник А.И., Волчок И.В., Калиберда Л.М. Влияние дефектов радиационного происхождения на теплоемкость арсенида галлия	114
Сичов А.І., Сичова Т.О. Розрахунки на міцність тонкостінних елементів обладнання переробних виробництв в умовах нелінійного деформування ..	117
Бурлака В.В., Малець О.М., Ольшанський В.П. До розрахунку релаксаційних автоколивань у скребкових конвеєрах	120
Богданович С.А. Аппроксимация решения уравнений математической модели процесса в барабанном скальператоре	123
Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. ВБК – метод в расчетах колебаний осциллятора переменной жесткости	127
Чижова О.В. Переваги виробництва вогнестійких кабелів з ізоляцією із полімерних композицій, які не містять галогенів	132
Болобан А.К., Савченко Н.Ф. К выбору методов механизированной разгрузки смерзающихся грузов	135
Марченко К.Ю., Савченко М.Ф. Шляхи удосконалення технології маркетингових інструментів на прикладі виготовлення візиток	138
Крюк А.Г., Осикова А.М. Використання газової суміші у якості захисного газу при дуговому зварюванні	140
Шустова К.В. Эффективность і перспективність використання гідроабразивних установок для розпилювання гранітних блоків	143
Петков А.А. Экспериментальные исследования поражения стержневого молниеотвода	146

3. ЕКОНОМІКА І ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОИЗВОДСТВА

Бенин Е.Ю. Управление себестоимостью изготовления машиностроительной продукции	150
---	-----

Новиков Д.Ф. Инвестиционная деятельность при модернизации машиностроительных предприятий	153
Новиков Д.Ф, Оспищева А.К. Повышение конкурентоспособности машиностроительной продукции на основе снижения себестоимости металлообработки	157
Назаренко В.Б. Основные тенденции снижения себестоимости продукции машиностроительного комплекса	160
Тітова М.Г. Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу виготовлення упаковки продукції	163
Ткачук О.О. Удосконалення технології фільтрування на виробництві олігоефіракрилатів МГФ-9	166
Мироненко Ю.О., Дитиненко Т.С. Удосконалення технології утилізації окалини на ТОВ «Лозівський кузнечно-механічний завод»	170
Міщенко А.Н. Господарський та загальний організаційно-економічний механізми управління якістю продукції	178
Літвінов М. С. Ефективність застосування транспортно-складської системи на підприємстві	180
Кашкіна Ю.Є. Техніко-економічне обґрунтування умов підвищення ефективності виробництва склотари	182
Сидорова К.С. Удосконалення технології виробництва хлібобулочних виробів	187

Научное издание

Труды 19-й Международной научно-практической конференции

ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

25–26 июня 2014 года, г. Харьков

Составили: Новиков Федор Васильевич
Фадеев Валерий Андреевич

Ответственный за выпуск
Фадеев В.А.

Оформление оригинал-макета
Новиков Д.Ф.

Подписано к печати 12.06.2014 г. Формат 60X88/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 11,9. Уч.-изл. л. 9,8
Тираж 200. Заказ № 193

Отпечатано Ч.П. Озеров
г. Харьков, ул. Университетская, 33/9
Свидетельство о госрегистрации № 818604 от 02.03.2000