



Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ИНБОР-ЦЕНТР»

03148, Украина, г. Киев, пр-т Леся Курбаса, 2-А

е-mail: 5098385@ukr.net

<http://inbor-centre.prom.ua>

тел./факс: (044) 407-93-57,

моб.: (067) 509-83-85, (050) 381-2388

СВЕРЛА, ФРЕЗЫ, РАЗВЕРТКИ, РЕЗЦЫ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ И СТАЛЕЙ

Предприятие специализируется на изготовлении концевых инструментов \varnothing 0,35... 20,0 (в том числе нестандартных многолезвийных) малыми партиями методом шлифования. Мы постоянно инвестируем в расширение ассортимента, контроль качества, повышение уровня обслуживания заказчиков.

Параметры нашей продукции совершенствуются на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации применительно к **конкретным условиям заказчика** на основе результатов систематических производственных испытаний.

Мы стараемся **оперативно** поставить нашим заказчикам не только инструменты высшего качества, но и **новейшие знания по рациональной эксплуатации** этих инструментов, в частности – по подбору оптимальных технологических средств (патент США № 4761495, а. с. № 1782024), а также – по восстановлению режущей способности инструментов и химико-термической очистке. Работа фирмы планируется по комплексному подходу, при котором исследование, конструирование, изготовление и эксплуатация инструмента объединяются в единую взаимосвязанную систему.

Наша технология позволит Вам обеспечить стабильность режущей способности инструментов между многократными переточками (до 10 раз), сократить расход вольфрама, кобальта, алмазов, выбрать экономически приемлемый вариант.

Следуя принципу предоставления комплексных услуг, НПФ «Инбор-центр» разрабатывает практические рекомендации по ускорению подготовки производства, освоению новых технологий, созданию оптимальной технологической обстановки в зоне обработки всеми известными способами, предопределяя этим резервы и предпосылки для импортозамещения.

Исходя из анализа пожеланий заказчика, консультируем, как избежать или свести к минимуму импортозависимость, начиная от процесса отладки новой технологии.

За последние 26 лет работы на рынке инструментов нами накоплен полезный опыт, установлены и развиваются надежные деловые связи. Ориентируясь на индивидуальный подход, предоставляем услуги по переточке инструментов (10% от стоимости инструмента).

УСЛОВИЯ ПОСТАВКИ

Диаметр хвостовика, длина рабочей части, общая длина и др. - по согласованию с заказчиком.

Возможна поставка под заказ других видов инструментов.

На фирме организован логистический сервис. Скорость доставки в другие города гарантируется (1-2 дня). Действует система скидок до 10%. Особые условия для постоянных заказчиков.

Сжатые и соблюдаемые сроки выполнения заказов приятно удивят Вас.

Внимание: всевозможные торговые и таможенные «накрутки» у нас отсутствуют!

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕМЕНА КУЗНЕЦА
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ
АССОЦИАЦИЯ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИМЕНИ В. Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ
КАФЕДРА ЮНЕСКО «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
АДАПТАЦИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ПРОБЛЕМАМ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОГРЕССА»
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ
ООО ХК «МИКРОН»
ООО «ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ВАРИУС»
ПАО ОДЕССКИЙ КАБЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ОДЕСКАБЕЛЬ»
ООО «ИМПЕРИЯ МЕТАЛЛОВ»

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

*Материалы международной научно-технической
конференции*

26-29 сентября 2018 года

(к 100-летию Одесского национального политехнического университета)

Одесса – 2018

Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы международной научно-технической конференции, 26-29 сентября 2018 г., г. Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2018. – 208 с.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Перспективные технологии и производственные процессы будущего.
2. Современные ресурсосберегающие технологии.
3. Микро- и нанотехнологии в промышленности.
4. Высокопроизводительные инструменты и процессы в материалообработке.
5. Автоматизация технологических процессов в машиностроении и энергетике.
6. Метрологическое обеспечение новых и нетрадиционных технологий.
7. Экологическо-энергетические нетрадиционные технологии и перспективные направления их развития.
8. Технологическая динамика.
9. Методологические вопросы высшего образования в области новых технологий.

Материалы представлены в авторской редакции.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности отделочной обработки мелких точных деталей (массой до 5 г) малой жесткости и сложной конфигурации является механизация процесса на основе применения прогрессивного метода абразивной обработки затопленными струями.

Сущность метода состоит 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 оптимальная обработка и перемешивание деталей, но одновременно обеспечивалась сохранность внутренних поверхностей рабочей камеры.

Главным достоинством рассматриваемого метода является сохранность каналов сопел, через которые подается только сжатый воздух, при этом абразивные зерна присоединяются к струям за пределами сопел. Обеспечение равномерного перемешивания обрабатываемых деталей и всестороннее воздействие абразивных зерен на их поверхности являются важнейшими условиями достижения высоких показателей качества и производительности обработки. Как показывает практика, этот метод обладает и другими преимуществами по

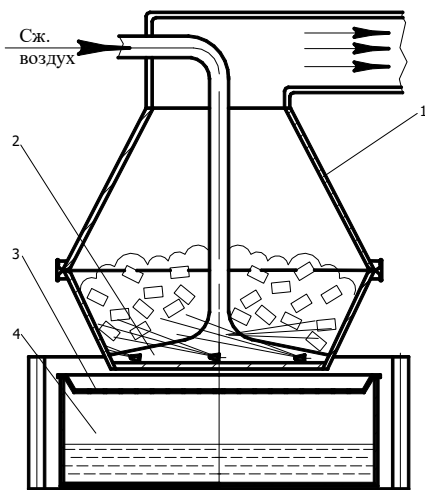


Рисунок 1. – Схема лабораторной установки

сравнению с традиционными методами струйно-абразивной обработки и открывает новые технологические возможности повышения качества, производительности и стабильности обработки. Прежде всего, это простота конструкции, непрерывность операции, достигаемая благодаря непрерывному использованию определенного объема абразивной суспензии, низкие материальные затраты.

Принципиальная возможность обработки мелких деталей струями сжатого воздуха, подаваемыми внутрь рабочей камеры, наполненной абразивной суспензией, проверялась на лабораторной установке (рис. 1). Установка содержит:

рабочую камеру 1, составленную из двух усеченных конусов, соединенных большими основаниями; завихритель 2, представляющий собой полый стерж-

жень с насадкой, имеющей сопловые отверстия, одновременно являющейся запирающим клапаном; решето 3 для отделения деталей от абразивной суспензии и бак 4 для сбора абразивной суспензии.

Рабочая камера установки заполнялась жидкостью, загружалась абразивным материалом и деталями «навалом», после чего подавался сжатый воздух давлением до 0,6 МПа. Расход сжатого воздуха определялся производительностью компрессора и составлял 0,34 м³/мин. После обработки в течение 20 – 60 мин запирающий клапан поднимался, и содержимое рабочей камеры сливалось на решето, где происходило отделение деталей от абразивного материала и жидкости.

Разработан опытно-промышленный образец установки-полуавтомата (далее полуавтомат) для струйно-абразивной обработки мелких деталей приборостроения, оптико-механического производства, радио- и электротехнической промышленности.



Рисунок 2. – Опытно-промышленный полуавтомат для струйно-абразивной обработки мелких деталей затопленными струями

Внедрение струйно-абразивных полуавтоматов (рис. 2) в производство позволило полностью исключить ручной труд при зачистке труднообрабатываемых деталей. В частности, внедрение полуавтомата на радиозаводе обеспечило снижение трудоемкости удаления заусенцев и скругления острых кромок на пластинах конденсатора переменной емкости (КПЕ) на 95 %. При этом повысилась культура производства, качество обработки (до внедрения полуавтомата заусенцы зачищались шкуркой вручную). Полностью исключен травматизм. Кроме того, вследствие избирательного воздействия абразивного материала на кромки деталей (рис. 3) и, следовательно, сохранения толщины пластин повысилась стабильность электротехнических характеристик конденсатора. При внедрении полуавтомата назначались режимы, обеспечивающие макси-

мальную производительность обработки с применением имеющихся материалов. Так, в качестве абразивного материала применен электрокорунд белый зернистостью 20 (24А20П размер ячейки сита – 200 мкм) по стандарту FEPA зернистость – F80 – (количество ячеек сита на одном дюйме - 80) и карбид кремния зеленый зернистостью 50 (63С50П) по стандарту FEPA зернистость –

F36, а в качестве рабочей жидкости – применяющийся на заводе для других технологических целей трехпроцентный раствор тринатрийфосфата.

Хорошие результаты получены на предприятии, характеризующемся многономенклатурным мелкосерийным производством. Здесь при внедрении полуавтомата применен принцип групповой обработки деталей. Для этого произведена группировка деталей по ряду основных признаков, в число которых вошли: размер заусенцев, конфигурация, толщина и жесткость, габаритные размеры, материалы деталей, их масса и предъявляемые требования. Единство признаков, установленных при группировке, является предпосылкой для обработки различных деталей посредством использования единых технологических режимов. Несмотря на то, что для многих наименований деталей приемлемы одинаковые режимы обработки, совместная их обработка часто нецелесообразна, в связи с необходимостью последующей сортировки. Исключение представляют детали, различающиеся магнитными свойствами. Такие детали легко разделяются магнитом.

Перечисленные мероприятия и приемы позволили получить положительные результаты на 11 наименованиях деталей массой до 5 г. В числе деталей, переведенных с ручной опиловки на струйно-абразивную обработку, детали из латуни ЛС 59-1, Л 62, бериллиевой бронзы БрБ2, стали и сплавов алюминия. Основная часть этих деталей получается штамповкой, имеются также детали после токарной обработки и фрезерования. Указанное разнообразие материалов вызвало необходимость выбора рабочей жидкости, для которой приемлема обработка деталей любого наименования. В качестве такой универсальной рабочей жидкости использовался ингибитор коррозии, 0,5 % раствор хромпика ($K_2Cr_2O_7$). В качестве инструмента для обработки упомянутых деталей использовался электрокорунд нормальный (14А20П) по стандарту FEPA зернистость – F80.

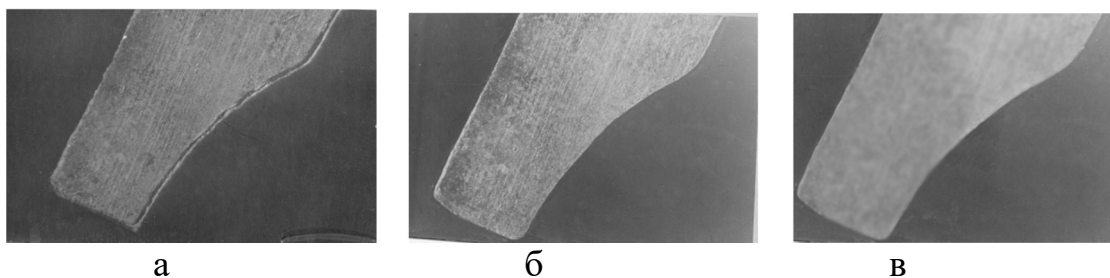


Рисунок 3. – Последовательность удаления заусенца: а – до обработки; б – 10 мин обработки; в – 20 мин обработки. Увеличение $\times 60$

В результате внедрения струйно-абразивной обработки на предприятии оптико-механического производства получен двойной эффект – удаление заусенцев и получение матовой поверхности (исключающей образование бликов на деталях) за одну операцию. Совмещение отделочной операции с зачисткой при механизации последней позволило снизить трудоемкость удаления заусенцев на 98 %, а изготовления детали в целом на 60 %. На предприятии оптико-

механического производства струйно-абразивная обработка применяется в основном для деталей, изготовленных на токарных автоматах. Объектом зачистки в этом случае являются острые кромки, образовавшиеся после отрезки детали отрезным резцом. В качестве рабочей жидкости и инструмента используются 0,5 % раствор хромпика с добавлением 0,5 % кальцинированной соды и электрокорунд нормальной зернистостью 32 и 20 (14А32П, 14А20П) по стандарту FEPA зернистость соответственно F54 и F80.

В связи с увеличением номенклатуры деталей, возрастающими требованиями к качеству, а также в связи с усложнением техники возникают задачи, решение которых традиционными методами весьма затруднительно. В частности, обработка дискообразной латунной детали «Коронка» (рис. 4) после штамповки 8 криволинейных пазов выполнялась вручную. Это связано с высокой точностью ширины пазов (допуск на размер + 0,0025) и недопустимостью наличия заусенцев. Поэтому детали поочередно обрабатывали по плоскости на абразивной шкурке, в результате чего заусенцы частично загибались в пазы, затем каждый паз подвергался последовательному калиброванию специальными калибрами-пробками. Применение струйно-абразивного полуавтомата обеспечило полное удаление заусенцев с коронки и придание ей товарного вида.

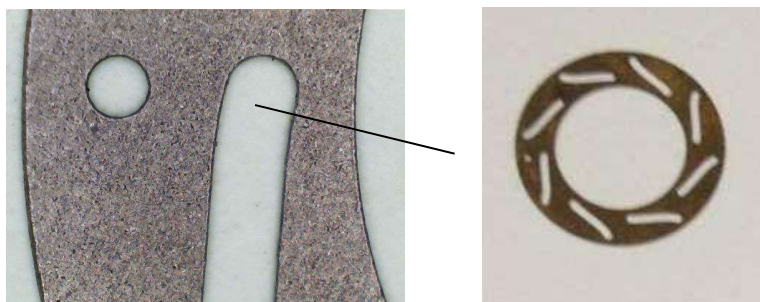


Рисунок 4. – Паз коронки после струйно-абразивной обработки затопленными струями. Увеличение $\times 10$

В качестве рабочей жидкости использовался раствор, применяющийся на участке для отделочной обработки, в состав которого вошли: хромпик, 0,1 %; нитрат натрия, 1 %; тринатрийфосфат, 0,2 %; кальцинированная сода, 0,2 %. Обработку выполняли электрокорундом нормальной зернистостью 20 (14А20П) по стандарту FEPA зернистость – F80. В результате внедрения струйно-абразивных полуавтоматов на предприятиях радиотехнической промышленности и оптико-механического производства достигается повышение производительности обработки в 10 – 12 раз, улучшаются условия труда, исключается брак, достигается сокращение необходимой производственной площади, снижается себестоимость обработки. В настоящее время затраты на изготовление установки и внедрение технологии в производство составляют 85 – 90 тыс. грн. Сроки выполнения работ по хозяйственному договору 6 – 8 месяцев.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАПЛАВЛЕННЫХ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНУСОВ И ЧАШ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Процесс круглого шлифования контактных рабочих поверхностей с износостойкими наплавленными материалами больших и малых конусов и чаш (диаметром 5000 мм и 2000 мм) засыпных аппаратов доменных печей в ПАО “Азовмаш” характеризуются высокой трудоемкостью обеспечения требуемых параметров точности и качества обрабатываемых поверхностей. Это связано с плохой обрабатываемостью шлифованием износостойких наплавленных материалов, таких как Пл-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердостью HRC 58–59, значительной неравномерностью снимаемого припуска (3–7 мм на сторону), большой площадью обрабатываемых поверхностей (поясов) и низкой жесткостью технологической системы (токарно-карусельного станка, на котором осуществляется процесс шлифования). Повысить точность и производительность обработки в этих условиях можно устранением неравномерности снимаемого припуска на операции предварительного шлифования, что позволит

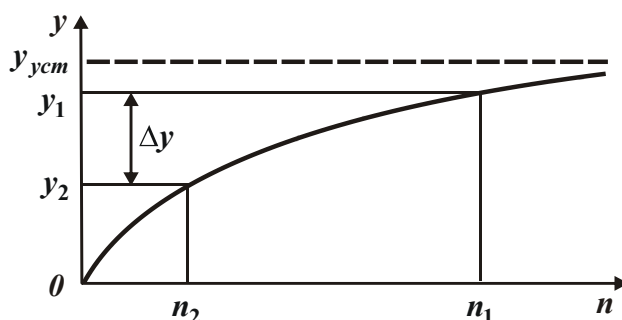


Рисунок 1. – Зависимость величины y от количества проходов n

сократить продолжительность операции окончательного шлифования. Для решения поставленной задачи аналитически определена погрешность формы обрабатываемой поверхности при круглом шлифровании по жесткой схеме (рис. 1):

$$\Delta y = y_1 - y_2 = y_{уст} \cdot (\varepsilon^{-n_2} - \varepsilon^{-n_1}), \quad (1)$$

где y_1, y_2 – упругие перемещения, образующиеся при обработке участков поверхности с наибольшим и

наименьшим снимаемыми припусками, м; n_1, n_2 – количество проходов круга; $y_{уст} = B_1 \cdot t$ – упругое перемещение при установившемся процессе шли-

фования, м; $B_1 = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод} \cdot \sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ – безразмерный параметр; $\varepsilon = 1 + 1/B_1$ –

уточнение на проходе круга; t – глубина шлифования, м; $S_{прод}$ – скорость продольной подачи, м/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоемкость обработки, Дж/м³); $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шли-

фования; P_z , P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – жесткость технологической системы, Н/м; $D_{дет}$ – диаметр детали, м.

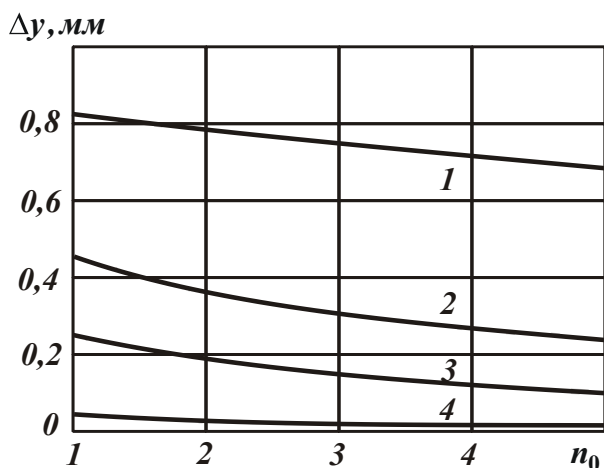


Рисунок 2. – Зависимость Δy от n_0 :

1 – $\varepsilon = 1,1$; 2 – $\varepsilon = 1,5$; 3 – $\varepsilon = 2$; 4 – $\varepsilon = 5$ при котором $y_1 \rightarrow y_{уст}$ и $y_2 \rightarrow y_{уст}$ (рис. 1). Однако, это возможно при относительно больших значениях уточнения $\varepsilon > 1$. В противном случае будет происходить копирование обрабатываемой поверхности по проходам круга, что имеет место в действующем процессе круглого шлифования. Поэтому необходимо увеличивать ε за счет уменьшения B_1 .

На рис. 2 приведены рассчитанные по преобразованной зависимости (1):

$$\Delta y = \frac{\Delta \Pi}{(\varepsilon - 1)} \cdot \varepsilon^{-n_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-n_0})}{n_0} \quad (2)$$

значения Δy (где $n_0 = n_1 - n_2 = \Delta \Pi / t$; $\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_2$; Π_1 , Π_2 – наибольшее и наименьшее значения снимаемого припуска, м). Как видно, уменьшить Δy можно увеличением n_0 и ε , что достигается уменьшением параметров t , $S_{прод}$. Однако, это снижает производительность обработки $Q = \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод} \cdot t$ и не эффективно. Более эффективно применение шлифования с заданным натягом в технологической системе, равным величине $y_{уст}$ (рис. 1). Это увеличивает Q за счет исключения переходного процесса в технологической системе и обеспечения равенства фактической и номинальной глубин шлифования:

$$Q = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot y_{уст}}{\sigma} \quad (3)$$

В условиях круглого шлифования с низкой жесткостью технологической системы c основными путями увеличения уточнения ε является уменьшение параметров $D_{дет}$, $S_{прод}$, $\sigma / K_{ш}$ и увеличение $V_{кр}$. Однако диаметры обрабатываемых конусов и чаш – весьма большие (2000...5000 мм). Поэтому уточнение принимает малые значения $\varepsilon \rightarrow 1$, что существенно снижает производительность обработки. В этих условиях увеличить реально ε можно уменьшением

$S_{прод}$ и $\sigma/K_{ш}$. С целью поддержания производительности обработки $Q = \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод} \cdot t$ на заданном уровне, очевидно, с уменьшением $S_{прод}$ необходимо глубину шлифования t увеличивать, применяя глубинное шлифование. Для эффективного ведения процесса обработки при низкой жесткости технологической системы (т.е. когда $\varepsilon \rightarrow 1$) целесообразно использовать схему круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе и небольшой скоростью продольной подачи. Практической реализацией данной схемы стало глубинное продольное шлифование с небольшой долевой продольной подачей $S_d \ll 1$ и увеличенной скоростью детали $V_{дет} = 50 \dots 120$ м/мин ($t = 0,1 \dots 0,2$ мм; $S_{прод} < 42$ мм/мин). Использовался абразивный круг на бакелитовой связке ВФ, усиленный стекловолокном – ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВФ.

Традиционно данная операция круглого шлифования выполнялась с применением абразивного круга на бакелитовой связке В, который характеризуется более низкой режущей способностью, чем абразивный круг на бакелитовой связке ВФ. Режимы шлифования: $V_{кр} = 30$ м/с; $V_{дет} = 120$ м/мин; $S_{прод} = 41,5$ мм/мин (ширина шлифования $H = 5,4$ мм; $S_d = 0,086$); $y_{уст} = 0,05 \dots 0,45$ мм. Экспериментально установлено, что припуск величиной 5 мм при $t = 0,15$ мм удаляется за 140 продольных ходов круга (время одного продольного хода равно 7 мин). Это указывает на увеличение до 3-х раз фактической глубины шлифования $t_{ф}$ и соответственно производительности обработки, что обусловлено уменьшением энергоемкости обработки σ в связи с работой абразивного круга в режиме интенсивного самозатачивания. Причем, применение абразивных кругов большей зернистости: 16 – 18 (по FEPA размер зерна 1,6 – 1,2 мм соответственно) позволяет еще в большей степени уменьшить энергоемкость обработки. В результате на обрабатываемых поверхностях не образуются прижоги, и происходит устранение неравномерности снимаемого припуска на операции предварительного шлифования, что снижает трудоемкость окончательного шлифования (которое по длительности такая же, как и предварительное шлифование) с обеспечением требований по точности обработки. Общая трудоемкость обработки снижается в 2 раза. Шероховатость поверхности при предварительном шлифовании составляет $R_a = 1,2 \dots 1,7$ мм, при окончательном шлифовании – $R_a = 0,6 \dots 0,8$ мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анділахай В. О. Підвищення ефективності шліфування наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей металургійного призначення: автореф. дис. ... канд. техн. наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування / В. О. Анділахай. – Маріуполь: ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, 2011. – 21 с.

2. Механічна обробка великогабаритних деталей зі зносостійкими наплавочними матеріалами: монографія / Ф. В. Новіков, В. О. Анділахай, І. Є. Іванов, Д. Ф. Новіков. Під ред. Ф. В. Новікова. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 315 с.

ИНТЕГРАЦИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ

На всех этапах жизненного цикла изделия имеются свои целевые установки, достижение которых, оказывается невозможным без автоматизированных систем, интегрированных с использованием компьютерной техники. Компьютерная поддержка жизненного цикла изделия (CALS-технология) в условиях компьютерно-интегрированного производства связана на входе предприятия с заказами, а на выходе – с готовой продукцией и с последующими этапами ее жизненного цикла.

Используемые автоматизированные системы программно и информационно поддерживают следующие процедуры: CAE – инженерные расчеты и анализ; CAD – конструирование; CAM – технологическую подготовку производства и программирование оборудования с ЧПУ; PDM – управление проектными данными; CAPP – организационно-технологическую подготовку производства; CNC – числовое управление оборудованием; SCADA – диспетчерское управление производственными процессами; MES – исполнительную систему производства; MRP – планирование и управление производственными ресурсами; ERP – планирование и управление предприятием; SCM – управление цепочками поставок; CRM – управление взаимоотношениями с заказчиками; S&SM – управление продажами и обслуживанием.

Наклонные линии в аббревиатуре CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM не делят, а объединяют соответствующие подсистемы САПР. Интеграция и комплексное использование подсистем являются магистральным путем развития современных систем автоматизированного проектирования и обосновываются необходимостью создания комплексных моделей, наиболее полно и всесторонне отражающих свойства изделия, а также удобством и экономической целесообразностью комплексного решения проблем автоматизации технической подготовки производства.

С точки зрения подходов компьютерного проектного моделирования, CAD/.../PDM- подсистемы интегрированной САПР можно рассматривать как специализированные, объектно-ориентированные инструменты (среды) моделирования. При их совместном использовании создаются и связываются в единое целое (комплексную модель) инженерные (CAE/CAM), геометрические (CAD/CAM) и информационные (CAPP/PDM) модели изделия.

Системный подход к исследованию и описанию технологических процессов основан на декомпозиции системы на более простые подсистемы, взаимо-

действующие между собой, раздельном изучении их структуры и функций, с последующим синтезом полученных сведений. При синтезе учитывается выявленная иерархия процессов по масштабам области действия, их пространственное расположение и временная последовательность, а также синергетические эффекты, общее действие которых превышает кажущуюся сумму отдельно взятых воздействий.

Модель каждого уровня содержит в свернутом виде модели более низких уровней и соотношения, описывающие переход с одного уровня на другой. Системный подход позволяет анализировать и моделировать технологический процесс, представленный в виде отдельных блоков, что существенно упрощает описание сложных явлений, не упуская из вида пространственно-временную структуру моделируемой системы, характер связи между отдельными уровнями и подсистемами.

Графическое ядро выступает в роли фундамента интеграции и является универсальным объединяющим элементом взаимосвязанных подсистем (CAD/.../PDM), используемых в процессе технической подготовки производства. Объемная геометрическая модель наиболее полно отражает структуру, точно описывает форму и наглядно представляет облик проектируемого изделия. При необходимости геометрическая модель может быть дополнена и всей другой важной для проектирования и производства информацией.

В итоге формируется полное электронное описание изделия — EPD (Electronic Product Definition). На этапе проектирования осуществляется обмен данными перечисленных выше систем с системой управления цепочками поставок SCM (Supply Chain Management), иногда называемой системой CSM (Component Supplier Management). На этапе производства эта система управляет поставками необходимых материалов и комплектующих.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства АСУ, направлены на создание систем электронного бизнеса (E-Commerce). Задачи, решаемые системами E-Commerce, сводятся не только к организации на сайтах сети Internet витрин товаров и услуг. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Такие системы E-Commerce называют системами управления данными в интегрированном информационном пространстве CPC (Collaborative Product Commerce), или PLM (Product Lifecycle Management).

Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведет к минимизации времени и стоимости выполнения заказа. Характерная особенность CPC – обеспечение взаимодействия многих предприятий, т. е. технология CPC является основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы разных предприятий.

РАЗРАБОТКА УПРУГОГО ШАРНИРА И УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ДЛЯ КЛЕТЕЙ СТАНА 3000

Основной причиной низкой долговечности нажимного устройства клетки стана 3000 является работа упорного подшипника качения. Как подшипник SKF с коническими роликами, так и подшипник с цилиндрическими роликами не отвечают требованиям эффективной эксплуатации. Ролики и сепаратор упорного подшипника изнашиваются неравномерно, поэтому приходится регулярно перебирать эти подшипники, отбраковывая деформированные детали.

Кроме того, из-за больших контактных напряжений ролики упорного подшипника разрушаются, создавая дополнительное сопротивление и существенно перегружая приводные двигатели.

Неоднократно предпринимались попытки модернизации нажимного устройства, однако ни одно из них не было внедрено.

Анализ работы упорного подшипника качения, вызывает сомнения в его необходимости, так как вращение нажимных винтов во время прокатки отсутствует, и малый вращающий момент никак не используется. К тому же этот малый момент не так уж и мал. Момент трения винта о гайку значительно превосходит момент трения в упорном (неразрушенном) подшипнике.

Работа устройства происходит только во время пауз. При этом нагрузка на нажимной винт и на подшипник составляет не более 0,5 МН, а не 35 МН как во время прокатки. В этих условиях подшипник качения может быть заменен на подшипник скольжения, в виде пары – стальной пяты и бронзового подпятника, постоянно смазываемого жидкой смазкой. Кроме того требует модернизации сферический шарнир. Предназначение этого шарнира – ликвидация изгибающего момента, который может передаваться на нажимной винт, гайку и обойму из-за перекосов и смещений подушки.

Данный шарнир не отвечает предъявленным к нему требованиям. Из-за больших значений диаметра и силы, а также из-за малого радиуса кривизны, момент трения, возникающий в данном шарнире настолько велик, что может оказывать негативное воздействие на прочность винта, гайки, обоймы. К тому же этот момент не зависит от угла поворота в шарнире и возникает при любых малых углах поворота. Следовательно, шарнир должен быть заменен на другое устройство, имеющее более приемлемые характеристики. В первую очередь необходимо уменьшить момент, появляющийся в этом устройстве.

Опыт эксплуатации клеток толстолистового стана 3000 показывает, что реальные углы поворота в существующем шарнире малы (составляют долю градуса). Они определяются реальными зазорами между подушками валков и

проемами станин. Малость углов поворота подушек позволяет создать шарнир нового типа, в котором:

- а) угол поворота пропорционален приложенному моменту;
- б) выведенный из положения равновесия шарнир возвращается в исходное положение; при этом изгибающий момент исчезает.

Такой шарнир разработан на основе упругости и малой сжимаемости в замкнутом объеме современных полиуретановых эластомеров. Принципиальное устройство упругого шарнира показано на рис. 1.

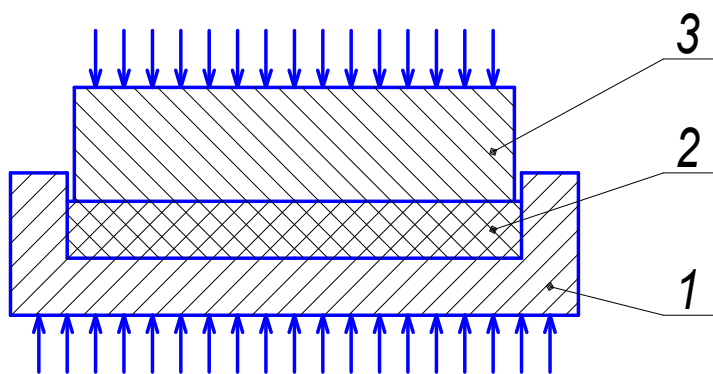


Рисунок 1. – Принципиальное устройство упругого шарнира

Шарнир содержит прочный стальной стакан 1, упругий элемент, изготовленный из эластомера 2 и опирающийся на этот упругий элемент плунжер 3.

Известно [1], что эластомеры относятся к малосжимаемым материалам. Объемный модуль упругости примерно одинаков и составляет $K = (3000 \dots 3500)$ МПа для всего класса эластомеров, начиная от мягких резин с нормальным модулем упругости при сжатии $E_c = (2 \dots 3)$ МПа и до полиуретанов большой жесткости, у которых $E_c = (200 \dots 300)$ МПа.

Постоянство объемного модуля упругости для всех эластомеров говорит о том, что жесткость устройства (упругого шарнира) нельзя регулировать выбором оптимальной марки эластомера; при необходимости регулировки жесткости это можно будет предусмотреть за счет геометрическими параметрами устройства, прежде всего диаметром и толщиной упругого элемента.

Для нормальной работы клетки нужно определить, как изменится ее жесткость при введении в силовую цепь упругого шарнира.

Исходные данные для расчета:

1. Габаритные размеры упругого элемента $D = 800$ мм; $\delta = 30$ мм.

2. Максимальная сила сжатия упругого элемента $P^* = (32 \dots 35)$ МН.

Оптимальная сила сжатия упругого элемента $P = 24$ МН.

Осадку упругого шарнира можно определить по формуле:

$$\lambda = \frac{P^* \cdot \delta}{KF}, \quad (1)$$

где $F = \frac{\pi D^2}{4}$; $P^* = 35$ МН; $\delta = 30$ мм – толщина упругого элемента.

Для рассматриваемого случая: $F = 5024 \text{ см}^2 \approx 50,24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $K = 3500$ МПа;

$$\lambda = \frac{35 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{3500 \cdot 10^6 \cdot 5024 \cdot 10^{-4}} = 0,597 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 0,6 \text{ мм.}$$

Таким образом, осадка упругого элемента (или дополнительный раствор валков) составляет величину $\delta^* = 0,60$ мм, которую можно для черновой клетки пренебречь, либо учесть при первом пропуске в чистовой клетки. Максимальные сжимающие напряжения:

$$\sigma_{max} = \frac{P^*}{F} = \frac{35 \cdot 10^6}{5024 \cdot 10^{-4}} = 69,7 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 \approx 70 \text{ МПа.}$$

Такие напряжения при всестороннем сжатии не опасны для полиуретана. В технике имеются устройства с полиуретановыми упругими элементами, работающими в условиях всестороннего сжатия при напряжениях $\sigma_{max} = 160 \dots 240$ МПа. При столь высоких давлениях проблемной является прочность корпуса устройства.

Еще одна проблема связана с уплотнением. Полиуретан можно вполне обосновано считать уплотняющим материалом, поэтому в большинстве случаев дополнительных уплотнений не требуется. Допускаемая величина радиального зазора зависит от двух параметров: а) рабочего давления p , МПа и б) жесткости полиуретана, которую удобнее всего для дальнейших расчетов задать нормальным модулем упругости при сжатии (E_c).

Опыты с различными материалами (полиуретанами различных марок) и давлениями были проведены в лаборатории механических испытаний кафедры «Соппротивление материалов» ПГТУ. Модель упругого шарнира соответствовала рис. 2. Внутренний диаметр стакана (корпуса) составлял $D_0 = 100$ мм. Диаметры плунжеров отличались на величину $\delta = 0,1$ мм. Таких плунжеров было изготовлено 10 штук. Наименьший по размерам плунжер имел $d_{min} = 99$ мм, а наибольший $d_{max} = 99,9$ мм. Таким образом, суммарный зазор (δ) по диаметру изменялся в пределах $0,1 \leq \delta \leq 1,0$ мм. Давления, создаваемые в устройстве, находились в диапазоне $40 \leq P \leq 100$ МПа.

При испытаниях фиксировались случаи попадания полиуретана в щель между плунжером и корпусом устройства с последующим локальным разрушением упругого полиуретанового элемента.

Опыты проводились в условиях сухого трения и со смазкой.

Основные результаты этих опытов представлены в табл. 1. Для всех вариантов нагружения указаны предельно допустимые зазоры δ^* , обеспечивающие сохранность упругого элемента и исключают необходимость создания специального уплотнения.

Выбор материала для упругого шарнира проводится по нескольким направлениям:

1. Прочность. Напряженное состояние упругого элемента предлагаемого шарнира близко к случаю равномерного всестороннего сжатия, когда эквивалентное напряжение близко к нулю; то есть такую нагрузку выдерживает любой эластомер (любая резина).

2. Жесткость. Опыты над различными эластомерами (в основном над резинами разных марок и конструкционными полиуретанами) показывают, что при деформации в замкнутом объеме они имеют практически одинаковую жесткость. Объемный модуль упругости составляет для этих материалов величину $K = 3200 \dots 3500$ МПа. По результатам опытов, проведенных в лаборатории механических испытаний кафедры «Соппротивление материалов», величина K увеличивается с увеличением давления.

Таблица 1. – Допустимые зазоры в упругом шарнире

Условия испытаний	Без смазки				Со смазкой			
	Твердость по ShA							
Давление, МПа	80	90	95	97	80	90	95	97
40	0,8	>1,0	>1,0	>1,0	0,7	0,9	>1,0	>1,0
60	0,7	0,9	>1,0	>1,0	0,6	0,75	0,9	>1,0
80	0,6	0,8	>1,0	>1,0	0,5	0,65	0,8	0,9
100	0,5	0,7	0,9	>1,0	0,4	0,55	0,7	0,8

Большая жесткость применяемых полиуретанов позволяет существенно снизить требования к точности изготовления деталей упругого шарнира.

В настоящее время промышленность Украины выпускает достаточно марок литьевых конструкционных полиуретанов различной жесткости. Это материалы серии adipren, СКУ-ПФЛ, vibrotan, desmopan, elast и целый ряд других материалов.

Приведенные в табл. 1 данные позволяют выбрать не только материал упругих элементов, но и назначить размеры и допуски для основных деталей. Заметим, что величина зазора в 0,4 мм (по 0,2 мм на сторону) во всех случаях обеспечивает надежную работу устройства. При этом не требуется специально-го уплотнения даже в случае применения смазки. Для рассматриваемого узла наличие смазки избежать практически невозможно, поэтому ориентироваться нужно на правую часть таблицы. При этом можно выбрать любой полиуретан с твердостью ShA более 80.

От твердости полиуретана зависит его модуль упругости при сжатии. Табл. 1 охватывает значения модулей $20 \leq E_c \leq 100$, что предоставляет широкие возможности выбора.

Рассмотрим далее рабочую характеристику упругого шарнира при перекосах подушек и винтов, связанных с зазорами в соединениях. При этом составляющую нагрузки, связанную с уменьшением объема эластомера учитывать не будем. Тогда цель получения рабочей характеристики – определить изгибающий момент, соответствующий данному углу перекоса.

При чистом изгибе:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_u}{EI}. \quad (2)$$

Угол перекося:

$$\varphi = \frac{\delta}{\rho}. \quad (3)$$

Тогда

$$M_u = \frac{\varphi \cdot EI}{\delta}, \quad (4)$$

где φ – угол перекося в шарнире, рад; EI – жесткость упругого элемента при изгибе, Н·м²; δ – толщина упругого элемента, м.

Из формулы (4) следует линейная зависимость приложенного момента M_u от угла перекося φ .

График линейной зависимости приложенного момента M_u от угла перекося φ показан на рис. 2.

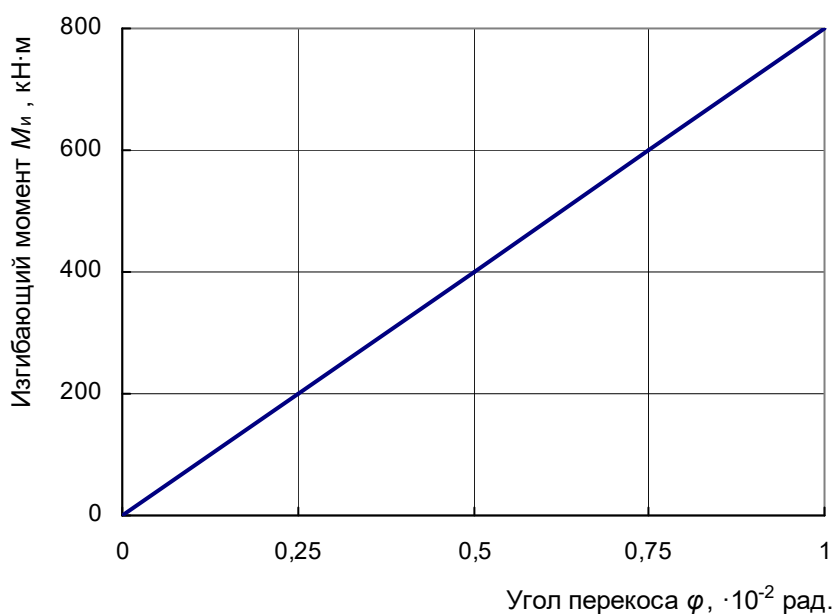


Рисунок 2. – Линейная зависимость приложенного момента M_u от угла перекося φ

При существующих размерах рассматриваемого узла и реально наблюдаемых зазорах наибольший угол перекося не превышает $0,5^\circ$, т. е. $\varphi \leq 0,01$ рад. При этом изгибающий момент составляет:

$$M_u^{max} = 0,01 \cdot \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,8^4}{30 \cdot 10^{-3}} = 820 \cdot 10^3 \text{ Н·м} = 520 \text{ кН·м}.$$

Этот момент на порядок меньше, чем момент, возникающий в сферическом шарнире. К тому же реальные углы перекося значительно меньше, чем $\varphi_{max} = 0,01$. При необходимости можно уменьшить и этот изгибающий момент, изменяя размеры узла и материал упругого элемента.

Беспалова А. В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина

Лебедев В. Г., Фроленкова О. В., Луговская Е. А.

Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

РАЗРЕЗАНИЕ КАМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ АЛМАЗНЫМИ ДИСКАМИ

Алмазные абразивные диски это, в сущности, алмазные отрезные круги на металлической связке, где алмазный слой напыляется на металлический диск из легированной стали. Алмазные отрезные круги на керамической связке не изготавливаются, поскольку температура спекания таких кругов при изготовлении выше, чем температура графитизации алмаза.

Алмазные круги выпускаются различных размеров и разной зернистости, поэтому экспериментальное исследование этого вопроса очень трудоемкое и длительное. В настоящей работе проведено математическое моделирование, которое дает возможность определить время безопасной работы до критической температуры (600 °С – температура графитизации алмаза). Кроме того, промоделированы некоторые способы повышения ресурса времени. Таким образом, можно создать базу предпочтительных режимов работы и экспериментально точно уточнить математическую модель.

Цель работы – математическое моделирование процесса нагрева алмазного отрезного круга на металлической основе при разрезании каменных и керамических материалов для определения времени непрерывной работы до критической температуры.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Определить силы резания, тепловую мощность, развиваемую единственным зерном при резании керамического материала.
2. Разработать блок-схему и программу расчетов (в среде MathCad) и на основе полученных данных определить температуру нагрева круга.

В данной работе для определения единичных сил резания применялась несколько измененная методика, изложенная в работе [2]. Использовалась величина глубины вдавливания алмазной пирамидки, что дало возможность связать составляющую P_u с величиной углубления зерна в металл.

$$P_z = 7,15 \times H_v \times h^2, \quad (1)$$

где H_v – твердость разрезаемого материала по шкале Виккерса, h – средняя величина углубления зерна в материал. Произведение $P_z \cdot V_{кр}$ дает значение тепловой мощности резания отдельным зерном. Для определения величины сброса тепла за оборот круга использовалась методика, описанная в работе [4].

Количество теплоты сброшенное с поверхности круга, в процессе теплоотдачи в воздух, определяется по уравнению Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha(t_{cm} - t_{жс})F \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $t_{жс}$, t_{cm} – средние температуры жидкости и стенки, °С; F – поверхность стенки, м²; Q – тепловой поток (количество теплоты), Вт (Дж); τ – время, с. Коэффициент теплоотдачи α – характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой.

Блок-схема программы расчетов показана на рис.1. Результаты расчетов показаны на рис. 2.

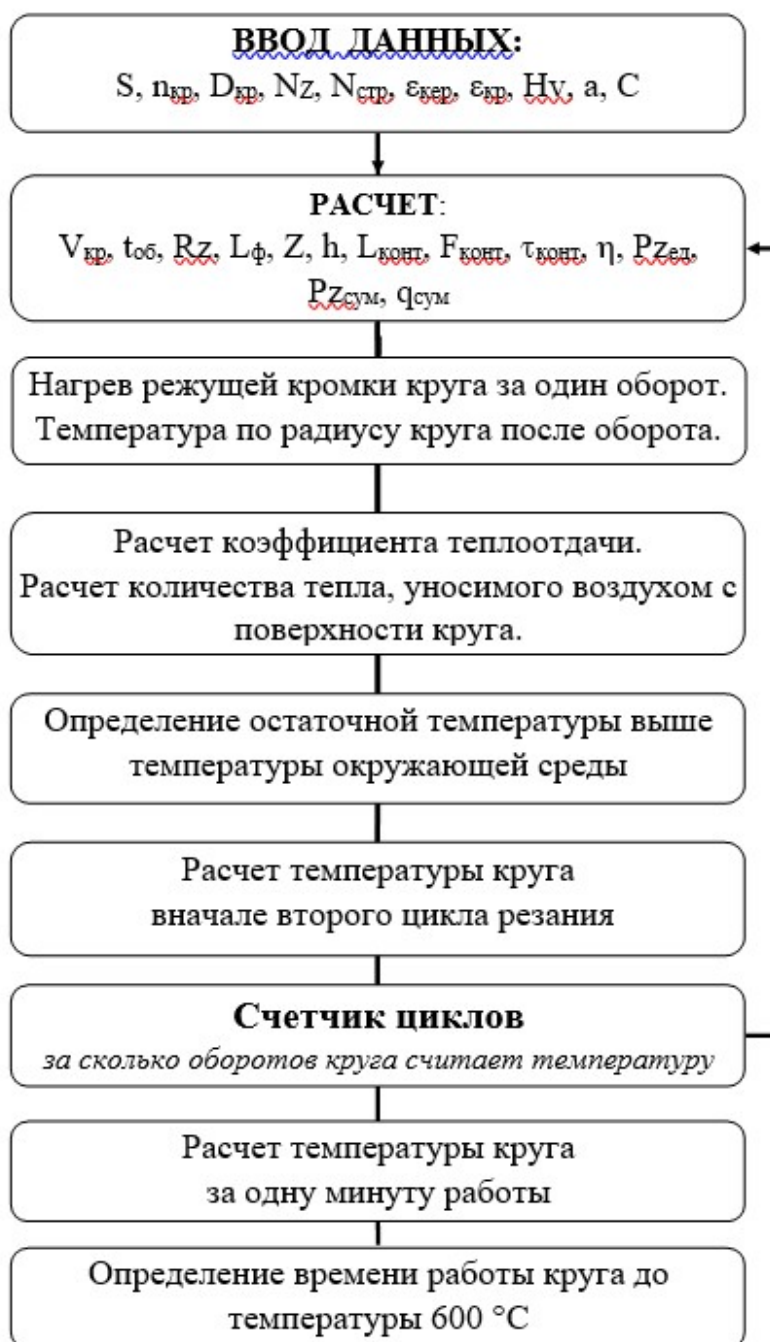


Рисунок 1. – Блок схема программы расчетов

Результаты моделирования показали, величина зернистости отрезного круга значительно влияет на важные параметры работы. Суммарная сила резания снижается несмотря на то, что единичная сила резания возрастает. Это объясняется тем, что при увеличении зернистости резко уменьшается количество одновременно работающих зерен.

Суммарная сила резания, мощность и нагрев круга за 1 мин возрастают. Температура нагрева круга за 1 оборот возрастает. Время работы до критической температуры значительно снижается.

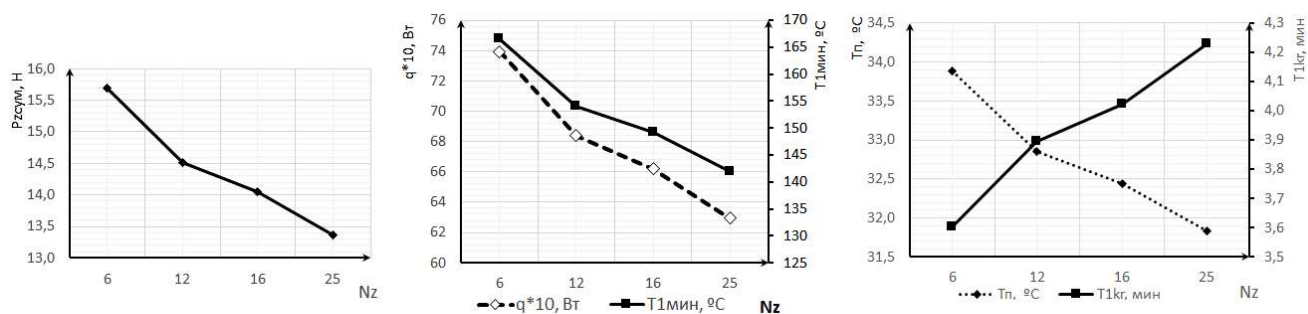


Рисунок 2. – Зависимость параметров разрезания от изменения зернистости круга

Обсуждение. Математическое моделирование показало, что металлический диск – основа алмазного круга, во время работы существенно нагревается. Практически все элементы режимов разрезания влияют на температуру круга, хотя и в разной мере. Наибольшее влияние оказывает величина вертикальной подачи. Частота вращения круга и изменение его диаметра влияют практически одинаково, поскольку скорость резания зависит как от частоты вращения, так и от диаметра круга.

По результатам моделирования можно сказать, что для обеспечения максимальной тепловой стойкости круга следует выбирать круги зернистости не менее 25 и работать при скорости вертикальной подачи не более 0,05 м/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В. А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом / В. А. Александров. – Киев: Наукова Думка, 1979.
2. Редько С. Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов / С. Г. Редько. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1986. – 231 с.
3. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
4. Клименко Н. Н. Методика измерения температур шлифования термомпарами при обработке наплавленных и напыленных поверхностей машиностроительных деталей / Н. Н. Клименко, В. Г. Лебедев и др. // Физические и компьютерные технологии: труды 20-й Международной научно-практической конференции, 23-24 декабря 2014, г. Харьков. – Д: ЛИРА, 2015. – С. 34–38.

ВЛИЯНИЕ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ СВЕРХТВЕРДОЙ КЕРАМИКИ

Важное место в исследовании процесса вибрационной обработке занимает исследование качества обработанной поверхности, в частности параметров ее микронеровностей. В настоящей работе выполнены исследования по вибрационной обработке образцов из ПСТМ на основе КНБ. Рабочая суспензия подбиралась экспериментально – наилучший результат показал порошок алмаза АСМ. Амплитуда изменялась от 1 до 7 мм. Время обработки – 10 мин. Параметр Ra определяли на бесконтактном интерференционном 3-D профилографе «Micron-alpha». Результаты эксперимента (рис. 1) показывают, что наиболее качественная обработка имеет место при использовании смеси монокорунда и порошка алмаза АСМ в концентрации 15%. Средний показатель Ra 0,11.

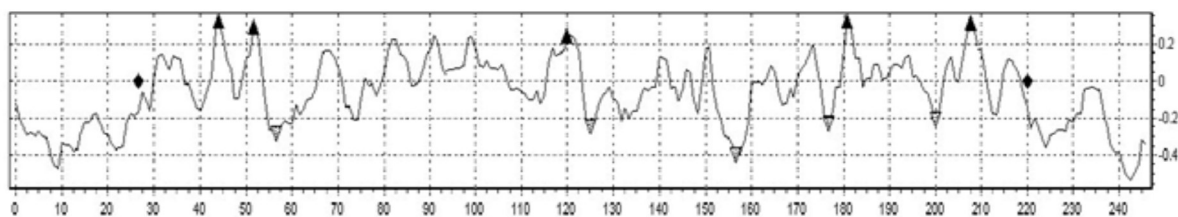


Рисунок 1. – Профилограмма обработанной поверхности

Уравнение регрессии амплитуды на высоту микронеровностей, полученное обработкой экспериментальных результатов $Ra = 6,385 - 1,897A + 0,183A^2$

Экстремум зависимости отвечает – $A = 5,194$. Минимум параметра Ra обеспечивается при амплитуде вибрации $A = 5$ мм (рис. 2). Полученный характер зависимости Ra от амплитуды (рабочий абразив – порошок алмаза АСМ) объясняется следующим. При малых амплитудах рабочая масса прижимается к наружной

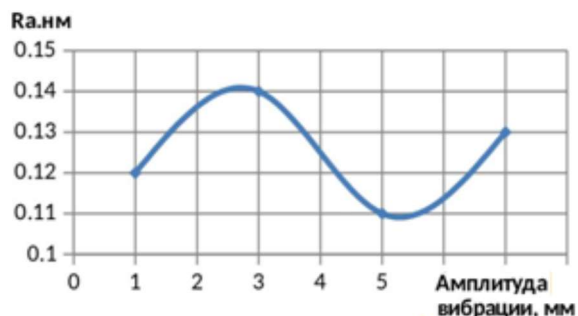


Рисунок 2 – Зависимость Ra от амплитуды вибрации рабочей камеры

поверхности камеры установки и относительное перемещение рабочей среды и обрабатываемых деталей практически отсутствует. В этом случае параметр Ra мало изменяется по сравнению с исходным значением до обработки. При увеличении вибрации до $A = 5$ мм параметр шероховатости уменьшается за счет увеличения перемещения рабочей среды по поверхности детали, что приводит к снижению параметра Ra . Дальнейшее увеличение амплитуды приводит к тому, что во время контакта рабочей среды с поверхностью образца возникают удары, которые ухудшают качество поверхности.

Таким образом, при вибрационной обработке пластины из ПСТМ на основе КНБ амплитуда вибрации должна находиться в диапазоне 4,5 ÷ 5,5 мм. В этом случае создаются наилучшие условия относительного перемещения рабочей среды по поверхности образца.

Бурлаков В. И.

Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля
НАН Украины, г. Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ РСВН-ПЛАСТИН

Одна из задач, требующих недорогого и эффективного решения при изготовлении режущего инструмента – округление кромки. Это серьезная и многогранная проблема, решение которой позволяет значительно увеличить надежность и долговечность инструмента. Необходимость округления кромки можно обосновать комплексом задач, стоящих перед технологами – это и чистота поверхности при обработке, и уменьшение износа режущей кромки. В настоящей работе задача решалась виброабразивной обработкой режущих пластин из сверхтвердой керамики с использованием искусственных алмазов.

Обрабатывались образцы PSTM на основе CBN с формо-размерами: квадратная пластина 12,7x12,7x3,0 мм (марка «Борсинит», твердость НК 38–40 ГПа) и цилиндр Ø 7,5x5,0 мм (марка «Композит 05ИТ», твердость НК 18–20 ГПа). В качестве рабочей среды использовались суспензии с порошком монокорунда зернистостью по ФЕПА F100 (по ГОСТ 12 зерно 150/125 мкм), порошком ультрадисперсного алмаза УДМ [9], микропорошком алмаза АСМ 20/14 и шлифпорошком алмаза АС6 100/80 в концентрации 5, 10 и 15%.

Величина радиуса скругления режущих кромок и скорость его изменения являются функциями времени обработки, размера и типа абразивного зерна. Указанные параметры подбирались эмпирически в каждом конкретном случае.

При анализе округленных кромок керамических образцов наблюдалась следующая картина: при обработке смесью монокорунда и порошка алмаза АСМ 20/14 в концентрации 15 % радиус округления – 0,003 мм; при обработке смесью монокорунда и порошка алмаза АС6 в концентрации 10 % радиус округления – 0,008 мм; при обработке порошком алмаза УДА в концентрации 10 % радиус округления – 0,009 мм; при обработке порошком алмаза АС6 в концентрации 10 % радиус округления – 0,0076 мм; при обработке порошком алмаза АСМ 20/14 в концентрации 15 % радиус округления 0,006 мм.

Как видно из полученных результатов, радиусы округления режущей кромки различны при обработке с использованием различными абразивными

материалами. Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, о том, что применение любого из рассмотренных порошков алмазов (АСМ, УДА и АС 6) с содержанием 15 % в смеси с монокорундом дает наибольшую величину радиуса округления, в тоже время, наибольшую величину радиуса округления обеспечивает обработка с использованием алмазного порошка УДА в количестве 15 % в смеси.

Вакуленко К. В.

ИПМаш НАН Украины, г. Харьков, Украина

МАГНИТНАЯ КОЭРЦИТИМЕТРИЯ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Одной из наиболее актуальных технических проблем в настоящее время является проблема оценки остаточного ресурса работающего оборудования, что связано с сильной изношенностью имеющегося парка и приближением расчетных ресурсных сроков его эксплуатации.

До недавнего времени среди методов контроля состояния металла конструкций и оборудования наблюдалась ориентированность на дефектоскопические критерии, однако в последние годы на первый план вышел один из методов магнитной структуроскопии – коэрцитиметрия – метод, основанный на измерении в точке контроля коэрцитивной силы металла, которая является одной из наиболее структурно чувствительных характеристик и отражает как деградацию материала изделия в процессе его эксплуатации, так и фазовые изменения. Сегодня магнитный метод коэрцитивной силы, можно с уверенностью назвать простым, дешевым и достаточно информативным методом неразрушающего контроля.

Проведение испытаний на активное растяжение и малоцикловую усталость образцов из разных деформируемых сталей (Ст.3, 40Х, 14Х17Н2, и др.) позволило установить закономерности изменения коэрцитивной силы при нагружении от состояния поставки, которому соответствует начальное значение коэрцитивной силы H_c^0 до состояния разрушения, которому соответствует значение коэрцитивной силы H_c^B . В ходе нагружения величина коэрцитивной силы растет и может принимать значения $H_c^{\text{текущ.}}$ существенно отличающиеся от начального. Эта замечательная особенность позволяет по текущим значениям коэрцитивной силы металла $H_c^{\text{текущ.}}$ довольно точно оценивать действительный отработанный ресурс по степени отдаления $H_c^{\text{текущ.}}$ от начального значения H_c^0 , а также эффективно выполнять прогноз остаточного ресурса по степени и скорости приближения $H_c^{\text{текущ.}}$ к граничной предельной величине H_c^B , т.е. по реальному текущему физическому состоянию металла. Разница $H_c^B - H_c^0 = \Delta H_c = R$ объективно характеризует изначальный ресурс стали, который можно исчерпать однократным запредельным нагружением, а можно вырабатывать посте-

пенно в расчетном эксплуатационном режиме работы. Текущая величина $H_c^{\text{текущ.}}$ очень точно определяет отработанный ресурс по разности $H_c^{\text{текущ.}} - H_c^0 = R_1$, а величина $H_c^B - H_c^{\text{текущ.}} = R_2$ объективно характеризует оставшийся ресурс. Важным является тот факт, что коэрцитиметрия отображает текущий уровень деградации металла, как результат влияния всех совокупных факторов в процессе эксплуатации, независимо от того, какой из них являлся преобладающим.

Вакуленко К. В.
ИПМаш НАН Украины, Харьков, Украина

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Одним из наиболее известных и эффективных способов поверхностного упрочнения инструментов из быстрорежущих сталей и твердых сплавов является нанесение на их рабочие поверхности износостойких покрытий. В качестве материалов для них широко используются карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды и силициды тугоплавких d -переходных металлов IV–VI групп периодической системы элементов.

Анализ показывает, что такие покрытия, нанесенные на рабочие поверхности инструментов, значительно изменяют характеристики процесса резания (изменяется теплонапряженность процесса, снижаются силы резания и интенсивность изнашивания рабочих поверхностей за счет уменьшения схватывания инструмента с обрабатываемым материалом и предотвращения взаимной диффузии атомов контактирующих поверхностей). В результате повышается стойкость инструмента и появляется возможность интенсифицировать процесс резания [1].

Эффективность использования покрытий определяется многими факторами: твердостью покрытия, его адгезией к инструментальной подложке, хрупкостью материала покрытия, коэффициентом термического расширения, теплопроводностью, адгезионной активностью материала покрытия по отношению к обрабатываемому материалу и другими факторами.

Замечено, что адгезионная активность внешней стороны покрытия на режущем инструменте, являясь его основным функциональным свойством, существенно зависит от химического и фазового состава покрытия, и находится в обратной зависимости с его эффективностью. В связи с этим, существует возможность прогнозировать эффективность наносимых покрытий с помощью имеющейся справочной информации о смачиваемости тугоплавких соединений расплавленными металлами при разных температурах. Эта возможность определяется тем, что показателем адгезионного взаимодействия соединения с расплавленным металлом служит краевой угол смачивания θ . На основе справочных данных об углах смачивания широкого ряда тугоплавких соединений раз-

личными металлами [2], был проведен анализ, позволяющий оценить эффективность использования материала в качестве покрытия по параметру его адгезионной активности по отношению к обрабатываемому материалу. Установлено, что для рассмотренных соединений в интервале температур 200–1000 °С наблюдались довольно высокие значения углов смачивания, что свидетельствует о низкой адгезионной активности этих соединений. Существенное изменение углов смачивания и, соответственно, их сильное адгезионное взаимодействие начинается при достижении конкретной температуры, индивидуальной для каждого соединения. Физически это означает, что для осуществления процесса сильного адгезионного взаимодействия контактирующих тел необходима определенная термическая активация. Температура начала адгезионного процесса $T_{на}$ принята для краевого угла смачивания, равного 100 °С (табл. 1).

Таблица 1

Соединения	Значения краевого угла смачивания, град					$T_{на}, °C$ ($\theta=100°$)
	θ (200 – 300 °С)	θ (600 – 700°С)	θ (700 – 800°С)	θ (800 – 900°С)	θ (900 - 1000°С)	
TiC	145	145	145	135	130	~1150
ZrC	150	140	135	145	150	1200
HfC	150	135	145	145	150	1300
VC	125	110	120	125	130	1100
NbC	145	110	110	130	135	1050
TaC	155	125	120	120	120	1050
Cr ₃ C ₂	135	125	120	120	120	1050
WC	145	100	110	135	138	950
TiN	140	145	145	150	150	1450
ZrN	125	135	140	145	150	1500
Al ₂ O ₃	145	145	150	150	150	1650
BN	150	145	145	145	145	~1600
AlN	100	120	125	135	140	~1600

Из табл. 1 видно, что для разных соединений температура $T_{на}$ существенно отличается в пределах 950 – 1650 °С. Она может служить характеристикой адгезионной устойчивости соединения – большую адгезионную устойчивость имеют те соединения, у которых температура $T_{на}$ выше, что и подтверждается их наибольшей эффективностью в составе покрытий или инструментального материала. Таким образом, по величине угла смачивания в определенных интервалах температуры, можно судить о целесообразности использования тех или иных соединений в качестве покрытий для режущих инструментов или в составе инструментальных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мацевитый В. М. Покрытия для режущих инструментов / В. М. Мацевитый. – Харьков: Вища школа, 1987. – 128 с.
2. Физико-химические свойства окислов: Справочник / Под. ред. Г. В. Самсонова. – М.: Металлургия, 1969. – 455 с.

Васильев А. С.
МГТУ им Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия,
Клименко С. А.
Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля
НАН Украины, г. Киев, Украина
Премент Г. Б.
ООО «Фелокт-Сервис», г. Минск, Беларусь,
Хейфец М. Л.
Президиум Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ГИЛЬЗЫ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ

Обеспечение надежности и высокого качества продукции на этапе создания и освоения производства, ремонта изделий заключается в организации такой технологической подготовки и такого производства, при которых продукция соответствовала бы требованиям конструкторской документации и не имела бы вредных последствий от технологических методов обработки. Поэтому все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины и ее техническом обслуживании.

Под наследственностью технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин. Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Процессом технологического наследования можно управлять, с тем, чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, – ликвидировать в его начале.

Количественные связи технологического наследования позволяют определить, насколько велико влияние наследственности данного свойства на надежность работы детали в собранной машине.

При анализе передачи регламентируемых свойств гильзы блока цилиндров двигателя за основной физико-механический параметр материала принимался интегральный, заложенный в технологической документации – твердость поверхностного слоя (НВ). В качестве геометрических параметров точности и качества рабочей поверхности принимались: конусность (q), эллипсность на входе (ε_1) и выходе (ε_2), шероховатость поверхности (R). Конусность характеризова-

ла погрешности формы, эллипсность – точность обработки, а шероховатость – микрорельеф рабочей поверхности гильзы блока цилиндров.

В технологическом процессе изготовления гильзы блока цилиндров выделяли 6 этапов обработки внутренней рабочей поверхности:

- черновую и чистовую расточку на токарных полуавтоматах;
- черновую и чистовую расточку на алмазно-расточных станках;
- черновое и чистовое хонингование на хонинговальных станках.

Контроль параметров качества проводился 8 раз после каждого из приведенных этапов, после обкатки при сборке двигателя и после эксплуатации при возврате двигателя на ремонт.

Замеры геометрических параметров качества производились на рабочей поверхности гильзы, которая является поверхностью трения и находится в контакте с другими деталями.

Результаты измерений по 5 гильзам обрабатывались как средние для класса после каждой из операций механической обработки внутренней поверхности детали и обкатки двигателя, а затем заносились в таблицы. На основе табличных данных строились графики изменения физико-механических и геометрических параметров качества на различных этапах технологического процесса изготовления, сборки и эксплуатации гильзы цилиндра двигателя.

По экспериментальным данным рассчитывались коэффициенты передачи технологического и эксплуатационного наследования и коэффициенты взаимовлияния свойств.

Для оценки наследования по технологическому маршруту и стадиям эксплуатации рассчитывались результирующие коэффициенты K_p , равные произведению соответствующих коэффициентов для параметров качества по всей последовательности операций и стадий. Для определения степени влияния наследования на различных технологических операциях и стадиях эксплуатации рассчитывались коэффициенты сравнения K_c , равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях или стадиях.

Проведенные исследования технологического и эксплуатационного наследования физико-механических и геометрических параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра позволили выявить определяющие процессы передачи свойств при обработке, сборке и эксплуатации двигателя.

Технологическое и эксплуатационное наследование в процессе изготовления и применения изделия свидетельствует о рационально построенном механо-сборочном процессе, в котором на начальных операциях устраняется вредное влияние технологической наследственности, а на заключительных операциях, при сборке и эксплуатации, параметры стремятся к улучшению и сохранению своих величин. В целом по всему технологическому и эксплуатационному процессу физико-механические характеристики сохраняются, геометрические при обработке улучшаются, а при эксплуатации ухудшаются в допустимых пределах.

При технологическом и эксплуатационном наследовании свойств в процессе изготовления и применения изделия проявляется взаимосвязь физико-механических и геометрических параметров качества детали. Твердость материала существенно влияет на отклонение формы детали, а также на точность размеров поверхностей. Влияние на шероховатость геометрических и физико-механических параметров качества постепенно стабилизируются после каждой операции механической обработки вследствие выравнивания неоднородностей материала.

При управлении качеством обработки внутренней поверхности гильзы цилиндра следует регламентировать глубину резания и подачу резца на алмазно-расточных операциях, а на последних операциях механической обработки необходимо строго по регламенту производить обкатку хонинговальных головок до полной приработки алмазных брусков.

Гайдаш Р. П., Коваленко Ю. І., Медяник В. В., Бондаренко Ю. Ю.
Черкаський державний технологічний університет,
м. Черкаси, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ МІКРООБРОБКИ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Актуальність. Подальший розвиток електронно-променевої технології з використанням низькоенергетичних електронних потоків стрічкової форми для створення елементної бази мікро- та наноелектроніки залишається безперспективним без гнучкого керування інструментом впливу на поверхню, а саме – електронним потоком стрічкової форми, шляхом впровадження комплексної автоматизації технологічного обладнання [1].

В той же час, гнучке керування процесом електронно-променевої мікрообробки діелектричних матеріалів неможливе без використання сучасного математичного апарату, який дозволив би, в режимі реального часу з достатньою точністю, здійснювати моделювання режимів оптимального керування процесом електронно-променевої мікрообробки та реалізовувати результати такого моделювання в технологічному процесі.

Тому, актуальним залишається вирішення задачі оптимального керування процесом електронно-променевої мікрообробки елементів виробів із діелектриків шляхом моделювання технологічних режимів.

Метою роботи є знаходження оптимального вирішення задачі керування електронним потоком стрічкової форми шляхом математичного моделювання технологічного режиму мікрообробки діелектричних матеріалів.

Оскільки інструментальна база електронно-променевої мікрообробки відноситься до класу систем з рухомими джерелами впливу, то вирішення задачі керування електронним потоком складається з наступних етапів: постановка задачі оптимального керування, розробка математичної моделі досліджуваного об'єкта, вибір методу пошуку рішення та реалізація його на комп'ютері [2].

Постановка експерименту. В якості експериментальних об'єктів для електронно-променевої мікрообробки використовувались плоскопаралельні круглі пластини з діелектричних матеріалів (оптичного скла К8, кремнію Кр0), діаметром 20 мм і товщиною 0,5-2 мм. Електронно-променева установка побудована на базі вакуумної установки УВН-74. В якості інструмента для електронно-променевої мікрообробки поверхонь експериментальних об'єктів використовувався електронний потік стрічкової форми, що генерувався електронно-променевою гарматою Пірса.

На етапі постановки задачі, у зв'язку зі складністю визначення безпосереднього взаємозв'язку між вихідними властивостями об'єкту та керуючими параметрами, необхідно ввести проміжну ланку – стан об'єкту. Основним показником стану об'єкту під час електронно-променевої мікрообробки є його температура. Експериментально встановлено [3], що для отримання однорідної поверхні з мінімальною кількістю дефектів та заданою мікронерівністю, найсуттєвіше значення має максимально точний розподіл енергетичної електронної стрічки по поверхні за визначеним законом, тобто постає необхідність у вирішенні задачі заданого нагріву та електронної дії на поверхні діелектричних матеріалів.

Обговорення результатів експерименту. Оптимізаційна задача формулюється в такому вигляді: для об'єкту, стан якого $T(x, t)$ визначений в області Ω_x , необхідно визначити керуємість, яка представляється у вигляді інтенсивності розподілення джерела енергії U^* і закону його переміщення $S^*(t)$ ($U^* \leq U_{\max}$, $S^* \in \Omega_S$). При цьому повинна виконуватися умова оптимальності:

$$U^*, S^*(t) \rightarrow \min \{J_T / U \in \Omega_U, S(t) \in \Omega_S\},$$

де $J_T = \| T(x) - T^*(x) \|$, $x \in \Omega^*x$.

В якості математичної моделі електронно-променевої мікрообробки може бути використана модель теплового поля в тонкій пластині великих розмірів запропонована в роботі [4].

Оптимальні параметри U^* , $S^*(t)$ при яких виконується задача нагріву поверхні за заданим законом отримувалися методом градієнтного пошуку, алгоритм якого реалізовано в математичному пакеті MATLAB.

Висновки. Розроблена математична модель дозволяє в режимі реального часу з високою точністю (розбіжність з експериментальними даними – не перевищує 8-12%) вирішувати задачі оптимального керування процесом електронно-променевої обробки елементів виробів із діелектриків, а отримані технологічні режими можуть бути використані автоматичною системою керування [2] технологічним процесом електронно-променевої мікрообробки діелектричних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Впровадження комп'ютеризованої системи керування в процес електронної обробки оптичних матеріалів / М. П. Рудь, Г. В. Канашевич, М. О. Бондаренко, [та ін.] // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы Сьомої щорічної Промислової конф. з міжнародною участю та виставки. – Карпати, 12-16 лютого 2007, сел. Славське, Львівської обл. – Карпати, 2007. – С. 460.
2. Автоматизована система моделювання процесу електронної обробки оптичних матеріалів / І. В. Дробот, Т. Ю. Уткіна, М. П. Рудь, М.О. Бондаренко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси: ЧДТУ, 2006. – №3. – С. 38–41.
3. Бондаренко М. О. Дослідження впливу низькоенергетичного електронного потоку на мікрогеометрію поверхонь п'єзокерамічних елементів / М.О. Бондаренко // Труды Одесского политехнического университета: науч. и производ.-практ. сборник по техн. и естест. наукам. – Одеса, 2009. – Вып. 2(32). – С. 149–153.
4. Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування / В. А. Ващенко, В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, М. О. Бондаренко, [та ін.]. – К.: Політехніка, 2012. – 410 с.

Глембоцкая Л. Е., Балицкая Н. А., Полонский Л. Г., Китаев А. М.
Житомирский государственный технологический университет,
г. Житомир, Украина

ВЫСОКОПРОДУКТИВНАЯ ТОРЦЕВАЯ ФРЕЗА ДЛЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Во многих отраслях машиностроения все чаще используют материалы со специальными физико-механическими свойствами, которые характеризуются низкой обрабатываемостью. Процесс резания таких материалов выдвигает высокие требования к технологическому оборудованию и, прежде всего, инструменту. Анализ конструктивных параметров существующих торцевых фрез и схем резания ними показал необходимость разработки инструмента со ступенчатыми схемами резания с разделением среза по толщине и глубине, одинаковым вылетом ножей относительно корпуса фрезы, более равномерным распределением нагрузки на каждый нож и круглыми режущими элементами. В работе обоснована тороидальная форма корпуса инструмента; разработаны новые ступенчатые схемы резания; выбраны спирали Ферма для расположения ножей фрезы; осуществлен выбор круглой формы режущей кромки ножей для условий косоугольного резания.

С помощью физического моделирования процесса торцевого фрезерования проведено исследование влияния формы передней поверхности ножа на

тангенциальную составляющую силы резания. Использовались четыре формы ножей: призматический, цилиндрический с плоской передней поверхностью, цилиндрический с цилиндрической передней поверхностью и нож с конической передней поверхностью. Это позволило установить, что ножи с цилиндрической передней поверхностью одновременно обеспечивают уменьшение тангенциальной составляющей силы резания и простоту конструкции торцевой фрезы.

Компьютерное моделирование силовых зависимостей процесса торцевого фрезерования в специализированном инженерном программном комплексе DEFORM 3d, который основывается на методе конечных элементов, дало возможность исследовать влияние формы передней поверхности ножей на величину ударной нагрузки в момент врезания ножа в заготовку при обработке стандартной торцевой фрезой с плоской передней поверхностью ножей и торцевой фрезой с цилиндрической передней поверхностью ножей. В результате этого было подтверждено, что использование ножей с цилиндрической передней поверхностью в конструкции торцевых фрез приводит к уменьшению площади контакта стружки с передней поверхностью ножа и улучшению условий стружкоотвода, чем обеспечивается снижение силовой нагрузки на ножи, как в момент врезания в заготовку, так и во время резания. Установлено, что обработка плоских поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов, таких как высокопрочные стали и титановые сплавы, разработанной ступенчатой торцевой фрезой обеспечивает снижение ударных нагрузок во время врезания ножа, тангенциальной составляющей силы резания, уровня вибраций по сравнению с обработкой стандартной торцевой фрезой.

С помощью математического моделирования загруженности режущих кромок ножей ступенчатой торцевой фрезы установлено, что увеличение величины подачи вызывает линейное увеличение толщины, ширины среза и глубины резания на ножах всех ступеней. При этом ширина среза ножей первой ступени оказывается наибольшей, что обуславливает улучшение качества обработанной поверхности, которая формируется путем последовательных положений режущих кромок ножей именно первой ступени. Определена возможность назначения для торцевой фрезы предложенной конструкции переднего угла в размере -16° , углов наклона режущих узлов в размере $-6, 0, 6, 12^\circ$, так как в этом случае будет равномерно увеличиваться площадь среза ножами разных ступеней - от первой до четвертой.

В результате проведенных экспериментальных и промышленных исследований процесса торцевого фрезерования плоских поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов фрезами разработанной и стандартной конструкций установлено, что при обработке высокопрочной стали 38 ХС, закаленной до твердости 40-45 HRC, ступенчатой фрезой обеспечивается уменьшения составляющей P_z силы резания в 1,5 раза, а при обработке титанового сплава – 1,41 раза. Вместе с этим, при тех же режимах резания при обработке высокопрочной стали разработанной торцевой фрезой интенсивность вибраций в 1,17 раза меньше, чем при работе стандартной фрезой, а при обработке титанового сплава – 1,11 раза. Также установлено, что ступенчатая торцевая фреза

обеспечивает снижение шероховатости поверхности при указанных режимах резания приблизительно до 1,95 раза для высокопрочной стали.

Показано, что при максимальных режимах резания высокопрочной стали 38 ХС, закаленной до твердости 40-45 HRC, ступенчатая торцевая фреза обеспечивает меньшую шероховатость обработанной поверхности, чем торцевая фреза стандартной конструкции – Ra 0,42 и Ra 0,82 мкм, при обработке титанового сплава BT1-0 – Ra 0,72 и Ra 0,84 мкм соответственно.

Получено повышение производительности обработки плоских поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов при применении разработанной ступенчатой торцевой фрезы в 1,27 раза за счет увеличения подачи (с 63 мм/мин до 80 мм/мин при обработке высокопрочной стали) при этом шероховатость обработанной поверхности – Ra 0,42 мкм, и 1,26 раза – (с 50 мм/мин до 63 мм/мин при резании титанового сплава) по сравнению с использованием стандартной торцевой фрезы. Таким образом подтверждено, что использование ступенчатой торцевой фрезы разработанной конструкции при обработке плоских поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов обеспечивает повышение производительности процесса резания с одновременным получением качественной поверхности.

Гусарев В. С.

Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Энергетический критерий – удельная работа (энергия) процесса

Технология машиностроения содержит большой спектр физических процессов, начиная от обработки металлов давлением (ОМД), резанием (ОМР), до физических (ФОМ), электронных и светолучевых (ЭФОМ) процессов воздействия на вещество (материал).

Основным показателем этих процессов, несмотря на их физическое разнообразие, является время (t) или обратная величина – производительность (t^{-1}). Как физическая категория в технологии, время – длительность (период) протекания процесса, а производительность – частота, с которой осуществляется технологическое воздействие. Время, как основной показатель, является **необходимым** для анализа и синтеза технологических процессов, но **не достаточным** его показателем. Это положение продемонстрируем примером технологической операции – сверления, которая выполняется с разной степенью концентрации инструмента (рис. 1). Время обработки (t) во всех трех случаях одинаково.

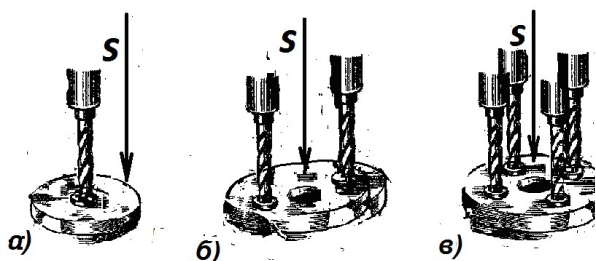


Рисунок 1. – Обрабатываются разные детали

Любой механик скажет: «Здесь требуется разная мощность (P)».

Технолог скажет: «Здесь снимается разный объем стружки (V)».

Любой физический (химический) процесс, положенный в основу технологического процесса, требует затраты энергии (E) для выполнения технологического воздействия, т.е.

работы (A). Если известно время протекания процесса (t) и затрачиваемая мощность (P), то возможно определить энергию по известной формуле $E = P \cdot t$. Это и есть работа (A), затрачиваемая на процесс пластического деформирования объема (V). Обобщенный критерий технологического процесса обработки – удельная работа $a = A/V$.

В силу разнообразия процессов ОМД, ОМР, ФОМ и (ЭФОМ), производить сравнение их между собой для оценки и выбора с целью дальнейшего применения не является корректным, из-за того, что в этом случае не известна база сравнения. Такой **базой сравнения является количество работы (энергии), отнесенное к единице объема выполненной работы:**

$$a = A/V,$$

где a – удельная работа (энергия) [J/cm^3]; A – работа [J]; V – объем [cm^3].

Впервые показатель удельной работы, как характеристика технологической операции, была приведена д.т.н. В. В. Швецом еще в 1967 году в статье [1], а затем более подробно в его же книге [2]. В этих работах предлагалась рассматривать идеальные технологические процессы, исходя из атомно-молекулярного подхода к скорости процессов разрушения вещества, и оценивать эти процессы по показателю удельной работы. В настоящее время в новых взглядах на технологические процессы (операции) и их классификацию удельная работа приобретает новое значение.

Классификация технологических процессов

Технологические процессы по назначению делятся на: обрабатывающие, в основе процесса разрушения (*subtraction*) – обработка с уменьшением массы или объема материала изделия; созидающие в основе процесса объединение (*addetivction*) – процесс увеличения массы или объема изделия. Эти процессы следует рассматривать отдельно. Следуя классификации академика Л. Н. Кошкина [3], который рассматривал различные процессы механической обработки (резанием – ОМР и давлением – ОМД), укажем на четыре класса процессов в зависимости от типа физического воздействия на (материал):

- 1 класс – воздействие точечное (0D),
- 2 класс – воздействие линейное (1D),
- 3 класс – воздействие поверхностное (2D),
- 4 класс – воздействие пространственное (3D).

Технологические процессы по технической реализации делятся на машинные (процессы ОМД и ОМР) и аппаратные (процессы ФОМ и ЭФОМ).

Основные уравнения, использующие критерий удельной работы

Наш интерес к удельной работе технологических процессов и рабочих операций позволяет рассмотреть проблему в связи с классификацией операции с нескольких направлений.

1. Энергия, отнесенная к единице деформированного объема, характеризует удельную работу деформации без разрушения объекта в **процессах ОМД**. Она определяет внешнее воздействие на физический объект (изделие) и выражается через напряжение и деформацию:

$$a = (\sigma_1 \varepsilon_1),$$

где σ_1 – напряжение [N/cm²]; ε_1 – деформация [см/см].

2. Энергия, отнесенная к единице деформированного объема, характеризует удельную работу деформации с разрушением части объекта (отрыв стружки) в **процессах ОМР** и будет выражаться следующей формулой:

$$a = P/(s \cdot t \cdot v),$$

где P – мощность [W]; s – подача [см]; t – глубина [см]; v – скорость [см/с].

3. Энергия, отнесенная к единице объема, характеризует удельную работу в **процессах ЭФОМ**, и выражается следующей формулой:

$$a = (P/f) \cdot (1/v),$$

где P – мощность [W]; f – площадь потока энергии [см²]; v – скорость [см/с].

4. Энергия, отнесенная к единице объема, характеризует удельную работу **ФОМ в термических процессах**. В этих процессах энергия расходуется на фазовые переходы из твердого состояния в жидкое (литье) или из жидкого – в газообразное (плазма). Удельная работа определяется следующей формулой:

$$a = c \cdot \rho \cdot T,$$

где c – теплоемкость [J/kg·K]; ρ – плотность [kg/cm³]; T – температура [K].

Энергия, отнесенная к единице объема, или иначе **удельная работа** – удобная мера производимой работы, является необходимым и достаточным показателем технологического процесса (операции) вне зависимости от физического содержания. Итак, это энергия (J), необходимая для выполнения работы над объемом материала (см³), есть **удельная работа** – (a) (удельная энергия), характеризует технологический процесс по расходу энергоресурса. Основные классы технологических процессов существенно различаются по удельной энергии J/cm³ (Дж/см³). Процессы:

ОМД	$5 \cdot 10^0 \dots 5,5 \cdot 10^2$;
ОМР	$2 \cdot 10^3 \dots 1,5 \cdot 10^4$;
ЭФОМ	$2 \cdot 10^5 \dots 1,4 \cdot 10^6$;
ФОМ	$3 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^7$.

Как видно, наиболее экономичные процессы ОМД – холодная гибка и формовка листов (производство кузовов автомобилей), штамповка взрывом (производство емкостей «бытовой» техники). Достаточно экономичные процессы ОМР в традиционных операциях точения (обработка тел вращения) и фрезерования (обработка плоскостей). Весьма энергоемкие процессы электрофизической обработки (ЭФОМ). Совершенно неэкономичные процессы ФОМ – ультразвуковая и лазерная обработка. Эти процессы специального назначения, необходимые для обработки сверхтвердых материалов.

Особенности применения критерия удельная работа

Рассмотрим предыдущий пример с практической стороны. Деталь требует обработки нескольких одинаковых отверстий. Сравним два варианта обработки. Первый – последовательная обработка n – отверстий в детали на одноинструментальном станке с механизмом перемещения детали для следующего отверстия. Вторым вариантом обработки, где в качестве альтернативы, на многоинструментальном станке все отверстия обрабатываются одновременно. Понятно, что в обоих вариантах удельная работа одинакова: $a_1 = a_2$. На рис. 2 представлены эти два варианта. Обработка в первом варианте из-за необходимости перемещать деталь для следующей обработки, требует дополнительной затраты энергии: $P_p \cdot t_p$.

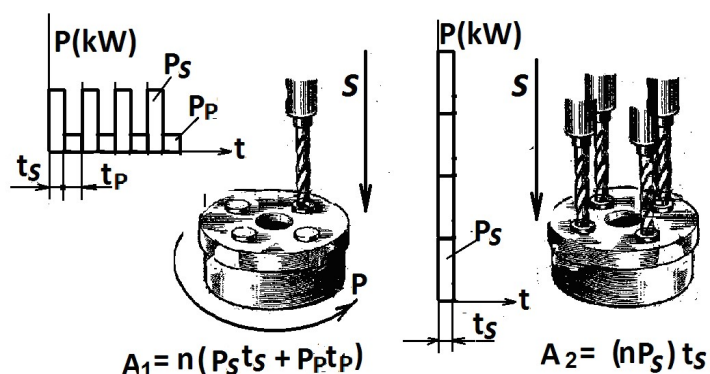


Рисунок 2. – Обрабатываются одинаковые детали (варианты обработки)

Во втором варианте при максимальной концентрации инструментов, которые работают одновременно, затрата энергии уменьшается, как и время обработки на станке $t_1 > t_2$, соответственно $A_1 > A_2$. Здесь следует еще раз отметить, что **удельная работа** процесса обработки **одинакова** $a_1 = a_2$. А вот время $t_1 > t_2$ и энергия, $A_1 > A_2$ технологической операции различны.

Оснащение станков дополнительными механизмами, которые для своей работы требуют энергетического обеспечения, увеличивают оба показателя. Может показаться, зачем эти рассуждения, когда удельная работа, о которой много написано выше, равна. О чем это?

Автор [1, 2] сосредоточил внимание на двух скоростных зонах предельного состояния деформированного вещества. Первая зона с предельной скоростью деформации равной скорости звука, вторая – с предельной скоростью деформации равной скорости света. Далее автор предложил двухкоординатную таблицу «удельная энергия-скорость процесса», которая, к сожалению, не стала «таблицей Менделеева». В заключении автор сформулировал основные требования к идеальным процессам обработки:

«1. В основу процесса должны быть положены электрические или световые явления, так как только они обладают способностью создавать сверхзвуковые скорости.

2. Энергия, необходимая для процесса обработки, должна вводиться непосредственно в рабочую зону, минуя всевозможные передаточные звенья и преобразования.

3. Энергия должна направляться на нарушение и ослабление минимально необходимого количества связей, не затрагивая ближайших слоев обрабатываемого материала».

Закон сохранения удельной работы (энергии) в одинаковом процессе

При выборе технологического процесса (операции), выполняемого на станках, прессах и другом оборудовании с различной степенью концентрации инструментов, привыкли отдавать предпочтение имеющему более высокую производительность, т.е. меньшее время **технологической** операции или процесса. Здесь не надо путать с рабочей операцией или рабочим процессом.

В одинаковых процессах удельная работа постоянна – это есть закон сохранения работы (энергии) во всех формах ее применения.

Возникает вопрос, для чего нам нужно знать и рассчитывать удельную работу? Ведь мы всегда обходились без нее. И, вроде, и знать ее ни к чему, раз ее знание не влияет на производительность – самый главный и важный в производстве из всех показателей.

Удельная работа – это технологическая константа операции

№	Наименование операции	Удельная работа (константа) Дж/см ³
1	Холодная листовая гибка	5...10
2	Холодная гибка профилей	20...40
3	Холодная гибка труб на роликах	20 ...100
4	Штамповка на гидравлических прессах	20...65
5	Штамповка взрывом	22...76
6	Волочение труб без оправки	$(4,0...5,1) \cdot 10^2$
7	Волочение труб с оправкой	$(5,5...8,5) \cdot 10^2$
8	Волочение проволоки	$(5,0 ... 6,0) \cdot 10^2$
9	Холодная резка на ножницах	$(5,5...8,5) \cdot 10^2$
10	Обдирка однопроходная	$(5,6 ... 14) \cdot 10^2$
11	Выдавливание холодное	$(5,5...8,5) \cdot 10^2$
12	Высадка холодная	$(5,6 ... 14) \cdot 10^2$
13	Резание баллистическое	$(1,0...1,3) \cdot 10^3$
14	Точение	$(1,7...2,5) \cdot 10^3$
15	Протягивание	$(2,5...4,0) \cdot 10^3$
16	Зенкерование	$(3,0...4,8) \cdot 10^3$
17	Сверление	$(1,0...6,2) \cdot 10^3$
18	Фрезерование	$(5,0...7,5) \cdot 10^3$
19	Развертывание	$(1,2...3,0) \cdot 10^4$
20	Шлифование	$(5,1...7,5) \cdot 10^4$
21	Электрохимическое шлифование	$(1,4...5,8) \cdot 10^5$
22	Электроконтактная обработка	$(2,3...4,6) \cdot 10^5$
23	Электрохимическое полирование	$(4,25...4,5) \cdot 10^5$
24	Электронно-лучевая обработка	$(2,4...5,8) \cdot 10^5$
25	Электроимпульсная обработка	$(3,5...7,0) \cdot 10^5$
26	Ультразвуковая	$(0,6...3,6) \cdot 10^6$
27	Электроискровая обработка	$(1,1...2,9) \cdot 10^6$
28	Лазерная (светолучевая)	$(2,8...4,7) \cdot 10^7$

Примечание: по данным д.т.н. В. В. Швеца [1, 2] с уточнением автора.

Подробно изучая [4; 5; 6; 7] проблему оценки операций физико-механического воздействия на объект в разных технологических процессах, приходим к выводу, что характеристики удельной работы, предложенные В. В. Швецом, являются **константами** этих процессов.

Сравнение разнородных операций по критерию удельной работы

Используя условие одинакового объема преобразования для различных по технологическому (физическому) содержанию процессов, можно произвести их сравнение по энергетическим затратам.

Сравним финишную обработку изделия, выполненного из одного и того же материала, имеющего определенный припуск на обработку, двумя альтернативными методами (процессами) – круглым шлифованием и тонким точением:

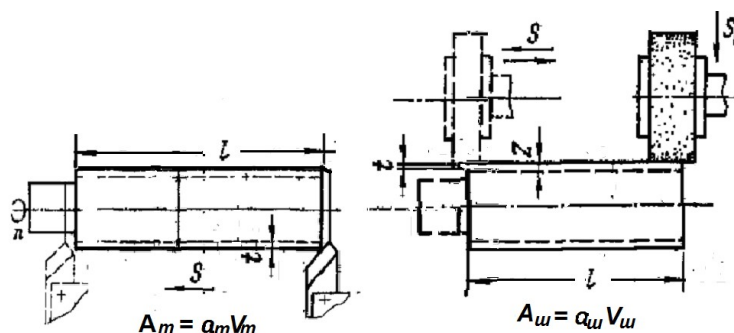


Рисунок 3. – Операции тонкого точения и шлифования

Из условия равных объемов $\Delta V_w = \Delta V_m$ после элементарных преобразований получим:

$$\frac{A_w}{A_m} = \frac{a_w}{a_m}$$

отношение работ равно отношению констант:

$$a_w = (5,5 \dots 7,5) \cdot 10^4, \quad a_m = (1,7 \dots 2,5) \cdot 10^3 \quad \text{или}$$

$$\frac{A_w}{A_m} = \frac{(5,5 \dots 7,5) \cdot 10^4}{(1,7 \dots 2,5) \cdot 10^3} = 30$$

Таким образом, процесс тонкого точения в 30 раз менее энергоемок, чем шлифования, при снятии одинакового припуска. Возможно, столь большая величина энергозатрат при шлифовании вызовет удивление? Однако напомним, что «удельная» энергия зависит от соотношения процесса трения, царапания и резания, являющихся составными элементами шлифования. Сравнение этих двух процессов в технологической практике (литературе) не анализировалось и обсуждению не подвергалось.

Рассмотрим другой пример. Обработка зубчатых венцов колес обычно выполняется в две операции ОМР: первая – фрезерование, вторая – шлифование. Если использовать вместо традиционного процесса технологический процесс на основе операции ОМД, т.е. производить накатку зубьев роликами, например, по методу фирмы GRJB, при обеспечении качества предыдущего варианта, то при сравнении вариантов по технологическим константам получим возможность выбора с минимальной затратой энергии.

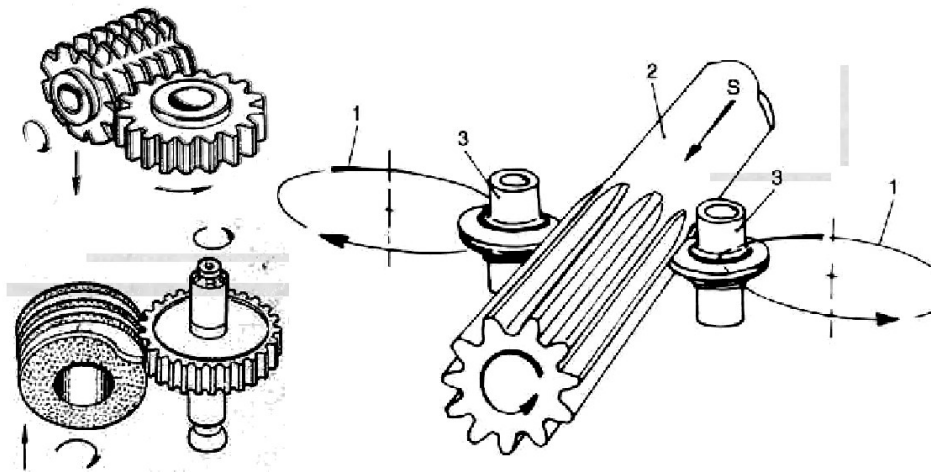


Рисунок 4. – Операции ОМР и ОМД при обработке зубчатого колеса:

$$a_{\Phi} = (5,0 \dots 7,5) \cdot 10^3; \quad a_{ш} = (5,1 \dots 7,5) \cdot 10^4; \quad a_{омд} = (5,5 \dots 8,5) \cdot 10^2;$$

$$\frac{A_{\Phi+ш}}{A_{омд}} = \frac{(5,0 \dots 7,5) \cdot 10^3 + (5,1 \dots 7,5) \cdot 10^4}{(5,5 \dots 8,5) \cdot 10^2} = 110 \dots 90.$$

Таким образом, получено стократное различие в затратах энергии. Естественно эти расчеты приблизительные, но все же указывают направление работы ученых-исследователей и технологов-практиков. Аналогичным приемом можно сравнивать сложные многооперационные процессы – варианты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швец В. В. Распределение технологических процессов обработки в машиностроении по энергетическим уровням и скоростным зонам / В. В. Швец // Вестник машиностроения. 1967. – № 10. – С. 61–62.
2. Швец В. В. Некоторые вопросы теории технологии машиностроения / В. В. Швец. – М.: Машиностроение, 1967. – 63 с.
3. Кошкин Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л. Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 235с.
4. Гусарев В. С. Энергетическая эффективность технологических процессов / В. С. Гусарев // Авиационно-космическая техника и технология: сборник трудов. – Харьков: ТАКУ им. Н. Е. Жуковского, 2000. – Вып. 14. – С. 41–44.
5. Гусарев В. С. Технологическая энергоэкономика / В. С. Гусарев // Вестник инженерной академии Украины. – 2001. – №2. – С. 302–356.
6. Гусарев В. С. Энергетические проблемы современной технологии машиностроения / В. С. Гусарев // Вестник инженерной академии, 2002. – №3. – С. 165–176.
7. Гусарев В. С. Сравнение и выбор технологических решений на основе энергетического критерия / В. С. Гусарев, Л. С. Стоянова // Технические проблемы: станкостроения, производство технологической оснастки и инструмента. – Киев: АТМ Украины, 2002. – С. 14–16 .

ОРГАНИЗАЦИЯ ФИНИШНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Алмазно-искровое шлифование (АИШ) сопровождается эрозированием обработанной поверхности, выступающей катодом в ее электрическом взаимодействии с металлофазами режущего инструмента [1]. Следы импульсных электрических разрядов вытягиваются на ней вдоль вектора скорости резания с образованием микролунок [2]. Обобщение данных микроскопических исследований и изучение информации об объемно-габаритных размерах этих лунок [2] позволяет моделировать их вытянутыми полуэллипсоидами вращения, геометрия которых определяется электроэрозионной стойкостью обрабатываемого материала [1], кинематико-геометрическими и электрическими режимами АИШ [3].

Опыт АИШ обычно свидетельствует о некотором повышении шероховатости обработанной поверхности по сравнению с обычной алмазной обработкой [2]. Это связывается с присущей АИШ возможностью поддержания значительно более стабильной высоты режущего рельефа при существенном уменьшении удельной работы связки в процессе шлифования за счет ее принудительного удаления анодным эрозированием с образованием микролунок под действием электрических разрядов.

В цикле финишной электроэрозионной алмазно-абразивной обработки обычной практикой достижения шероховатости обработанной поверхности, соответствующей обработке без тока и пониженной по сравнению с АИШ на заданную глубину шлифования, является включение в цикл завершающей операции бестокового выхаживания [2].

В идентичных режимных условиях обычного алмазного шлифования, в отсутствие электроэрозионного разрушения стружек в процессе их отделения от шлифуемой поверхности и после него, в случае развитого режущего рельефа (после правки), межзеренное пространство является своего рода галтовочной миникамерой, в которой роль шлифовально-полировального инструмента, непрерывно частично удаляемого и возобновляемого, играют сколы сверхтвёрдого абразива и, главным образом, заторможенные стружки и продукты их диспергирования.

Рабочей зоне АИШ эти явления также присущи, но в гораздо меньшей степени, что и проявляется, как правило, менее сглаженным микрорельефом обработанной поверхности. Однако эрозионные образования (лунки) на поверхности детали после АИШ изменяют общую картину и показатели шероховатости по сравнению с обычным шлифованием в общем случае неоднозначно. При относительно малых эрозионных нарушениях поверхности (по глубине

вторжения в микрорельеф сопоставимых по высоте с его высотой) шероховатость обработанной поверхности может заметно снижаться; при этом наблюдается эффект эрозионного сглаживания рельефа.

В работе [4] рассмотрен механизм сглаживания шероховатости обработанной АИШ поверхности по сравнению с ведением рабочего процесса алмазным шлифовальным кругом с идентично развитым рельефом, специально сформированным предварительно или автономной правкой в цикле шлифования. Геометрическая модель [4] опирается на физическое ожидание того, что эрозионные следы движущихся пятен каналов разрядов (электрических контактов) занимают энергетически наиболее выгодные положения, с возможно минимальным зазором (сопротивлением в контакте), и потому, во-первых, минимально пересекаются (каждая последующая лунка формируется вероятнее вне уже состоявшихся) и, во-вторых, эрозия начинается с наибольших выступов профиля.

Настоящей работой преследуется цель обратить внимание исследователей и практиков прогрессивного технологического метода АИШ на целесообразность рассмотрения при проектировании и подготовке процессов с его использованием присущих ему возможностей получения сглаженной шероховатости обработанной поверхности без включения заключительным технологическим переходом бестокового выхаживания.

Несмотря на то, что предпочтительность АИШ как метода механического процессирования наивысша именно в отношении труднообрабатываемых материалов, как правило отличающихся присутствием в их составе металлов повышенной электроэрозионной стойкости, характерным примером чего являются твердые сплавы, результаты анализа исследовательского опыта указывают на прагматичность предлагаемого альтернативного подхода к организации и проведению финишных технологических операций АИШ со сглаживанием шероховатости обработанной поверхности без выхаживания. С его практической реализацией связывается, во-первых, сокращение времени операционного цикла АИШ до достижения заданной шероховатости, и, во-вторых, минимизация потерь развитости режущего рельефа шлифовальных кругов по сравнению с конвенциональными подходами к организации рабочих циклов АИШ.

В более широком рассмотрении [5], в том числе без прибегания к выхаживанию, в контексте вышеизложенного и ранее опубликованного [6, 7], по отношению к использованию электроэрозионного сглаживания микрогеометрии обработанной поверхности структуры цикла операции с многопроходной или врезной обработкой алмазно-абразивным инструментом и с АИШ в цикле можно подразделить на две группы, а именно без такового использования (*первая*) и с ним (*вторая*).

Первая. Метод АИШ использовать в первой части цикла адекватно потребности в реновации режущего рельефа, затем выключать подачу в зону резания возбуждающей разряды электрической энергии и работать притупляемым кругом, при необходимости обеспечивая заданный уровень шероховатости об-

работанной поверхности путем перехода в цикле на пониженную глубину резания (скорость врезания) и (или) выхаживание без поперечной подачи.

Вторая. Метод АИШ использовать в первой части цикла адекватно потребности в реновации режущего рельефа, затем понижать мощность электрических импульсов подводимой в зону резания дополнительной энергии до формирования электроразрядных лунок глубиной не выше R_a .

В результате построения операционного цикла алмазно-абразивной обработки по предложенным выше структурным схемам возможно не только достигнуть необходимой шероховатости обработанной поверхности, обеспечиваемой алмазным кругом той же зерновой характеристики по марке, зернистости, концентрации (известный подход, первая группа структур), но и получить, по сравнению с известными схемами структуризаций операционного цикла, выигрыш во времени в решении этой задачи или добиться более сглаженного рельефа (вторая группа структур).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фукс, М.Я. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльборовской обработки / М.Я. Фукс, Н.К. Беззубенко, Б.М. Свердлова. – Киев : Вища шк. – 1979. – 160 с.

2. Кобзарь, Л.Е. Прогрессивное алмазно-искровое шлифование / Л.Е. Кобзарь, В.А. Фадеев, Н.К. Беззубенко. – Харьков : ХГПУ, ХНПО «ФЭД». – 1995. – 152 с.

3. Гуцаленко, Ю.Г. Расчет электроэрозии при алмазно-искровом шлифовании по данным микроскопической визуализации / Ю.Г. Гуцаленко // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. – 1999. – Вып. 66. – С. 54-58.

4. Гуцаленко, Ю.Г. Модель сглаживания шероховатости поверхности при алмазно-искровом шлифовании / Ю.Г. Гуцаленко // Современные инновации в науке и технике : Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 17 апр. 2014 г. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т. – Т. 1. – С. 325-328.

5. Гуцаленко, Ю.Г. Особенности и возможности формирования микрогеометрии обработанной поверхности алмазно-искровым шлифованием / Ю.Г. Гуцаленко // Високі технології в машинобудуванні. – 2015. – Вип. 1 (25). – С. 50-58.

6. Гуцаленко, Ю.Г. Формирование сглаженной шероховатости обработанной поверхности при алмазно-искровом шлифовании / Ю.Г. Гуцаленко // Современная наука : проблемы, инновации, решения – III : Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 10-11 дек. 2015 г.) / Курск. ин-т социал. образования (филиал) РГСУ. – Курск : ООО «Учитель», 2015. – С. 212-216.

7. Гуцаленко, Ю.Г. Специфические особенности и возможности алмазно-искрового шлифования в микрогеометрической инженерии поверхности / Ю.Г. Гуцаленко, А.А. Аракелян // Физические и компьютерные технологии : Тр. 21-й междунар. науч.-практ. конф. 24-25 дек. 2015 г., г. Харьков. – Днепропетровск : Изд-во «Лира», 2015. – С. 25-29.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ РЕСУРСОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

В технологических задачах алмазно-абразивной обработки, особенно чистой, в том числе с управляемым притуплением наиболее выступающих зерен, следует учитывать необходимость ограничения притупления режущих зерен, а также корректного исходного выбора инструмента с алмазным шлифпорошком подходящей характеристики (марки и зернистости) из условия осуществимости процесса тонкого микрорезания и стружкообразования ими. Очевидно, что такой выбор предопределяет также полноту использования уникальных режущих свойств сверхтвердых абразивов и ресурс инструментов из них в целом. Научно обоснованное принятие во внимание характеристик зерновых составов алмазных шлифпорошков, в особенности микрогеометрических статистик, соответствующие прогностические модели и расчеты по ним предоставляют возможность разработчику практических технологий на стадии их проектирования решать вопросы расширения технологических возможностей и повышения эффективности алмазно-абразивной обработки.

Для формулировки системы необходимых для этого условий воспользуемся известной расчетной схемой [1] (рис. 1) и будем исходить из классической формулировки И.В.Крагельского [2] достаточности глубины a_z внедрения абразивной

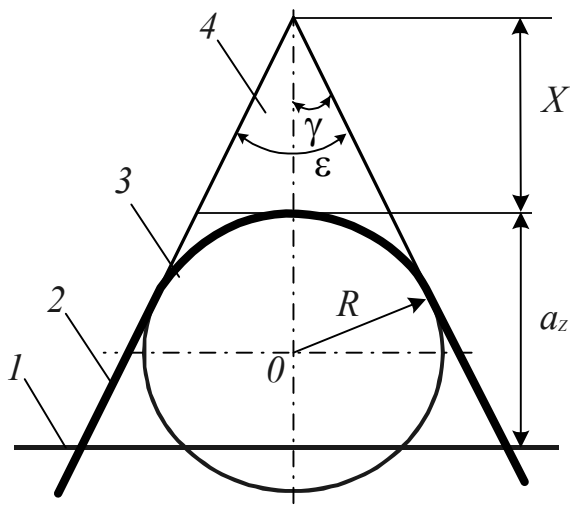


Рисунок 1. – Расчетная схема:
 1 – уровень связки, 2 – контур зерна,
 3 – сечение среза, 4 – изношенная
 часть зерна

частицы в материал для его микрорезания, если a_z превышает определенную часть радиуса R контактирующего выступа соответствующей конфигурации, т. е.:

$$(a_z/R) > [a_z/R], \quad (1)$$

где a_z – толщина среза, м; R – радиус округления вершины зерна, м.

Проблема соблюдения условия (1) рассматривается здесь во взаимосвязи со степенью затупления зерна η [1]

$$\eta = X/(X + a_z), \quad (2)$$

где X – величина линейного износа зерна, измеряемого от вершины описывающего зерно конуса, и углом при вершине зерна $\varepsilon = 2\gamma$ в его конусообразном представлении с закругленной вершиной (рис. 1).

Из тригонометрического соотношения для $\sin\gamma$ по рис. 1, с подстановкой X из (2) и последующим разрешением соотношения как уравнения относительно η , получаем:

$$\eta = 1 / (1 + (a_z/R) \cdot \sin\gamma / (1 - \sin\gamma)). \quad (3)$$

Введением далее в полученное уравнение (3) известного (принятого) значения $[a_z/R]$ и геометрической характеристики заострения зерна γ получаем расчетное значение $[\eta]$ являющееся пределом сверху для η из условия эффективной эксплуатации шлифовального круга с характеристикой заострений зерен $\varepsilon = 2\gamma$ по ограничению. $[a_z/R]$.

В табл. 1 приведены критические для осуществления микрорезания значения $[\eta]$ в диапазоне характеристик углов заострения ε синтетических алмазных зёрен согласно [3]. Значения критерия $[a_z/R]$ в табл. 1 соответствуют границам его определения по И.В. Крагельскому [2], а также в интерпретации [4] и с учетом постановки и результатов исследования [5].

Таблица 1 – Расчет коэффициента затупления η , критического для микрорезания конусообразным с закругленной вершиной алмазным зерном

$[a_z/R]$	Угол заострения зерна ε , град.				
	90	100	110	120	130
0,05	0,89	0,85	0,81	0,75	0,67
0,1	0,80	0,75	0,68	0,60	0,50
0,2	0,67	0,60	0,52	0,43	0,34
0,3	0,58	0,50	0,42	0,34	0,25
0,5	0,45	0,37	0,30	0,23	0,17

Таким образом, если установлено значение нормы η ($[\eta]$), а условие $\eta < [\eta]$ для шлифовального круга с характеристикой зерен шлифпорошка (марка, зернистость), используемой в расчетах проектной стадии технологической операции не выполнено, то следует изменить выбор марки и (или) зернистости

шлифпорошка с учетом известных данных об угловых характеристиках алмазных зерен [3]. При этом следует учитывать, что варьирование зернистостью является более ощутимым резервом возможного затупления зерен (и потому наиболее полного использования сверхтвердых алмазных абразивов), при котором процесс микрорезания (шлифования) еще осуществим.

В работе [6] показано, что предел затупления зерна $[\eta]$ является пропорциональным отражением ресурсного потенциала шлифовального круга. Технико-экономические прогностические возможности показанной в табл. 1 расчетной практики демонстрирует табл. 2. В ней для приведенных зернистостей шлифпорошков синтетических алмазов АС2 и АС4 представлен прогноз относительного ресурсного потенциала использующих их инструментов с сопоставимыми объемно-геометрическими характеристиками алмазосодержащего рабочего слоя. Расчетными примерами в табл. 2 охвачена центральная группа значений $[a_z/R]$ из табл. 1.

Как следует из табл. 1, зависимость допустимого затупления алмазных зерен и определяемого им ресурса шлифовальных кругов от исходной остроты зерен с возрастанием порога $[a_z/R]$ также возрастает: в рассмотренном диапазоне углов заострения от 90° до 130° относительное рассеивание границ ресурс-

ного диапазона вокруг среднего арифметического от $[a_z/R] = 0,05$ к $[a_z/R] = 0,5$ возрастает втрое. Соответственно меньшие отклонения расчетных значений относительного ресурса наблюдаем внутри массива прогностик использования шлифовальных порошков различных зернистостей данной марки синтетических алмазов, характеризующихся [3] определенными углами заострения алмазных зерен, при понижении порога $[a_z/R]$ осуществимости съема материала контртела микрорезанием-царапанием, табл. 2.

Таблица 2 – Внутримарочный прогноз относительного ресурса алмазных инструментов по данным [3] об остроте зерен, %

Марка шлифпорошка	$[a_z/R]$	Зернистость шлифпорошка, мкм				
		125/100	100/80	80/63	63/50	50/40
АС2	0,1	89,2	86,5	100	90,3	89,2
	0,2	83,9	88,5	100	85,5	83,9
	0,3	80,9	86,2	100	82,6	80,9
АС4	0,1	92,0	78,5	92,0	94,4	100
	0,2	88,4	70,5	88,4	91,8	100
	0,3	86,3	66,4	86,3	90,2	100

Приведенные расчетные подходы и результаты могут использоваться как в поиске организационно-технологических резервов усовершенствования существующих технологий, так и в проектных разработках шлифовальных операций, а также в теоретических исследованиях оптимизации инструментального обеспечения и рабочих процессов шлифования.

ЛИТЕРАТУРА

- Новиков, Ф.В. Кинематика образования шероховатости поверхности при шлифовании / Ф.В. Новиков // В кн. : Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10-ти томах. – Т.6 : Качество обработки деталей машин. – Одесса : ОНПУ, 2003. – С. 86-143.
- Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М. : Машгиз, 1962. – 384 с.
- Никитин, Ю.И. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю.И. Никитин и др. – Киев : Наук. думка, 1992. – 284 с.
- Семко, М.Ф. Основы алмазного шлифования / М.Ф. Семко и др. – Киев : Техника, 1978. – 192 с.
- Узунян, М.Д. Износ единичных алмазных зерен / М.Д. Узунян // Станки и режущие инструменты. – 1968. – Вып. 7. – С. 15-19.
- Гуцаленко, Ю.Г. Модель, условия и прогностические следствия осуществимости чистового алмазного шлифования кругами с режущими зернами различного заострения и притупления / Ю.Г. Гуцаленко // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях : Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 4-5 июня 2014 г. – В 3-х т. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – Т. 1. – С. 171-175.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИКРОСТРУКТУР МАТЕРИАЛОВ

В процессах исследований свойств материалов деталей в современном машиностроении важное место занимает распознавание их структур. Соответствующие методы, автоматизированные и автоматические системы описаны в большом количестве научных работ отечественных и зарубежных авторов. На кафедре МТМ ОНПУ разрабатывается лабораторная система контроля и распознавания структур материалов (СКРСМ), ориентированная на использование в учебном процессе. В ее состав входит модернизированный металлографический микроскоп МИМ-7, система технического зрения и специализированный программный комплекс (ПК), созданный на базе предыдущих разработок, созданных совместно с к.т.н. Криницыным Д.А. [1]. ПК включает набор модулей для многоуровневой обработки изображений информативных зон микрошлифов. В данной работе рассмотрен только один из вариантов первого уровня обработки изображений (и соответствующий модуль ПК), предназначенный для выделения контуров компонентов структур и расчета набора их параметров – т.е. набора признаков формы. При его создании использованы материалы работы [2].

В ряде исследований возникает необходимость обработки в СКРСМ не только цифровых изображений изготовленных микрошлифов, но и изображений, приведенных в известных учебниках и атласах. Как правило, их качество после сканирования не очень высокое (особенно – в старых изданиях). Поэтому представляет интерес оценка работоспособности модулей ПК и в этих условиях.

Целью работы является изложение ряда предварительных результатов испытаний модуля ПК, предназначенного для выделения контуров компонентов микроструктур материалов по их изображениям и расчета наборов соответствующих признаков.

На рис. 1,а показано изображение микроструктуры технического железа, приведенное в [3], а на рис. 1,б – его фрагмент, использованный для проведения испытаний.

На рис. 2 приведено изображение первичной рабочей панели модуля для выделения контуров компонентов структур, оценки их формы и расчета комплекса признаков. В левое верхнее ее окно загружается исходное изображение, и после анализа гистограммы яркости и назначения порога происходит выделение контуров компонентов структуры и их отображение в правом окне.

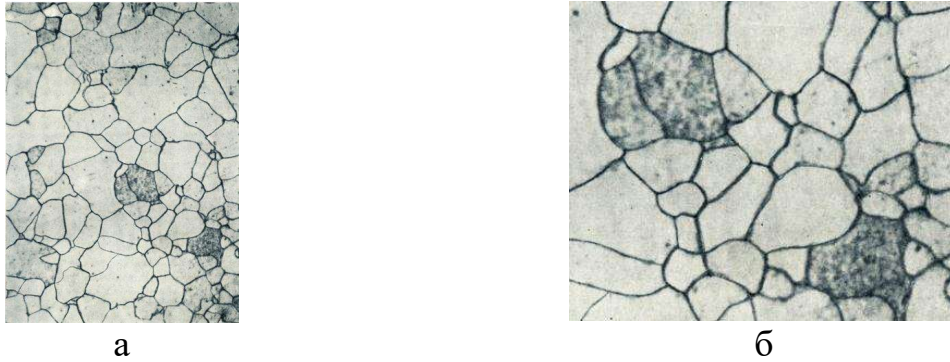


Рисунок 1. – Изображение микроструктуры технического железа [3] и его фрагмент, выбранный для обработки (б)

На рис. 3 и рис. 4 представлены виды рабочей панели (и ее фрагментов), соответствующие этапам выделения и обработки четырех последовательно расположенных вдоль оси X (от начала координат) контуров зерен феррита (Contour 1, Contour 2, Contour 3, Contour 4).

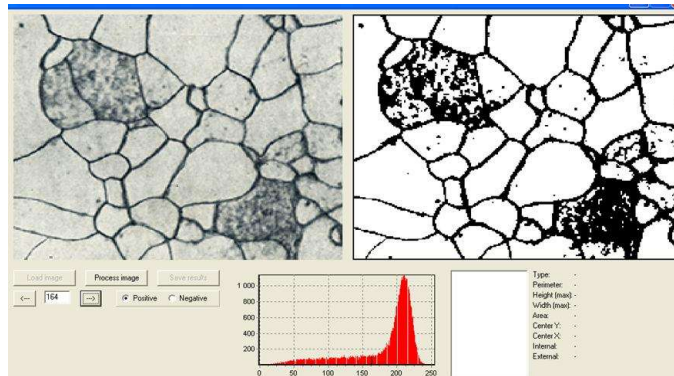


Рисунок 2. – Изображение первичной рабочей панели модуля ПК для выделения контуров компонентов структуры, оценки их формы и расчета комплекса признаков

Начало системы координат ХУ правого окна панели (где последовательно отображаются выделенные контура), расположено в левом верхнем его углу.

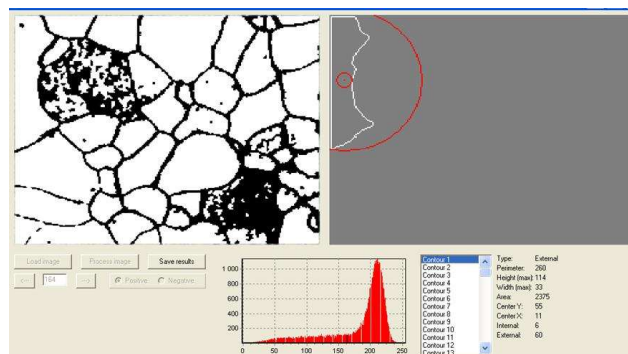


Рисунок 3. – Изображение рабочей панели модуля ПК на этапе выделения контуров компонентов структуры и расчета их параметров (в правом верхнем окне выделен контур № 1 зерна феррита)

Контурные на рис. 4,а и рис. 4,б показаны в их истинном положении в системе ХУ, на рис. 4,в тот принцип уже не соблюдается (с целью сокращения размера рисунка).



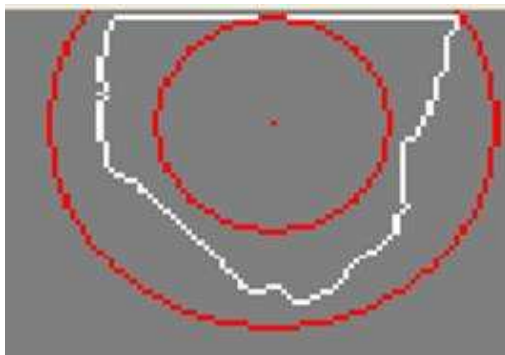
Contour 1	Type: External
Contour 2	Perimeter: 91
Contour 3	Height (max): 19
Contour 4	Width (max): 38
Contour 5	Area: 537
Contour 6	Center Y: 8
Contour 7	Center X: 42
Contour 8	Internal: 7
Contour 9	External: 20
Contour 10	
Contour 11	

а



Contour 1	Type: External
Contour 2	Perimeter: 113
Contour 3	Height (max): 31
Contour 4	Width (max): 39
Contour 5	Area: 951
Contour 6	Center Y: 14
Contour 7	Center X: 79
Contour 8	Internal: 13
Contour 9	External: 23
Contour 10	
Contour 11	

б



Contour 1	Type: External
Contour 2	Perimeter: 190
Contour 3	Height (max): 57
Contour 4	Width (max): 66
Contour 5	Area: 2691
Contour 6	Center Y: 22
Contour 7	Center X: 128
Contour 8	Internal: 21
Contour 9	External: 40
Contour 10	
Contour 11	

в

Рисунок 4. – Результаты выделения и обработки контуров № 2, 3, 4 зерен феррита (слева – контура зерен с выделенными центрами тяжести, вписанной и описанной окружностями (выделены красным цветом), справа – окно перечня контуров и расчетных значений параметров контура)

В окнах признаков контуров структур (и соответственно – в таблице) приняты следующие обозначения: Type – тип контура (внешний); Perimetr (Pr_k) – периметр контура; Height(max) – габаритный размер контура по вдоль оси Y (H_{max}); Width – габаритный размер контура по вдоль оси X (W_{max}); Area – площадь контура (S_k); Center Y – ордината центра тяжести контура в системе ко-

ординат изображения $XY(Y_C)$; Center X – абсцисса центра тяжести контура в системе координат изображения $XY(X_C)$; Internal – радиус окружности, вписанной в контур (R_{\min}); External – радиус окружности, описанной вокруг контура (R_{\max}).

Таблица – Подборка наборов признаков контуров структур, представленных на рис. 4

№ контура	Параметры некоторых из контуров зерен феррита							
	Pr_k	H_{\max}	W_{\max}	S_k	Y_C	X_C	R_{\min}	R_{\max}
2	91	19	38	537	8	42	7	20
3	113	31	39	951	14	79	13	23
4	190	57	66	2691	22	128	21	40

Значения данных приведены в пикселях, которые с использованием калибровки оптической системы специальными объект – микрометрами легко переводятся в традиционные единицы.

Проведены обработка ряда других изображений микроструктур, привести которые не позволяют требования к объему статьи.

Для формирования пространства классов форм компонентов структур материалов (на примере полученных данных) на первом этапе может быть использован вектор признаков формы:

$$V_F = (Pr_k, H_{\max}, W_{\max}, S_k, Y_C, X_C, R_{\min}, R_{\max}).$$

В заключение отметим следующее. Предварительные испытания модуля ПК, предназначенного для выделения контуров компонентов микроструктур материалов по их изображениям и расчета наборов соответствующих признаков, показали его работоспособность. Даже при низком качестве исходного изображения модуль в целом обеспечивает выделение контуров и расчет признаков их формы. Для устранения отдельных ошибок необходимо дополнительно использовать модуль предварительной обработки, фильтрации изображений. Дальнейшие работы будут посвящены отбору наиболее информативных признаков формы контуров компонентов структур.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Деревянченко А. Г. Интеллектуальная система диагностирования отказов и прогнозирования ресурсов режущих инструментов: монография / А. Г. Деревянченко, Д. А. Криницын. – Одесса: Астропринт, 2012. – 200 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Болховитинов Н. Ф. Атлас макро- и микроструктур металлов и сплавов / Н. Ф. Болховитинов, Е. Н. Болховитинова. – М.: Машиностроение, 1964. – 75 с.

ОПЫТ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПАСТАМИ И СУСПЕНЗИЯМИ

Особую роль в технологическом процессе изготовления деталей играют чистовые и отделочные методы обработки. Наиболее распространенным из них является алмазно-абразивная доводка, которая позволяет заменить шлифование, получить 12 – 14 классы чистоты поверхности и отклонения от требуемой геометрической формы обработанных (плоских, цилиндрических и сферических) поверхностей в пределах 0,1 – 0,3 мм. Технологическое преимущество механических доводок заключается в том, что за одну операцию можно осуществить сначала черновой, а затем окончательный чистовой переход. Эксплуатационные качества обработки поверхности после доводки могут быть выше, чем после точного шлифования, суперфиниша, хонингования. В отечественной и зарубежной промышленности на доводочных станках обрабатываются: плоские поверхности поршневых колец, поворотных заслонок, кулисных камней, зубчатых секторов и шестерен, мембран, шатунов; плоские и цилиндрические поверхности деталей гидро- и топливной аппаратуры агрегатов, стыковые поверхности корпусных деталей, салазок ползунов и суппортов станков, торцовые поверхности подшипников, быстросменные твердосплавные пластины резцов, фрез, калибры, плоскопараллельные меры длины, торцевые поверхности наборных фрез и т.д. В приборостроении широко применяются доводочные и полировальные станки для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, например, керамик марок ЦМ332 и 22ХС стеатита, твердых сплавов, рубина, кварца, кремния, арсенида галлия, ферритов, ситаллов и т.д.

В зависимости от способа подачи абразива в зону обработки различают следующие методы доводки: с непрерывной подачей абразивной смеси (сuspензии) на рабочие поверхности притиров; с намазкой – нанесением абразивной алмазной смеси – пасты на притиры; притирами или плитами, предварительно шаржированными зёрнами паст. По точности и шероховатости обработанной поверхности доводочные операции делятся на: грубые – припуск на сторону 0,02 – 0,05 мм (чистота 9 – 10 классы (геометрия 3,5 мкм)); чистовые – припуск 0,005 – 0,01 мм (геометрия 1 – 2 мкм), чистота 10 – 11 классы; тонкие – припуск 0,0003 – 0,001 мм (точность 0,1 – 0,5 мкм), чистота 12 – 14 классы.

Доводка стальных деталей осуществляется шлифованием и микропорошками из электрокорунда Э (нормальный, белый, титанистый, хромистый), монокорунда МОНО, карбида кремния ВЗ, алмазными микропорошками АСМ, АСН, АМ и микропорошками эльбора ЛМ; доводка твердосплавных деталей – карбидами кремния КЗ, бора В4С, алмазными микропорошками. Окончательную доводку деталей из стали и мягких материалов (медь, алюминий и сплавы)

рекомендуется выполнять абразивными материалами пониженной твердости (окись хрома, окись алюминия, крокус и глинозем, прокаленный при температуре 120 – 130 °С). Применение этих абразивов позволяет устранить нашарживание их в материал детали.

Абразивная доводка – процесс массового динамического воздействия абразивных зерен на обрабатываемый материал, происходящий при активном участии среды, в которой происходит снятие тончайших стружек. Доводка основана на механических процессах, связанных с выкалыванием и отрыванием частиц обрабатываемого материала, образованием стружки, пластическим и другим деформированием и преддеформированием обрабатываемой поверхности. Химические и физико-химические процессы связаны с образованием окислительных пленок. При введении в состав суспензии поверхностно активных веществ на обрабатываемой поверхности адсорбируются полярные молекулы, проникающие вглубь обрабатываемого материала по микротрещинам, возникающим в процессе деформации поверхностного слоя. В результате адсорбционных процессов уменьшается твердость твердого тела.

Абразивные зерна на поверхности деталей из стали и чугуна воздействуют следующим образом: при переменном движении детали и притира относительно друг друга абразивные зерна то врезаются в материал притира и детали, то выходят из него, принимая каждый раз новое положение. При этом они изнашиваются со всех сторон. Как только действующее усилие на отдельные зерна превысит их прочность, затупившиеся зерна разламываются, образуя несколько мелких зерен, которые имеют острые режущие кромки. Таким образом, в процессе работы восстанавливается абразивная способность суспензии, хотя давление на режущие кромки зерен уменьшается и они оставляют следы на обрабатываемой поверхности меньшей глубины. Особенность процесса доводки деталей шаржированными притирами по сравнению с доводкой свободными зернами паст и суспензией следующая. Закрепленные в поверхности притира зерна внедряются в поверхность детали на меньшую глубину, чем зерна той же зернистости, находящиеся в свободном состоянии в слое пасты или суспензии. Поэтому результаты доводки стабильнее.

При плоской односторонней и двухсторонней доводке суспензиями объем снятого материала прямо пропорционален пути доводки и увеличивается с ростом зернистости абразива, давления P и скорости V . Количество абразивной суспензии должно быть достаточным для создания на всей поверхности притира равномерного слоя. При разрыве слоя суспензии произойдет непосредственное соприкосновение поверхностей обрабатываемой детали и притира. Вязкость жидкости оказывает незначительное влияние на абразивные свойства суспензии. Рабочая жидкость – веретенное масло, керосин и эмульсии (75 % веретенного масла, 8 % канифоля, 10 % леиновой кислоты, 4,5 % спирта, 4,5 % каустической соды). Хорошо зарекомендовало себя веретенное масло. Суспензии обычно применяются для окончательной доводки. Абразивная способность алмазных суспензий при доводке сталей X12Ф1 в 2,5 – 7,5 раза выше, чем абразивных суспензий (при тех же условиях обработки). Смазочно-охлаждающие

жидкости (СОЖ), применяемые при алмазно-абразивной обработке, способствуют формированию поверхностного слоя детали и его модифицированию пленками различного назначения, например, антикоррозийными, гидрофобными и т.д. Диспергирующее действие СОЖ позволяет эффективно снижать поверхностную энергию в зоне разрушения. За счет отвода тепла из зоны обработки снижается контактная температура. СОЖ классифицируют по химической структуре и разделяют на углеводородные составы, эмульсионные и водные жидкости. Водные СОЖ разделяются на электролиты, водные растворы поверхностных веществ (ПАВ) и суспензии. Часто используют комбинированные составы, содержащие одновременно растворы солей.

В зарубежной литературе СОЖ класса ПАВ известны как химические или синтетические жидкости. Эмульсиями называются дисперсные системы, состоящие из двух жидкостей, взаимно нерастворимых или малорастворимых. Жидкость, являющаяся дисперсной фазой, распределена в форме мельчайших капелек. При обработке материалов резанием применяют эмульсии "масло в воде". Концентрат, разбавляемый водой, называют эмульсиями. Современные эмульсии являются сложными коллоидными системами, включающими эмульгаторы, активные присадки, ингибиторы коррозии, бактерицидные добавки и другие компоненты. К углеводородным СОЖ относятся минеральные и растительные масла. Иногда используют компаундированные системы – смеси минеральных и растительных масел. Однако, последние дороги и дефицитны. Значительно чаще используют минеральные масла, легированные присадками. Последние по характеру действия можно разделить на: антифрикционные, противоизносные и противозадирные. Масла с присадками обычно гораздо эффективнее чистых минеральных масел. К углеводородным СОЖ относятся также органические растворители, например, четыреххлористый углерод, керосин.

Для подавления коррозионной агрессивности СОЖ используются ингибиторы и пассиваторы коррозии. Ингибиторы – вещества, замедляющие электрохимические процессы между внешней средой и металлом. Действие пассиваторов металла заключается в образовании на его поверхности защитной пленки, предохраняющей металл от дальнейшего развития коррозионных процессов. В качестве антикоррозионных присадок к водным растворам рекомендуется использовать соли щелочных металлов, буру, первичный и третичный фосфат, нитрит натрия, этаноламины, их соли с жирными кислотами. Для придания антикоррозионных свойств эмульсиям ингибиторам коррозии можно вводить как в водную, так и в масляную фазы. В водную составляющую эмульсий вводят: нитриты натрия, калия и лития, соду, триэтаноламин, олеиновую кислоту, а в масляную: соединения бората глицерина с щелочами KOH , NaOH , LiOH , Ca(OH)_2 , амином или спиртоамином. Наибольшее применение в производственных условиях находят: ингибитор коррозии – триэтаноламин и пассиватор – нитрит натрия.

СОЖ легко загнивает (особенно эмульсия). Радикальным средством повышения бактерицидности СОЖ является использование всевозможных бактерицидных присадок: финил-фенолата натрия и других продуктов фенольного

типа, нитробутанола, четвертных аммониевых солей, метилового ацетата ртути, мертиолята, растворяемого в СОЖ 1:105, 1:106. Чаще используют порошок гексахлорфена (130 г гексахлорфена и 50 г каустической соды в 1 литре воды) – идет 1,2 г на 1 л эмульсии. К пенообразованию особенно склонны эмульсии и легкие минеральные масла. Антивсмениваемость водных композиций обеспечивают добавкой 5 % смеси кальциевых солей слабых кислот и триэтаноламинфосфата. Для эмульсий рекомендуется препарат, представляющий смесь минерального масла, полиэтилена и микрокристаллического парафина – 3 – 5 %. Для масляных СОЖ – присадка: 6 – 12 % соли кароксильной кислоты, 2 – 4 % соли сульфокислоты, 0,05 – 1 % окисленного микровоска, 70 – 90 % минерального масла. Для скоростного и обычного шлифования применяют СОЖ: МР-4 (углеводородная); МР-1 (масляная); Укринол-12 (эмульсия); Укринол-2. Для хонингования и суперфиниширования применяют СОЖ: 7 – 10 % эмульсия НСК-5; ВН-4; ОСМ-1.

Взамен импортного Хонило-1 следует использовать ОСМ-1 на станки "Тиленхауз" для доводки сфер штоков. СОЖ Укринол-1-12 и Аквол-2 в различных процентных соотношениях равнозначны составу "Чимперил 20", разработанному фирмой Цинциннати (США) по максимальной величине бесприжоговой подачи, удельной производительности шлифования, шероховатости и удельной мощности. Необходим эффективный способ подвода СОЖ, т.е. истечение скорости жидкости из сопла или использование энергии воздушных потоков, окружающих шлифовальный круг. Рекомендуемая СОЖ для хонингования: Тринатрий фосфат 250 г; Тиамогевина 100 г; Триэтаноламин 380 г; Глицерин 200 г; Нитрид натрия 300 г на 100 л.

Получила применение СОЖ, содержащая: 54 % ПЭО (полиэтилен гликоль), 2 % моноэтаноламина, 0,2 % нитрит натрия, 0,05 % ТМС-31.

Повышение эффективности действия СОЖ при обработке материалов резанием предполагает изменение условий контактирования СОЖ с режущим инструментом и обрабатываемой деталью путем: динамической активации повышения скорости движения СОЖ относительно объекта процесса резания; рациональной траектории движения СОЖ; оптимизации количества (раствора) СОЖ. Также важны изменения физико-химических свойств СОЖ за счет традиционного средства – легирования СОЖ присадками, содержащими химически и поверхностно-активное вещество.

Обычно стремятся повысить физическую и химическую активность СОЖ по отношению к обрабатываемой детали и режущему инструменту, чтобы создать на их контактирующих поверхностях более прочные и термостойкие химические и физические пленки. Для всех видов обработки металлов резанием можно создать типаж унифицированных СОЖ, включающих всего 12 составов. В это число входят: одна эмульсия и одна синтетическая жидкость, предназначенные специально для шлифования различных материалов, и легкое масло с присадками для хонингования. Две масляные жидкости с различным количеством присадок для лезвийной и абразивной обработки труднообрабатываемых материалов. Одна – для обработки титановых сплавов.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПАКТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ DNM 4000

Компания DOOSAN (Южная Корея) дополнила линейку своих вертикальных обрабатывающих центров весьма компактной, но в то же время мощной моделью DNM 4000, которая была спроектирована с учетом ограниченного пространства рабочих зон, при которых станки находятся буквально в нескольких сантиметрах друг от друга. При этом требования к техническим характеристикам и производительности оборудования остаются по-прежнему высокими. Новый обрабатывающий центр отличается действительно компактными габаритами: всего 1,65 м в ширину, 2,85 м в глубину и 2,75 м в высоту. Вместе с тем, реализовано достаточное перемещение осей. Экологически чистая система подачи СОЖ имеет выход в задней части станка, что значительно экономит пространство.

Станок оснащен множеством стандартных полезных функций. Его достаточно просто установить на ролики и, при необходимости, перемещать с места на место. Такая комбинация размеров и маневренности идеально подходит для отраслей промышленности, выпускающих большие партии мелких деталей, например, аэрокосмическая и автомобильная промышленность, производство огнестрельного оружия или медицинского оборудования и другие отрасли.

Небольшой, но высокопроизводительный

Компактная модель ВОЦ DNM 4000 была специально разработана с минимальными габаритами и максимальной жесткостью конструкции. Стандартный конус шпинделя под оправку #40 позволяет обрабатывать твердые материалы. Аналогичные по габаритам станки конкурентов с 30-м конусом шпинделя и сверлильные станки с аналогичной площадью не смогут обеспечить такую же производительность обработки. Стандартный конус шпинделя под оправку #40 позволяет обрабатывать твердые материалы. А как насчет скорости? Следует отметить, что данный станок обладает той надежностью и точностью, которую можно ожидать от серии вертикальных обрабатывающих центров DNM. И при этом можно получить превосходящую все ожидания производительность благодаря быстрому ускоренному перемещению и улучшенному ускорению по осям. А учитывая характеристику шпинделя с 12000 об./мин, получается резкое сокращение как цикла обработки в целом, так и времени простоя оборудования.

И давайте не забывать о выносливости! Повышенную жесткость модели обеспечивает специально спроектированная конструкция с крупными шариковыми винтовыми парами и линейными направляющими качения (роликового типа).

Многофункциональность

Модель DNM 4000 является серьезным соперником конкурентам даже в базовой комплектации. Станок оснащен множеством стандартных функций, которые будут полезны в вашей работе. К ним относятся:

- сверхнадежный магазин инструментов на 20 позиций, при этом смена инструмента займёт всего лишь 1,3 секунды;
- система смазывания консистентной смазкой, исключающая необходимость в маслеотделителе и снижающая затраты на СОЖ примерно на 60 %;
- панель управления FANUC и программное обеспечение собственной разработки DOOSAN – Easy Operation Package (EOP) с множеством функций для удобства работы;
- 2-дверный дизайн с наибольшей шириной дверного проёма в своем классе для легкого доступа к рабочей зоне.



Подводя итоги

Независимая третья сторона в условиях своего производства сопоставила модель DNM 4000 с другой популярной моделью ВОЦ, оснащенной 30-м конусом, и была буквально шокирована результатами. Уровень шума DNM 4000 меньше в среднем на 6,5 децибел, качество обработки поверхности лучше в среднем на 9,6RA, а ресурс инструмента оказался выше в среднем на 42 %.

Учитывая такие возможности, данный производитель всего с одной моделью ВОЦ DNM 4000 сократил время обработки на 30 %!

Наш модельный ряд, как обычно, включает металлорежущее оборудование для любых задач производства. А функциональность токарных центров DOOSAN не предусматривает разве только приготовления кофе и игры в футбол. Но если вам необходим по-настоящему производительный вертикальный обрабатывающий центр в компактном корпусе – просто установите DOOSAN DNM 4000 и места он потребует совсем немного.

СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ ИНСТРУМЕНТОМ ФИРМЫ TAEGUTEC

Операция сверления – один из важных, сложных, но в то же время, интересных процессов в металлообработке, который требует постоянного совершенствования решений для достижения лучших результатов. Одним из отличных инструментальных решений TaeguTec для сверления является серия сверл DRILLRUSH. Этот тип сверл с механическим креплением режущих коронок предназначен для высокопроизводительного сверления отверстий во всех видах материалов, начиная от цветных металлов и заканчивая труднообрабатываемыми жаропрочными сплавами, закаленными и углеродистыми сталями.



Рисунок 1. – Корпус DRILLRUSH

Сверло состоит из корпуса сверла и быстросменной твердосплавной коронки. Существенным препятствием в достижении хорошей производительности при сверлении является сильный разогрев сверла и обрабатываемого материала вызванного трением. В зоне резания температура может достигать нескольких сотен градусов по Цельсию. В определенный момент твердый сплав теряет первоначальную твердость и начинается пластическая деформация режущей кромки, что является недопустимым видом износа.

Для решения этой задачи корпус сверла TaeguTec (рис. 1) имеет целый ряд усовершенствований. Во-первых, спиральные каналы для подачи СОЖ разнесены от оси инструмента, благодаря чему размер каналов для отвода стружки увеличен. В совокупности это приводит к улучшению эвакуации стружки из зоны резания и достаточному охлаждению режущей кромки (коронки) и тела детали. В результате имеем отличную стойкость инструмента, повышенную производительность и снижение вибрации в процессе сверления.

Следующее ноу-хау для корпуса – специальное износостойкое PVD-покрытие сверла золотистого цвета, которое увеличивает срок службы корпуса до 50 %. Для улучшенного вывода стружки из отверстия по спиральным каналам, их поверхность после нанесения покрытия полируют.



Рисунок 2. – Головка DrillRush

Дополнительное преимущество: на один и тот же корпус сверла можно устанавливать несколько головок с различными режущими диаметрами, что позволяет экономить за счет уменьшения номенклатуры используемых корпусов в процессе снабжения.

Быстросменные твердосплавные коронки DRILLRUSH (рис. 2) изготовлены из сплава ТТ9080, который обладает существенно более высокой износостойкостью в сравнении со сплавом ТТ9030, который был ранее главным выбором для операций сверления от компании TaeguTec.

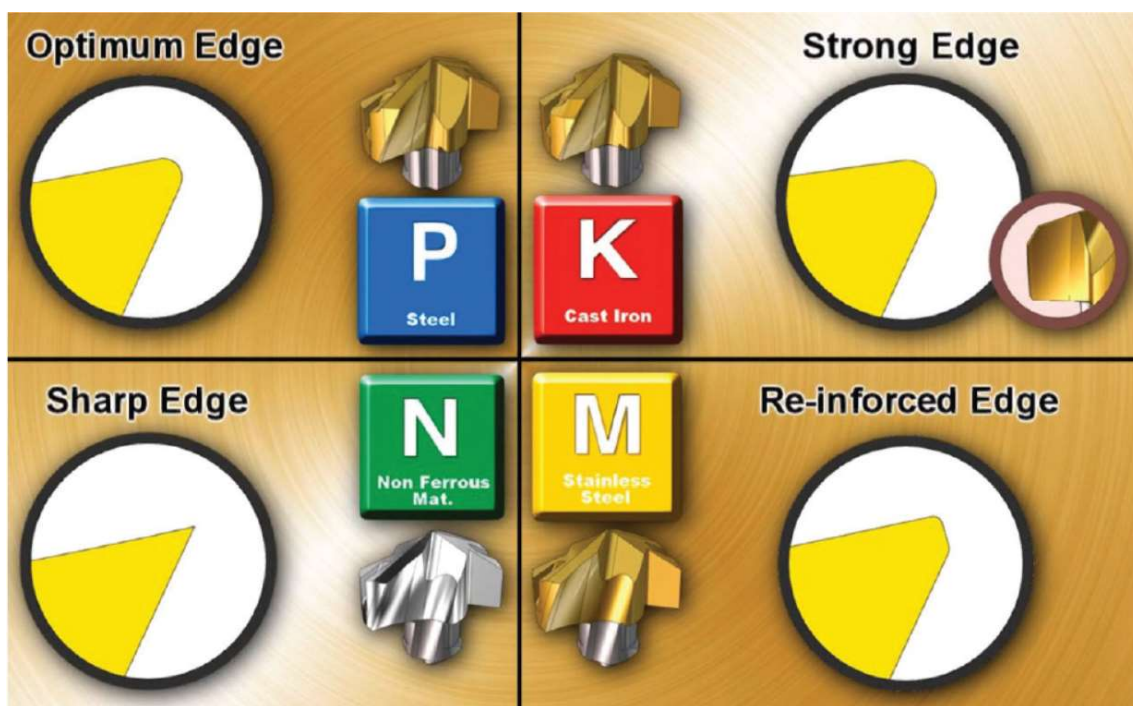


Рисунок 3. – Геометрии коронок



Рисунок 4. – Геометрия F

Для режущей коронки предлагается широкий ряд геометрий в соответствии с применением (рис. 3): P – обработка сталей; M – нержавеющие стали; K – чугуны; N – алюминий (коронка без покрытия, шлифованная).

Для сверления деталей, которые предназначены для буровой промышленности, разработана новая геометрия F (рис. 4) – для возможности выполнения отверстий с плоским дном (рис. 5), а также обработки различных цековок.



Рисунок 5. – Отверстие с плоским дном

Область применения сверл данной серии весьма широка: диапазон сверления отверстий серии DRILLRUSH диаметром 6 ... 25,9 мм с шагом 0,1 мм, номенклатура вылетов режущей части сверла кроме 3xD, 5xD и 8xD также содержит жесткое исполнение сверл для высокоскоростного сверления неглубоких отверстий 1,5xD. Дополнительная рекомендация по применению сверл 1,5xD – выполнение пилотных заходных отверстий для уверенного дальнейшего использования сверл существенно большего вылета, таких как 8xD и 12xD (диапазон режущих диаметров от 12 мм до 22,9 мм).

Сокращение переходов в серийном производственном процессе возможно методом использования специального комбинированного инструмента. Компания TaeguTec предлагает для этих целей стандартную линейку комбинированных сверл DRILLRUSH (рис. 6). Нет ничего более производительного для сверления ступенчатых отверстий, предназначенных для отверстий, выполненных по ГОСТ с метрической резьбой M10-M24. Установленные под 45 градусов две боковые пластины за один проход формируют заходную фаску под резьбу. При необходимости возможно применять боковые пластины на операциях расточки.



Рисунок 6. – Комбинированные сверла DRILLRUSH

Для меньших резьбовых отверстий разработано монолитное твердосплавное решение (рис. 7) с диапазоном сверления под резьбу M4-M10.

С целью унификации режущего инструмента, инженерами TaeguTec было разработано специальное насадное кольцо (рис. 8), которое устанавливается на корпус сверла. Кольцо оснащено двумя пластинами, каждая из которых имеет две режущие кромки. Насадку можно устанавливать (настраивать) в любом месте режущей части сверла.

Такое интересное решение приводит к универсальности и более высокой производительности при обработке от-

верстий с разной глубиной резания, по сравнению с любыми другими существующими инструментальными решениями.



Рисунок 7. – Монолитные комбисверла

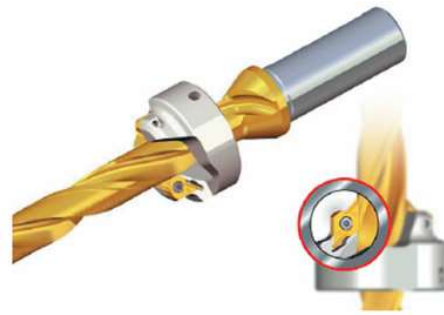


Рисунок 8. – Насадное кольцо

Вышеперечисленные преимущества в 2015–2017 гг. позволили покорить украинские металлообрабатывающие предприятия и внедрить большое количество сверл на отечественных производственных площадках. В одном из случаев внедрения сверл серии DRILLRUSH при обработке серого чугуна была достигнута их высокая стойкость, при этом полный ресурс работы инструмента не был исчерпан (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры технологического процесса обработки серого чугуна сверлами серии DRILLRUSH

Инструмент	DRILLRUSH
Деталь	Корпус
Материал	Серый чугун СЧ20
Корпус сверла	TCD 100-104-16ТЗ-3D
Коронка	TCD 103-К-ТТ9080
Скорость резания / обороты	90 м/мин / 2800 об./мин
Глубина резания	30 мм
Количество отверстий на детали	7
Подача	500 мм/мин
Стойкость	315 деталей = 66 метров
Износ инструмента	

Более детальную информацию о новинке и других инструментальных решениях можно получить, обратившись в офис компании «ТАЕГУТЕК УКРАИНА» или к ленте новостей официального сайта taegutec.com.ua. Кроме того, к услугам машиностроителей Украины высококвалифицированный штат технологов и логистов, оперативный склад инструмента в г. Днепр, а также поставки из Ю. Кореи – дважды в неделю.

НОВЫЕ МОНОЛИТНЫЕ ФРЕЗЫ STARMILL ДЛЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Компания TaeguTec выпустила новый тип монолитных фрез серии STARMILL с кромкой «Splitter» для черновой обработки труднообрабатываемых материалов – жаропрочных сплавов, которые способны работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение относительно длительного промежутка времени, а также нержавеющей сталей, обладающих высоким сопротивлением к коррозии в агрессивных средах (пары воды, кислоты).

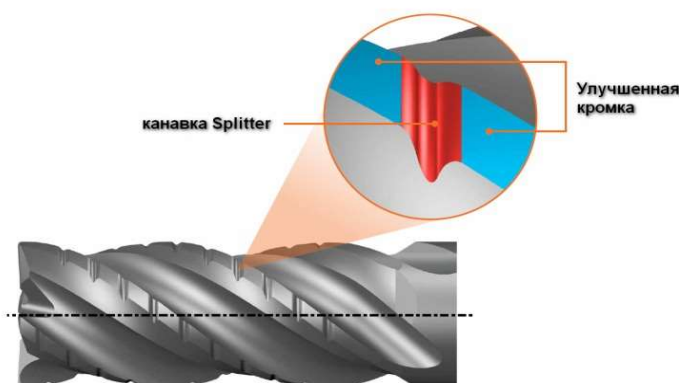


Рисунок 1. – Геометрия Splitter

Для обеспечения необходимых характеристик данные материалы должны обладать особыми свойствами: высокими показателями прочности, жаропрочности и теплостойкости. Но есть и цена, которую приходится платить за такие полезные характеристики, поскольку обрабатываемость этих материалов чрезвычайно низкопроизводительная.

Инструментальные компании всего мира считают эту задачу одной из самых приоритетных на протяжении многих десятилетий. В R&D центре компании TaeguTec (Ю. Корея) был разработан дизайн кромки «Splitter» (рис. 1), который при обработке жаропрочных сталей способен разделять стружку на несколько мелких частей и легко выводить ее из зоны резания. При этом значительно снижается нагрузка на инструмент и уменьшается выделение тепла в зоне резания даже в условиях подачи воздуха или СОЖ под низким давлением.

Дополнительным преимуществом фрез данной серии является неравномерно расположенные зубья (рис. 2) относительно оси инструмента.

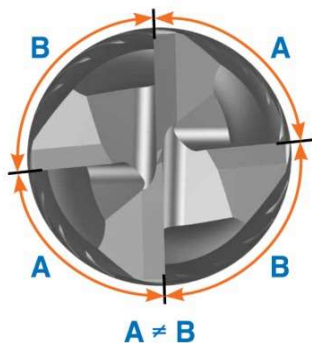


Рисунок 2. – Неровно расположенные зубья

Неравномерность расположения зубьев способствует дополнительному снижению вибраций и шума во время обработки, а значит, приводит к более стабильному процессу резания в сравнении со стандартными инструментами при обработке нержавеющей сталей. За счет нестандартного расположения канавок (рис. 3), фрезы TaeguTec обеспечивают отличное качество поверхности в широком диапазоне операций: от черновых до получистовых. А в некоторых случаях –

позволяют уйти от дополнительных чистовых операций, сократив, таким образом, время обработки деталей. Модернизированные стружечные канавки увеличенного размера (рис. 4) позволяют концевым фрезам выполнять высококачественную обработку: как уступов, так и фрезерование пазов.

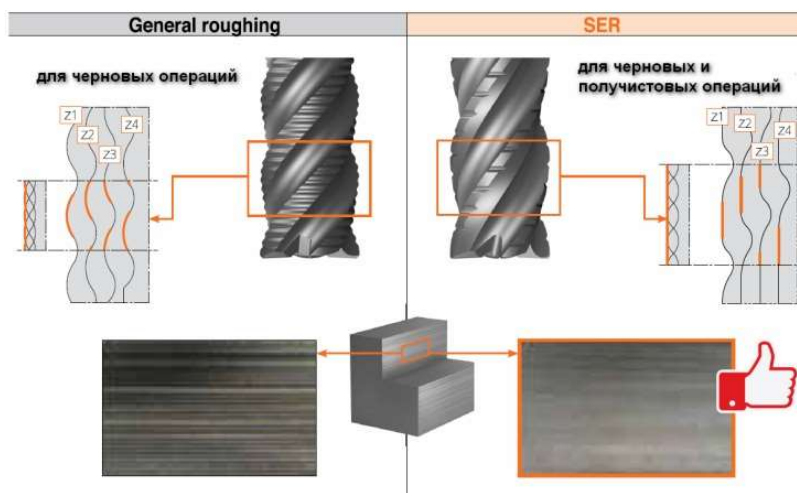


Рисунок 3. – Расположение канавок на фрезях

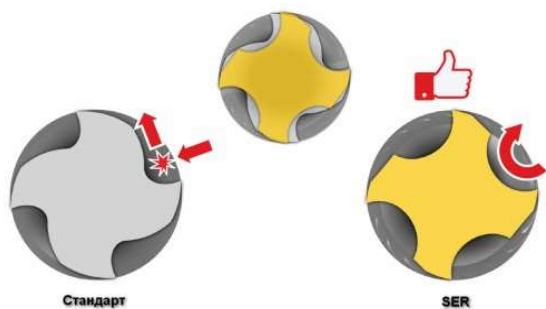


Рисунок 4. – Стружечные канавки

Интересующую информацию об инструментальных решениях TaeguTec можно получить в офисе компании «ТАЕГУТЕК УКРАИНА» и на сайте украинского представительства – www.taegutec.com.ua. Всегда к Вашим услугам высококвалифицированный штат технологов и логистов.

Жовтобрюх В. А.
ООО «Технический Центр «ВариУс», г. Днепр, Украина

CHASEMILL POWER – АЛЬТЕРНАТИВА ДОРОГОСТОЯЩЕМУ МОНОЛИТНОМУ ИНСТРУМЕНТУ

При изготовлении деталей малых габаритов методом фрезерования рекомендуется применять твердосплавные монолитные фрезы небольшого диаметра с целью получения продукции высокого качества. Однако с каждым годом стоимость сырья для производства цельномонолитных фрез неуклонно растет. А для нашей страны, закупающей вольфрамосодержащий инструмент за рубежом, приходится учитывать и негативное влияние девальвации национальной валюты на формирование его стоимости. Все чаще машиностроители интересуются альтернативными монолитному режущему инструменту решениями.



Рисунок 1. –
Пластина типа АРКТ

У компании TaeguTec такая альтернатива есть: концевые фрезы с механическим креплением миниатюрных пластин типа «семечка» (рис. 1). При использовании такого решения в инструменте диаметром ($\varnothing 10$ или $\varnothing 12$ мм) на корпус устанавливаются две или даже три пластины (2–3 эффективных зуба), что дает возможность успешно конкурировать с монолитным дорогостоящим инструментом в произво-

дительности и не уступать в качестве получаемых поверхностей. Ключевым преимуществом данной концепции является невысокая стоимость пластины в сравнении с монолитной твердосплавной фрезой, что и обеспечивает значительную экономию на инструменте. Следует обсудить слабую сторону механического крепления пластин к корпусу фрезы. При небольших размерах пластины крепежный винт имеет достаточно малый габарит, в связи с чем в процессе нагруженного фрезерования высок риск его обрыва и дальнейшей поломки пластины, а часто даже выхода из строя дорогостоящего корпуса фрезы. Говорить об экономичности такого решения в этом случае не приходится.

Детально изучив существующую проблему, в качестве решения задачи, инженеры компании TaeguTec выпустили серию фрез с механическим креплением CHASEMILL POWER. Новинка предназначена для высокопроизводительной и экономной обработки даже при нежесткой системе СПИД взамен дорогостоящим монолитным фрезам. Одной из отличительных особенностей новой линейки фрез от ранее применявшихся аналогичных решений является специальная конструкция посадочного места для пластины (рис. 2) в виде «ласточки хвоста», которое принимает на себя львиную долю сил резания и предохраняет винт пластины от воздействия деформирующих нагрузок. Для дополнительной защиты от поломки пластин был увеличен габарит самого крепежного винта до размера резьбы М 2 (в стандартных решениях других производителей – обычно М 1.6 и М 1.8).

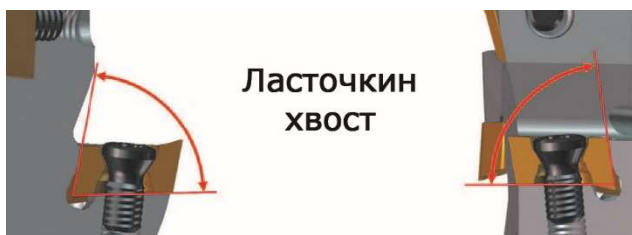


Рисунок 2. – Посадочное место



Рисунок 3. – Пластина 2РКТ

Важнейшим достижением инженеров TaeguTec является уникальная двухсторонняя пластина 2РКТ05 (рис. 3), имеющая две режущие кромки. Двухстороннее исполнение и высокопозитивная геометрия защищают вторую режущую кромку от возможных повреждений или от выкрашивания из-за контакта со стружкой. Кроме того, новая пластина способна обеспечивать максимальную глубину резания до 4,2 мм, выполняя обработку уступов под идеально прямым углом, в том числе при многократных проходах. Для покрытия широкого диапазона операций и задач, пластина 2РКТ05 доступна в двух геометри-

ях: «М» – для общего применения и «ML» – для ненагруженной и нестабильной обработки, а также при больших вылетах инструмента. Дополнительным преимуществом пластин 2РКТ05 является наличие сглаживающей геометрии *Wiper* на каждой режущей кромке, благодаря чему достигается улучшенная чистота поверхности обработанной детали. Номенклатура новой серии инструмента представлена концевыми фрезами в диапазоне диаметров Ø12–32 мм, модульными фрезами Ø12–25 мм и торцевыми фрезами Ø32–40 мм.

Новый инструмент CHASEMILL POWER является универсальным решением, эффективно применяющимся для операций общего торцевого фрезерования, обработки уступов под идеально прямым углом, обработки пазов, врезания под углом и по спирали. В отличие от классических фрез с механическим креплением пластин, у новинки есть дополнительная возможность врезаться торцом в металл по циклу сверления (рис. 4).

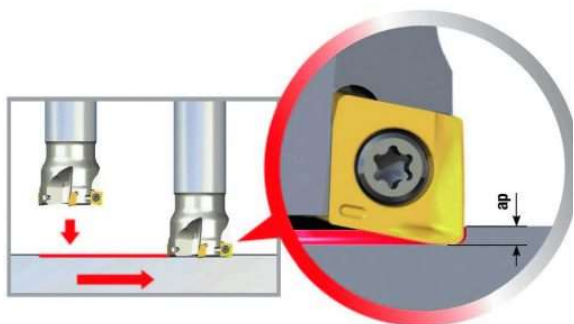


Рисунок 4. – Обработка торцем

Весьма полезная функция, которая дает возможность обработки закрытых пазов на универсальном оборудовании или позволяет уйти от сложного расчета УП для «узких» карманов, где нет возможности войти в металл под углом. Максимальная глубина сверления за один проход составляет 0,7 мм. На украинских машиностроительных предприятиях за последний год был проведен ряд успешных испытаний новинки. Один из примеров успешного внедрения серии CHASEMILL POWER – обработка закрытого шпоночного паза (табл. 1).

Таблица 1. – Параметры обработки закрытого шпоночного паза

Параметр	CHASEMILL POWER	Твердосплавная фреза
Деталь	Вал	
Материал и твердость	Легированная сталь 42CrMo4V HB 235...295	
Фреза	D20Z42P TE90-420-W20-05	D20Z4 монокристаллическая
Пластина	2РКТ 050304R-М ТТ9080	—
Скорость резания/обороты	100 м/мин, 1600 об/мин	100 м/мин, 1600 об/мин
Глубина резания	3 мм	13 мм
Ширина фрезерования	10-20 мм	10-20 мм
Подача	400 мм/мин	50-100 мм/мин
Время обработки	9 мин	15 мин
Производительность	160%	100%
Обрабатываемая деталь «Вал»		

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины совместно с ООО «ТУРБОМАГИЯ», г. Киев проведены опытно-промышленные испытания технологии и оборудования для сварки трением (СТ) валов роторов турбокомпрессоров (ТКР). Сваривали колеса из жаропрочных никелевых сплавов с хвостовиками из конструкционной стали 40Х. Химический состав литейных сплавов GMR-235 и ЖСЗ-ДК и порошкового сплава Inco-713C-Р1М представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав никелевых сплавов, используемых для колес валов роторов ТКР

Марка сплава	Содержание элементов, %											
	C	Cr	Ti	Al	Mo	Nb	W	Si	Mn	Fe	Co	Ni
GMR-235	0,15	15,3	2,2	3,7	4,9	-	<1	0,4	0,3	10,5	1,5	осн.
ЖСЗ-ДК	0,1	12,3	2,7	4,7	4,1	1,3	4,3	<0,4	<0,4	0,4	8,5	осн.
Inco-713C	0,15	13,4	0,9	6,2	5,0	2,1	-	<0,3	<0,3	0,55	-	осн.

При использовании традиционной технологии СТ в ряде случаев имело место несоответствие показателей прочности сварных валов ТКР нормативным требованиям. Отбраковка изделий была обусловлена формированием в процессе СТ со стороны жаропрочного сплава переходного слоя переменного состава и кольцевых участков расплава, с повышенным содержанием карбидообразующих элементов (Ti, W, Nb, Cr). При механических испытаниях сварные соединения разрушались по зоне контакта, на поверхности изломов обнаруживались пленочные дефекты, т.н. "блестящие кольца". Относительная площадь дефектов увеличивалась при СТ валов роторов ТКР с наличием структурной неоднородности в основном металле колес.

Опытные сварки проводили на установках СТ-120 и СТ109А (рис. 1). Технические характеристики сварочных установок представлены в табл. 2.

Параметры режима СТ устанавливали в пределах: окружная скорость $V = 1...1,5$ м/с, давление при нагреве $P_n = 150...200$ МПа, давление проковки $P_{np} = 250...350$ МПа, время нагрева $t_n = 5...10$ с, время проковки $t_{np} = 7$ с, время торможения вращения $t_m = 0,2...2,0$ с. Оптимальное сочетание технологических параметров устанавливали для конкретных типоразмеров и сочетания материалов свариваемых заготовок таким образом, чтобы обеспечить заданную скорость деформации на стадиях нагрева, торможения вращения и проковки (технология СТ с управляемой деформацией). На ООО «ТУРБОМАГИЯ» изготовлена опытная партия валов роторов ТКР различных типоразмеров (ТКР-6.5,

ТКР-7, ТКР-8.5), выполненных с использованием разработанной в ИЭС им. Е.О. Патона технологии СТ. При испытаниях валов на разрыв разрушение происходило по основному металлу колеса с показателями прочности выше нормативных требований.

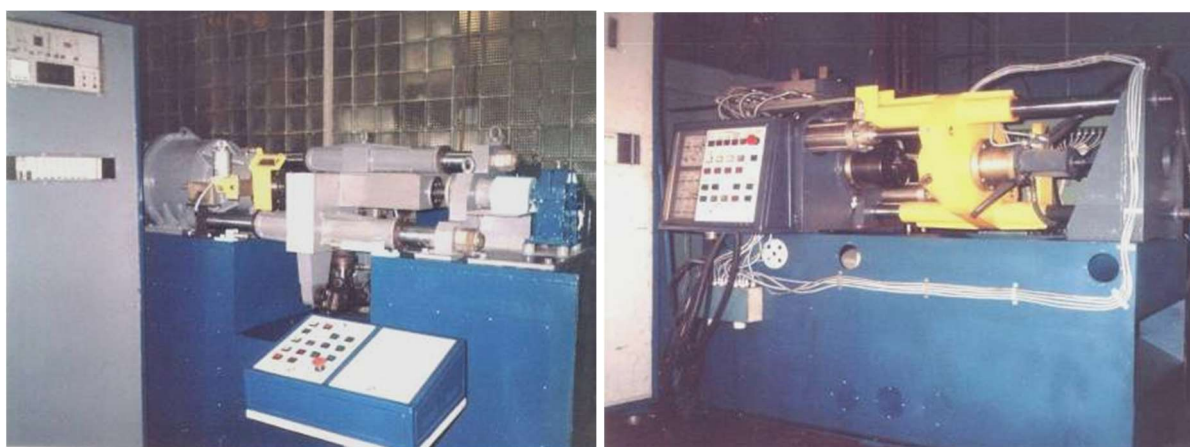


Рисунок – Установка СТ-120 и СТ109А

Таблица 2 – Технические характеристики сварочных установок

Машина	Осевое усилие наибольшее, кН	Мощность привода вращения, кВт·А	Частота вращения шпинделя, об/мин	Диаметр свариваемых заготовок, мм	Производительность, шт./час
СТ-109А	80	25	1000...3000	16...27	до 60
СТ-110	20	8	5000	9	до 250
СТ-111	500	55	240...980	25...80	до 100
СТ-120	120	30	1000...3900	10...30	до 120

Проверка показала, что разработанная технология СТ обеспечивает требуемое качество соединений. При металлографических исследованиях соединений каких-либо дефектов (оксидных пленок, непроваров, пор, трещин, пленочных дефектов типа "блестящие кольца") не обнаружено. Стендовые испытания сварных валов роторов ТКР показали их высокую работоспособность и соответствие нормативным требованиям.

Кроме того, при отработке технологии СТ исследовали формирование соединений с использованием промежуточных элементов в виде наноструктурных фольг (НФ) системы Ni-Cr, Ni-Al, Ti-Al, Ni-NbC, Ti-Co толщиной 50...200 мкм и компактных вставок из сплава на основе никеля, упрочненного нанодисперсными частицами карбидов (Ti, Nb)C и интерметаллидов Ni₃(Al, Ti, Nb). Наноструктурные фольги размещали между свариваемыми заготовками перед началом процесса СТ. Компактные вставки жестко закрепляли в центральной части сечения заготовки из стали 40Х. Установлено, что наиболее высокие показатели прочности сварных изделий достигаются при использовании компактных вставок из никелевого сплава, упрочненного нанодисперсными частицами интерметаллидов и карбидов.

Калюжный О. Б., Еремин В. С.

Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина

Платков В. Я.

Луганский национальный аграрный университет, г. Харьков, Украина

ПОЛИМЕРНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНОГО МЕТАНА

Шахтный метан широко используется как дополнительный источник энергии во многих сферах производства. Утилизация шахтного метана осуществляется когенерационными модулями австрийской фирмы JENbacher. Однако, стабильная работа когенерационных модулей может быть обеспечена только при качественной очистке шахтного метана поступающего на их вход. Центробежные очистители не дают качественной очистки, а сетчатые фильтры, которыми укомплектовываются модули, не обеспечивают очистку от частиц механических примесей размерами менее 5 мкм, быстро засоряются более крупными частицами, требуют частой смены и регенерации. Поэтому возникла необходимость в установке дополнительных фильтров для предварительной очистки шахтного метана.

Анализ существующих фильтров и устройств показал, что для очистки шахтного метана наиболее эффективными являются фильтры сепараторы для очистки и подготовки природного газа [1, 2], которые комплектуются пористыми фильтрующими элементами на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Технологический режим работы фильтра-сепаратора позволяет на протяжении всего периода эксплуатации обеспечивать на гидрофобной фильтрующей поверхности устойчивую пленку жидкости (воды и газового конденсата), удаляющую механические загрязнения с поверхности фильтропакета [2]. Такой гидродинамический режим обеспечивает незагрязняемость фильтроэлементов и постоянный перепад давления на фильтре-сепараторе.

Так как шахтный метан подается на вход когенерационного модуля с давлением не более 300 Па основным эксплуатационным требованием к фильтру сепаратору является малое гидравлическое сопротивление, которое должно быть не более 50 ...100 Па. Гидравлическое сопротивление, в свою очередь, зависит от режима течения фильтруемого вещества, его параметров (вязкость, плотность) и параметров поровой структуры (пористость, средний диаметр пор, коэффициент извилистости поровых каналов, шероховатость поверхности пор).

С целью выбора фильтрующих элементов для фильтра-сепаратора были проведены исследования пневматических характеристик на 3-х типах высокопористых материалов на основе ПТФЭ с различной тонкостью очистки (5, 20, 40 мкм). На каждом режиме фильтрации определялось давление воздуха до и после фильтрующего материала и секундный расход воздуха. Гидравлические характеристики полимерных фильтрующих элементов на основе политет-

рафторэтилена (ФЭП), имеющих форму полого цилиндра с наружным диаметром 152 мм, внутренним диаметром 130 мм и высотой 205 мм, приведены на рис. 1.

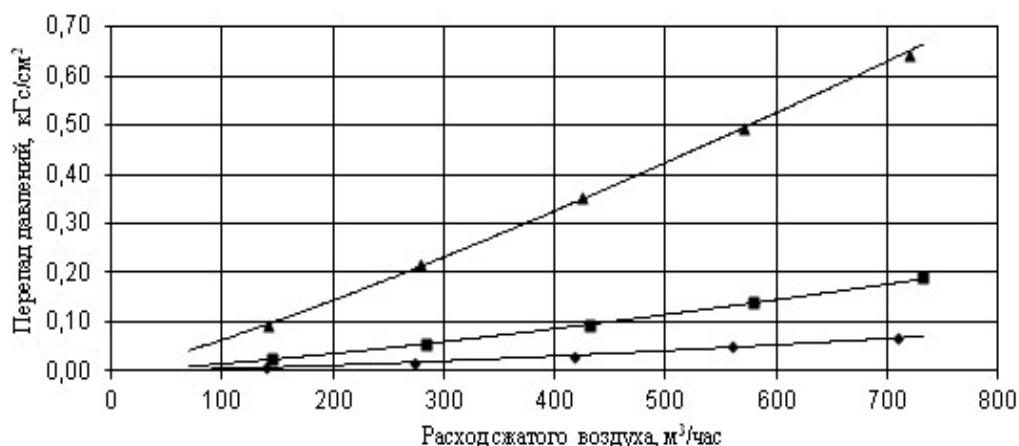


Рисунок 1. – Пневматические характеристики фильтрующих элементов ФЭП 152-130-205 с различной толщиной очистки:

◆ - 40 мкм, ■ - 20 мкм, ▲ - 5 мкм.

На рис. 2 представлены микрофотографии поверхностей поровых структур фильтрующих элементов ФЭП 152-130-205 с различной толщиной очистки.

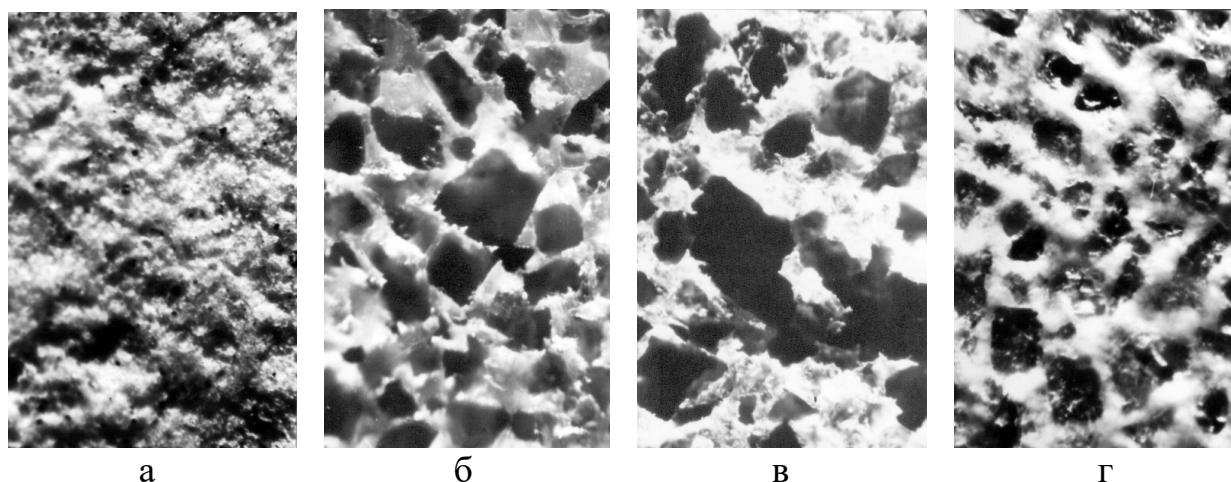


Рисунок 2. – Поровые структуры поверхности фильтрующих элементов ФЭП 152-130-205 с различной толщиной очистки (увеличение $\times 40$):

а – 5 мкм; б – 20 мкм; в – 40 мкм; г – 30 мкм.

Анализ пневматических характеристик показал, что цилиндрические полимерные фильтрующие элементы толщиной фильтрации 5 мкм с гладкой наружной поверхностью (рис. 2а) имеют повышенное гидравлическое сопротивление. Фильтроэлементы с толщиной фильтрации 20 и 40 мкм (рис 2б,в) имеют удовлетворительное гидравлическое сопротивление, однако шероховатость поверхности этих элементов не позволяет формировать на их поверхности устойчивую жидкостную пленку, а следовательно не обеспечивается режим самоочистки фильтрующих элементов.

Поэтому возникла необходимость в разработке высокопроницаемых фильтрующих элементов имеющих гладкую поверхность. С использованием компьютерной модели пористого тела [3, 4] были определены оптимальная форма (сфера) и дисперсный состав порообразователя (70 ... 140 мкм – 20 %; 140 ... 350 мкм – 30 %; 350 ... 500 мкм – 50 %), объемная пористость фильтроматериала (79,5 %), обеспечивающие заданные эксплуатационные свойства.

По доработанному технологическому регламенту были изготовлены экспериментальные образцы полимерных фильтрующих элементов, пневматическая характеристика которых представлена на рис. 3.

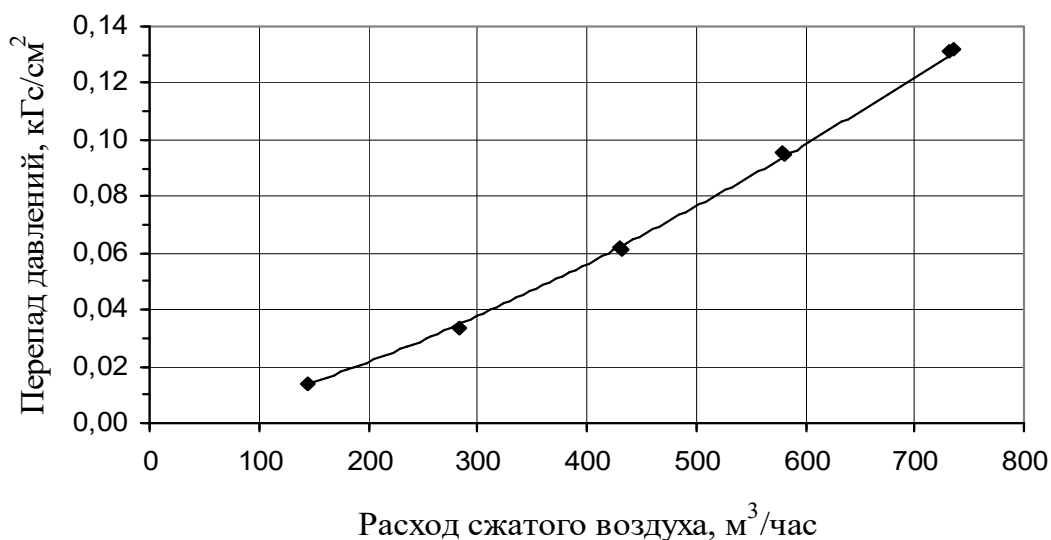


Рисунок 3. – Пневматическая характеристика экспериментального фильтрующего элемента ФЭП 152-130-205 с толщиной фильтрации 30 мкм

Как видно из рис. 1 и рис. 3 разработанные экспериментальные образцы с гладкой поверхностью (рис. 2 г) имеют пневматическое сопротивление близкое к фильтрующим элементам с толщиной фильтрации 40 мкм, при этом обеспечивают тонкость фильтрации 30 мкм. Сепараторы фирмы ИНКЕРИ комплектовались ФЭП 152-130-205, что показало высокую эффективность и надежность при подготовке шахтного метана для стабильной работы когенерационных модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ №2201278.
2. Патент РФ №2106180.
3. Калюжный А. Б. Компьютерное моделирование поровой структуры фильтрующих материалов / А. Б. Калюжный, В. Я. Платков, А. Н. Сычев // Вісник Інженерної академії України 2000. – Харків, 2000. – С. 554–556.
4. Kalyuzhny A.B., Platkov V.Ya. Structure of porous materials and their permeability: determination by computer-aided simulation // Functional Materials. - 2001. - Vol. 8, №1. - P. 90-93.

*Клименко С. А., Копейкина М. Ю., Мельничук Ю. А.,
Клименко С. Ан., Манохин А. С., Чумак А. О.*
Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля
НАН Украины, г. Киев, Украина

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ОСНАЩЕННЫЕ СВЕРХТВЕРДЫМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Совершенствование технологий механической обработки изделий из современных конструкционных материалов связано с повышением производительности и снижением стоимости обработки за счет увеличения режимов резания, что, в свою очередь, обусловлено созданием новых режущих инструментов с применением высокоэффективных композитов инструментального назначения, таких как сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (cBN).

Согласно стандарта ISO 513-2012, такие композиты делятся на три группы – *BH*, *BL*, *BC*.

Композиты группы *BH* – с количеством cBN в диапазоне 70–95 об. %. К группе *BL* относятся керамо-матричные композиты (КМК) с 45–65 об. % cBN . Матрица, дисперсность структуры которой соответствует субмикронному диапазону, мультифазна и имеет сложный химический состав на основе керамических компонент с TiN , $Ti(C, N)$, TiC , TaN , TiB_2 , Si_3N_4 , SiC , МАХ-фазами. Группа *BC* объединяет композиты на основе cBN с защитными покрытиями.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы BH, позволяют эффективно обрабатывать изделия из различных чугунов, легированных сталей высокой твердости, твердых сплавов с содержанием $WC > 15\%$, литых высокомарганцовистых сталей (например, 110Г13Л), деталей с напыленными покрытиями, в том числе самофлюсующимися, с аморфной и аморфно-кристаллической структурами и наплавленными покрытиями сплавами мартенситного класса высокой твердости при удалении поверхностного слоя в условиях динамических нагрузок, а также при чистовой обработке.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы BL, позволяют проводить высокоэффективную чистовую лезвийную обработку изделий из сталей твердостью 62–64 HRC при высокой скорости резания.

Режущие инструменты с композитами систем « $cBN-TiN$ », « $cBN-TiC$ » (содержание cBN 50–55 об. %), позволяют выполнять чистовое точение деталей из закаленных сталей при скоростях резания 180–270 м/мин, что обеспечивает производительность до 9000 мм³/мин.

По сравнению с обработкой инструментами с композитами группы *BH*, скорость изнашивания инструментов в 1,5–5,0 раз ниже, что обуславливает получение обработанных изделий высокого качества при стойкости инструментов 30–45 мин.

При скоростях резания более 250 м/мин наиболее перспективно применение режущих инструментов с композитами системы «сBN-TiC», которые по работоспособности соответствуют мировым аналогам.

Обработка изделий, изготовленных из Fe-C сплавов твердостью 48–55 HRC, проводится инструментами с композитами группы *BL* со скоростями резания 300–360 м/мин при стойкости инструментов 25–35 мин.

Режущие инструменты, оснащенные композитами переходной группы BL-BH, по интенсивности изнашивания при чистовом точении деталей из железоуглеродистых сплавов твердостью 60–64 HRC со скоростями резания 180–270 м/мин превышают на 25–30% интенсивность изнашивания инструментов с композитами группы *BL*, однако позволяют проводить обработку при небольших динамических нагрузках.

В таких условиях обработка инструментами с композитами с содержанием сBN (50–55 об. %) сопровождается быстрым микро- и макроскалыванием режущей кромки.

Точение инструментами, оснащенными композитами с сBN 70–75 об. %, выполняется с подачами 0,2–0,3 мм/об при стойкости инструментов 25–30 мин, что существенно расширяет сферу «инструментального» применения композитов на основе сBN.

Режущие инструменты, оснащенные композитами группы BC, эффективно используются при обработке различных конструкционных материалов.

Результаты исследований показывают перспективность применения покрытий («активное» $Al_2O_3-NbN-Ti$, BN в аморфном состоянии, «самоадаптивное» $AlN-Ti(Cr)B_2$, многокомпонентное $(TiAlSiY)N$, многослойное Mo_2N/CrN) для повышения стойкости инструментов с ПСТМ на основе сBN. При этом:

- повышается надежность работы инструмента на этапе приработки, что связано с перераспределением и снижением напряжений, которые формируются в инструменте при его термобарическом нагружении;
- увеличивается период стойкости инструментов за счет изменения механизма взаимодействия в зоне резания;
- обеспечивается информационная функция, связанная с облегчением контроля величины износа инструмента.

Инструменты, оснащенные рассмотренными выше композитами на основе сBN, производятся в условиях опытно-промышленного производства Института сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины. Наличие действующего отечественного производства инструментов из ПСТМ на основе сBN является базой для совершенствования высокопроизводительных технологических процессов механической обработки, перспективных для инновационного развития промышленности.

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ФАЗ

Для изделий и деталей, применяемых в машиностроении и черной металлургии, широко используют высокоуглеродистые сплавы, которые эксплуатируются при различных условиях, включающих износ, большие удельные давления, ударные и термоциклические нагрузки. Обеспечение их надежной работы и повышение эксплуатационной стойкости определяется степенью деградации металла с развитием неоднородности фаз, их повреждаемостью, что связано с изменением дислокационной структуры, накоплением деформаций и развитием диффузионных процессов. При этом деградация структуры сопровождается изменением плотности дислокационной структуры и неоднородностью не только рядом расположенных зерен, но и в пределах одного зерна.

В настоящее время известны и широко применяются различные методы локального исследования дислокационной структуры. Например, прямой метод наблюдения изменения ее плотности при анализе тонких фольг на просвет в электронной микроскопии, основанный на эффекте контраста, при взаимодействии электронного пучка со смещенными атомами в поле напряжений вокруг дефекта решетки [1].

Однако такой метод требует специальной подготовки образцов, при котором в пленку вносятся дополнительные дефекты, что значительно искажает истинную картину.

Также известна [2] группа методов выявления дислокаций - рентгеновской топографией, основанной на явлении брэгговской дифракции, однако при этом не представляется возможным выявление локальной степени неоднородности отдельных фаз в зависимости от характера изменения дислокационной структуры.

Существуют также различные методы выявления дислокаций, которые можно объединить в большую группу по критерию визуализации – декорированию [3]. При использовании таких методов выявления визуализируют их расположение путем нагрева сплава до температур, при которых в местах их скопления протекают процессы осаждения соответствующих декорирующих компонентов, добавляемых намеренно или уже имеющихся в качестве примесей. Осаждение должно происходить таким образом, чтобы формировались частицы, размер которых меньше предела разрешения выявляемых дефектов, но достаточно крупные, чтобы быть видимыми в результате рассеяния света. Такие методы позволяют проводить оценку по всей рассматриваемой зоне или отдельным зернам фаз.

Недостатком данной группы методов является возможность изменения

дислокационной структуры в результате термической обработки, выделения избыточных фаз, которые, закрепляя дислокации, затрудняют их движение. Вследствие этого, при необходимости изучения процессов деградации структуры и фаз сплава при его пластической деформации или специальной обработке, вызывающей фазовый наклеп при температурах магнитного превращения цементита или специальных карбидов не позволяет оценить изменения дислокационной структуры и возникающую неоднородность.

В последнее время все большее применение находят способы, основанные на количественной оценке плотности дислокаций по массиву цифровых изображений различными статистическими алгоритмами. Например, в работе [4], исследования основывались на выявлении дислокационной структуры при помощи метода ямок травления и последующей компьютерной обработкой таких изображений. Данный способ предполагает восстановление линии контура предполагаемых граней ямок травления дислокаций в плоскости бинаризованного цифрового растрового изображения, путем их выборочного пиксельного исследования с оценкой линий контура по признаку толщины (оценка геометрических параметров). Однако при помощи предложенного способа невозможно проводить оценку неоднородности фаз в местах выявления скопления дислокаций.

Ранее в работе [5], был предложен способ оценки неоднородности структуры по декорирующей дислокационную структуру компоненту, выявленную методом вакуумного травления на поверхности шлифов в различные периоды обработки.

Исследования проводили на примере цементита хромоникелевого чугуна, в условиях воздействия напряжений. Выявление дислокаций осуществляли путем выявления фигур травления в интервале температур 200-250°C, в вакууме 3×10^{-3} мм.рт.ст. в установке типа системы Лозинского. Испытания проводили на образцах $3 \times 4 \times 80$ мм (шлиф полировали на одной из граней).

Образец закреплялся в специальных захватах. Длительность процесса травления определялась необходимым температурным режимом обработки. После создания разряжения в камере осуществляли нагрев средней части образца и с помощью микроскопа наблюдали за кинетикой изменения дислокационной структуры.

Однако такой способ не позволяет оценить степень неоднородности, как анализируемой зоны, так и одного зерна или всех фаз в результате воздействия напряжений и развития диффузионных процессов с количественным и качественным описанием степени их неоднородности. Также существует ограниченность применения такого способа при большой плотности дислокаций – более 10^8 см⁻², поскольку не удастся различать отдельные фигуры травления, оценить их плотность распределения.

Разработанный авторами метод [6] позволил провести качественную и количественную оценку распределения неоднородности структуры в локальной анализируемой зоне. Предложенный метод основан на способе выявления дислокаций, определяющих неоднородность фаз в высокоуглеродистых сплавах.

При анализе поведения дислокаций, характеризующих изменение состава при различных обработках в фазах и структурных составляющих сплавов, для определения степени неоднородности по концентрации декорирующего их компонента, использовали совмещение методов вакуумного травления, оцениваемого по дислокационной структуре, выявленной на поверхности шлифов в различные периоды обработки с получением металлографических изображений.

Далее проводили их описание оптико-математическим методом, что позволяет после выявления такой структуры получить цифровую картину степени неоднородности на основе анализа изменения плотности, дисперсности составляющих и фаз (отдельных ее зон) или всего шлифа через энергетические параметры – функции мощности диссипации энергии и дисперсности функций напряжений, учитывающих изменение свободной энергии системы во время структурообразования в процессе кристаллизации либо термической обработки.

Предложенный метод оценки неоднородности структуры и фаз железоуглеродистых сплавов, включающий в себя комбинированный метод выявления дислокационной структуры при помощи вакуумного травления с последующим оптико-математическим анализом при помощи энергетических параметров, позволяет надежно оценивать влияние технологических параметров при производстве и эксплуатации на степень неоднородности, которую возможно корректировать параметрами кристаллизации и термообработки.

Этот комплексный подход позволяет оценить начало и характер деградиционных процессов при эксплуатации деталей по оценке изменения анизотропии свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томас Г. Просвечивающая электронная микроскопия / Г. Томас, М. Дж. Гориндж. – М.: Наука, 1983. – 316 с.
2. Боуэн Д. К. Высокорастворимая рентгеновская дифрактометрия и топография / Д. К. Боуэн, Б. К. Таннер. – СПб: Наука, 2002. – 147 с.
3. Амелинкс С. Методы прямого наблюдения дислокаций: пер. с англ. / С. Амелинкс. – М.: Мир, 1968. – 440 с.
4. Самойлов А. Н. Методы получения контуров на цифровых растровых изображениях с нечетким отображением дислокаций в пластинах GaAs / А. Н. Самойлов, И. В. Шевченко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: Науковий журнал. – Луцьк. – 2013. – № 12. – С. 63–69.
5. Скобло Т. С. Методика выявления фигур травления в цементите чугуна / Т. С. Скобло, Н. И. Сандлер // Заводская лаборатория. – №2. – 1967. – С. 202–203.
6. Патент № 120043 України. Спосіб виявлення неоднорідності фаз у високовуглецевих сплавах / Т. С. Скобло, О. Ю. Ключко, О. І. Сідашенко, Ю. Л. Белкін; опубл. 25.10.17, Бюл. № 20.

СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПОШУКУ РЕЗЕРВІВ ДІАГНОСТИКИ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Складання експериментальної конструкції мобільного верстата-робота на базі дельта-машини виконано в «Проблемній лабораторії мобільних інтелектуальних технологічних машин», що створена на кафедрі технології машинобудування Донбаської державної машинобудівної академії при участі Інституту проблем штучного інтелекту НАН України і МОН України.

При розробці експериментальної конструкції з механізмом паралельної структури (МПС) були проаналізовані існуючі верстати, промислові роботи, дельта механізми та інші машини з МПС [1–5 та ін.]. Також, був виконаний аналіз їх керуючих механічних елементів [6, 7]. Всі ці машини використовують різні маніпулятори при переміщенні робочого органу (робочого інструменту). Опираючись на це, розроблено конструкцію експериментального зразка з МПС. На габаритні розміри експериментальної дельта-машини і подібних дельта-машин з МПС, впливають декілька основних аспектів конструкції, а саме [8–12]: діаметр столу дельта-машини; висота рами дельта-машини; відстань між боковими опорами рами дельта-машини; довжина ланок маніпуляторів мотор-шпинделю дельта-машини; розмір и закріпленого інструменту у патроні.

У експериментальній конструкції використовуються жорсткі маніпулятори, закріплені на кулькових опорах які встановлюються в направляючу карету, яка в свою чергу переміщується по осі Z. Другий кінець стрижня закріплюється також кульковою опорою на каретці з робочим органом верстата.

Конструкція передбачає обробку деталей розміром до 600 мм в плані і висотою теж до 600 мм. Запропонована конфігурація дозволяє забезпечити доступ до будь-якій сторони деталі, а також дає можливість встановлювати мотор-шпиндель по нормалі до поверхні будь-якої кривизни, що дозволяє використовувати кінцеві або торцеві фрези для високошвидкісної обробки отворів або площин. Деякі елементи конструкції, а саме каретки для переміщення маніпуляторів по осі z, пальці для кулькових шарнірів, елементи кріплення з кареткою мотор-шпинделя експериментальної дельта-машини роздруковані на 3D принтері.

За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення розроблено базу даних з номенклатурою елементів для складання верстатів-роботів з МПС. Це надає можливість після одержання замовлення для виготовлення продукції скласти необхідну конфігурацію верстата-робота або іншої технологічної машини і розпочати монтаж виробничої технологічної ділянки.

Для з'єднання направляючої каретки з платформою мотор-шпинделя, використовуються маніпулятори, які складаються зі стрижнів з'єднаних с кареткою і платформою мотор-шпинделя за допомогою кулькових пальців. Маніпулятори закріплюються на платформі з каретками за допомогою шарнірів.

Після монтажу направляючих кареток і ходового гвинта, здійснено монтаж маніпуляторів. Маніпулятори з'єднані з направляючими каретками і виставляючи каретки на необхідну висоту маніпулятори з'єднують каретки з платформою (рис. 1).

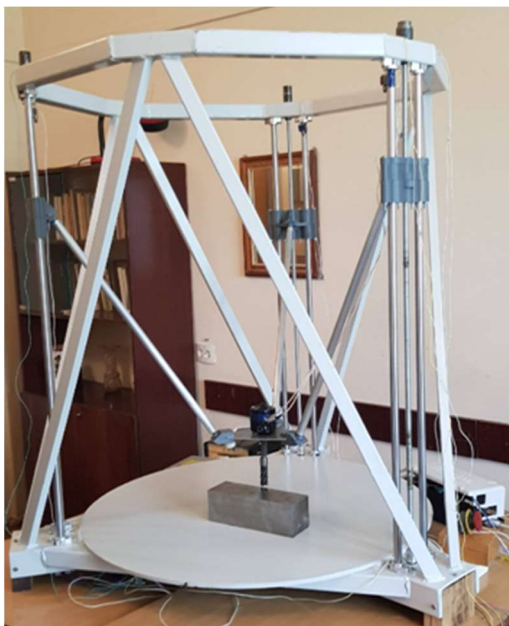


Рисунок 1. – Експериментальний МПС за структурою

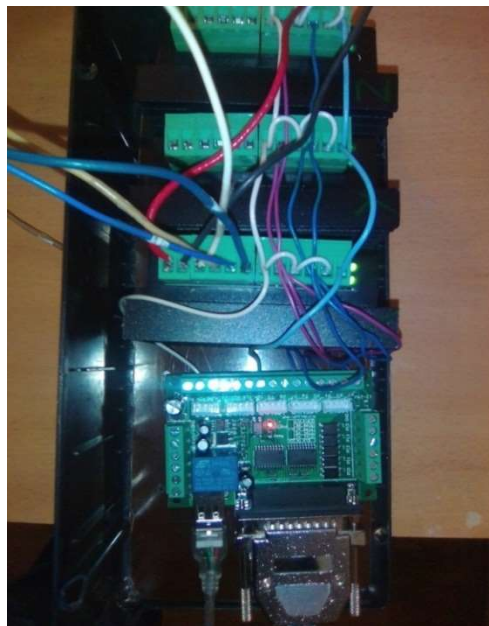


Рисунок 2. – Монтаж драйверів експериментального МПС

Для керування встановленими кроковими двигунами експериментальної дельта-машиною використовується плата ЛПТ. Плата підключається до керуючого пристрою (ПК) за допомогою ЛПТ порту. З її допомогою сигнали від керуючого пристрою передаються на драйвери крокових двигунів. В якості керуючого пристрою спеціально був зібраний ПК і установлений на нього пакет програм Mach3, що спеціально розроблений для керування багатоосьовими верстатами, оброблювальними центрами і т.д. Електронна частина була розміщена у спеціально створеному боксі.

Для захисту виходи за границі кареток, інструмента на раму дельта-машини встановлюються кінцеві датчики. Також вони використовуються для встановлення робочої зони програми. З їх допомогою програма робить налаштування координат робочого простору і встановлює нуль координат.

На рис. 2 показаний монтаж драйверів для керування дельта-машиною. Сама плата ЛПТ живиться через кабель USB від ПК. Самі двигуни живляться від блоку живлення підключеному до драйверів крокових двигунів. Для зручності підключення проводів використовуються порти на 20 пінів. Складений експериментальний зразок МПС дозволив обґрунтувати на практиці розроблені алгоритми управління МПС. Це надало можливість проведення подальших

експериментів до управління складними технологічними машинами, такими, як верстати з механізмами на основі паралельної кінематики для підвищення точності позиціонування виконавчих механізмів, забезпечення їх динамічної настройки і оптимізації траєкторій переміщень робочих органів обладнання (в тому числі - ріжучого інструменту), а також дозволяє розширити діапазон можливостей підвищення точності і продуктивності їх роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю. Н. Концепция гибридных компоновок станков с параллельной кинематикой на модульном принципе / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев // *Technologies and Systems TechSys'2009*: труды междунар. научн. Конф., Пловдив (Болгария), Journal of the Technical University Sofia, branch Plovdiv "Fundamental Sciences and Applications". 2009. – Vol. 14. – С. 19–36.
2. Афонин В. Л. Обработкающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры / В. Л. Афонин, П. В. Подзоров, В. В. Слепцов; под общ. ред. В. Л. Афонина. – М.: Изд-во МГТУ СТАНКИН, 2006. – 452 с.
3. Jovane F. Molinari Tosatti L. Design Issues for Reconfigurable PKMs / Jovane F, Negri S. P. Fassi T. // *3-rd Chemnitz Parallel Kinematics Seminar: Development Methods and Application Experience of Parallel Kinematics*. Chemnitz, 2002. - P. 69-82.
4. Merlet J.-P. *Parallel Robots*. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
5. Niaritsiry F-T. Study of the source of inaccuracy of a 3 dof flexure hinge-based parallel manipulator / F-T. Niaritsiry, N. Fazenda, R. Clavel // *In IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, April, 28-30, 2004. – P. 4091–4096.
6. Смирнов В. А. Кинестатическое моделирование энергоэффективного управления оборудованием с параллельной кинематикой / В. А. Смирнов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2010. – Вып. 16. – № 29. – С. 65–70.
7. Данилин П. О. Групповая кинематическая развязка движений в механизмах параллельной структуры / П. О. Данилин, Л. И. Тывес, В. А. Глазунов // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. – 2010. – № 3. – С. 27–35.
8. Кириченко А. М. Проведення до зони обробки жорсткості та податливості обладнання з механізмами паралельної структури / А. М. Кириченко // *Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”*. Серія „Машинобудування”. – 2010. – №59. – С. 205–210.
9. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич; Под ред. Ю. Н. Кузнецова. – Херсон : ПП Вишемирский В. С., 2010. – 471 с.
10. Кузнецов Ю. Н. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич. – Херсон: ПП Вышемирский В.С., 2010. – 471 с.
11. Разработка механизмов параллельной структуры с кинематической и динамической развязкой / В. А. Глазунов, П. О. Данилин, С. В. Левин и др. // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. – 2010. – № 2. – С. 23–32.
12. Струтинський В. Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В. Б. Струтинський, А. М. Кириченко // *Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”*. Серія „Машинобудування”. – 2009. – № 57. – С. 198–207.

Ковалевський С. В.
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна
Ковалевська О. С.
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна
Кошевой А. О.
PRAMET Tools, в Україні (Прамет UA)

НОВИЙ ПРИНЦИП ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМО-ЕРС

Важливість діагностики процесів різання підтверджують повідомлення про існування сигналів, які супроводжують окремі види діагностики, але ще не використані на практиці. Наряду з цим, проблемою є високі енерговитрати при лезвійній обробці деталей. Потрібно не тільки постійно зменшувати енерговитрати, а й при цьому, отримувати підвищення продуктивності. Ці проблеми прямо або побічно можливо вирішити за допомогою акустичних та електромагнітних методів діагностування. При цьому відомо, що при контактних взаємодіях матеріалів з різними термодинамічними властивостями виникає різниця потенціалів, яку можна фіксувати електричними приладами [1, 2]. Оскільки при контакті різних матеріалів заготовки та різального інструменту в процесі різання відбувається нагрів області контакту, інтенсифікуються термодинамічні явища, які у виникненні термо-ЕРС [3,4,5]. У роботах [3, 6] відзначається, що в процесі різання функція термо-ЕРС не є постійною, а змінюється в часі. Ці зміни відбуваються в широкому діапазоні частот і характеризуються амплітудно-частотними характеристиками їх розподілу для кожного конкретного процесу обробки [7]. Супровід процесу різання спектром коливань термо-ЕРС в діапазоні до 25000 Гц [6], а також електромагнітними випромінюваннями при руйнуванні металевих матеріалів [8] дозволяє висунути припущення про те, що цей діапазон не є граничним, а сигнал термо-ЕРС є що несе, модульовану електричними явищами більш глибоких процесів, викликаних мікро-металургійними процесами, процесами руйнування матеріалів заготовки та інструменту, рухами дислокацій в глибині заготовки і т.п. Підвищення рівнів автоматизації та гнучкості технологічного обладнання та технологічних систем неодмінно має супроводжуватися вдосконаленням методів контролю показників якості продукції. Тому, підвищення достовірності та продуктивності діагностики геометричних і фізико-механічних властивостей деталей машин залишається актуальним завданням. Раніше проведені нами дослідження по ідентифікації спектрів збуджених коливань зразків деталей за розмірами, шорсткості поверхонь і їх твердості показали можливість діагностування показників якості з досягається похибкою менше 10-1-10-2 % поля розсіювання параметрів. Методика експериментальних досліджень полягає в наступному. Встановлено, що результати теоретичних досліджень дозволяють припустити, що об'єкт дослідження представляє собою інформаційний потік, які утворюється в результаті знімання термо-ЕРС з пос-

тійної складової, модульованої високочастотними електромагнітними випромінюваннями, то спосіб реєстрації відрізняється від загальноприйнятого.

Для реєстрації був запропонований спосіб, який застосовується в пристроях прямого перетворення радіо сигналів з програмною обробкою - технологія Software Defined Radio (SDR) [9, 10].

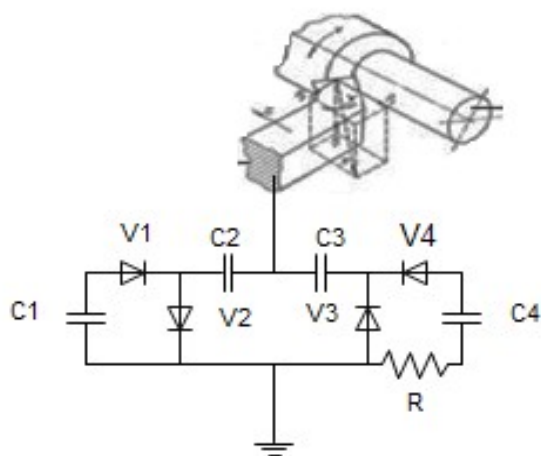


Рисунок 1. – Принципова схема реєстрації широкосмугового спектру амплітудно-частотної характеристики термо-ЕРС

Принципову схему реєстрації сверхширокополосного спектра подано на рис. 1. У схемі використано високочастотні діоди V1-V4, конденсатори ємністю 2000 pF. Реєстрація сигналу проводиться з навантаженням $R = 2000 \Omega$.

При натурному експерименті точіння сталі 30ХНСА діаметром 68,0 мм пластинами фірми Pramet типу DCGT 11T302F-AL D з подачею 0,05 мм/об глибиною 1,0 мм зі швидкістю різання 184 м/хв отримано спектри сигналів на несучій термо-ЕРС від 20 Гц до 2000 МГц (рис. 2).

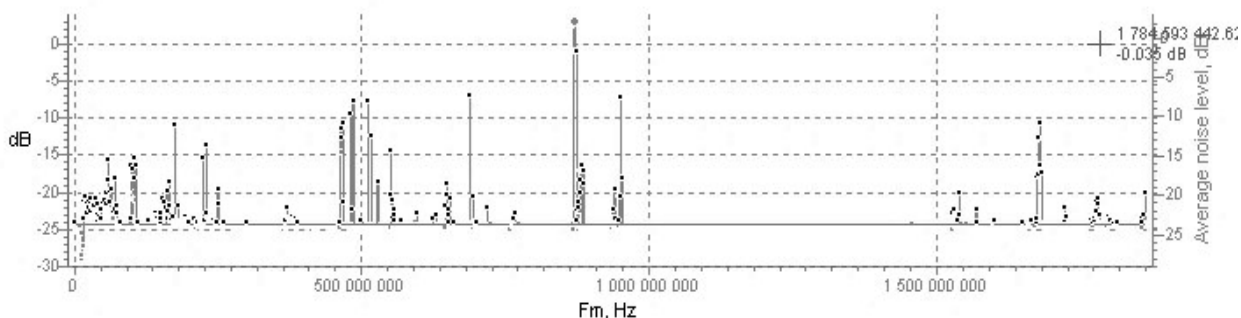


Рисунок 2. – Спектрограма широкосмугового реєстрації термо-ЕРС

Отримані результати і принцип оборотності дозволяють висунути припущення про можливість впливати на властивості ріжучого інструменту, впливаючи на інструмент електромагнітними потоками, що формують ті ж спектри, якими супроводжується процес переходу його адгезійного зносу до дифузійного.

Висновки. Процес металообробки різанням, зокрема токарного оброблення, супроводжується явищами, що залежні від особливостей поширення впливу по всій заготовки від її поверхні до внутрішніх шарів, які, в свою чергу, стають джерелами впливу з властивими вже цим вдруге порушених областям. Такі процеси можна моделювати за допомогою математичного апарату клітинних автоматів. При цьому формуються сигнали, які містять інформацію про його просторових з різними властивостями характеристиках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термоэлектродвижущая сила металлов /пер. с англ.; под ред. Д. К. Белащенко. – М.: Металлургия, 1980. – 248 с.
2. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
3. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 275 с.
4. Постников С. Н. Электрические явления при трении и резании / С. Н. Постников. – Горький: Волго-Вятское изд-во, 1975. – 280 с.
5. Праведников И. С. Теория взаимосвязи явлений процесса резания различных материалов / И. С. Праведников, Л. Н. Касимов // Проблемы и перспективы современных технологий сервиса: Межвуз. сб. науч. тр. – Уфа: Уфимск. технол. ин-т сервиса, 1998. – С. 139–148.
6. Анализ спектральных характеристик и применение математического планирования эксперимента для решения задач оптимизации процесса резания металлов / Постнов В. В., Усманов Б. Ф. // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15. – № 4. – С. 225–229,
7. Кривцов А. М. Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой / А. М. Кривцов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304 с.
8. Поляков В. В. Эффект электромагнитной эмиссии при разрушении металлических материалов / В. В. Поляков, Д. С. Салита, А. А. Лепендин // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – № 1/1. – С. 172–174.
9. Software defined radio: architectures, systems, and functions. Dillinger, Madani, Alonistioti. - Wiley, 2003. - 454 pages.
10. Галкин В. А. Основы программно-конфигурируемого радио / В. А. Галкин. – М.: Горячая линия - Т.

Коломиец В. В., Ридный Р. В., Фабричникова И. А.
Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. Петра Василенко, г. Харьков, Украина
Шабалин Д. В., г. Ольборг, Дания
Vijay Kumar, IIMT GREATER NOIDA, India

ПРИМЕНЕНИЕ ПИКОМЕТРИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

Бурное развитие точного машиностроения в последнее время требует применения новейших технологий по изготовлению и реновации деталей с повышенными характеристиками, особенно в поверхностных слоях, которые зачастую определяют основные эксплуатационные характеристики машин. Технологически стало возможным создавать рабочие поверхности деталей с поверхностными слоями, которые измеряются уже нанометрами (10^{-9} м), а в некоторых случаях и долями нанометров, то есть пикометрами (10^{-12} м).

При реновации ответственных деталей их поверхностные слои наплавливают или напыляют тугоплавкими высокопрочными материалами, которые зна-

чительно повышают их эксплуатационные свойства [1]. Так, нанося покрытия нанопорошками SiO_2 , значительно повышается твердость приповерхностных слоев, размер которых составляет уже меньше чем 10^{-9} м, то есть их размер можно оценить в пико метрах 10^{-12} м [2]. Кроме того, измерение параметров шероховатости обработанной поверхности, таких как шероховатость отдельных ее элементов, требует также их измерения в пико метрах [3]. Применение при реновации деталей различных методов поверхностного упрочнения, таких как напыление, химико-термическая и лазерная обработка поверхностных слоев на мельчайшие глубины, требует измерения поверхностных слоев в долях нано метра, то есть снова в пико метрах. Особенно это относится к методам «залечивания» дефектов изготовления и обработки парами и комбинированными химико-термическими способами упрочнения приповерхностных слоев [4].

Упрочнение особенно острых ножей для превращения буряков в буряко-резках в стружку проводят комбинированными способами целого ряда технологий, в том числе и лазерной обработкой на чрезвычайно малую глубину, чтобы сохранить предел прочности сердцевины на изгиб и избежать охрупчивания тонкой режущей части заточенной под углом $9 - 10^\circ \text{C}$ [5 – 8]. Такая обработка требует точного определения проникновения лазерного луча на глубину меньше нано метра. Установлено, что глубина лазерной обработки поверхностных слоев свеклорезных ножей составляет сотни пико метров. Применение комбинированных методов упрочнения свеклорезных ножей требует установления точных размеров для каждого метода в отдельности и эти размеры снова можно оценить нано и пико метрами. При реновации деталей и упрочнении инструмента применяют различные методы нанесения тонких покрытий, слои которых в некоторых случаях составляют даже доли пико метров, а это уже относится к фемтометрии (10^{-15} Ф).

В последнее время в некоторых исследованиях приводятся размеры поверхностных слоев даже в аттометрии (10^{-18} а). Однако, на наш взгляд, при сегодняшнем развитии техники измерений и способов нанесения покрытий этого еще не может быть. Поэтому данные, которые иногда появляются в исследованиях по планированию экспериментов, сейчас еще не корректны, но в недалеком будущем при таком же бурном развитии точного машиностроения и такие данные станут реальными и научно обоснованными. Для этого необходимо разработать новые еще более совершенные измерительные приборы и методы нанесения покрытий на детали и дальнейшее упрочнение режущего инструмента тонких размеров.

Таким образом, в работе рассмотрены перспективы применения пикометрии при реновации деталей, определении параметров их шероховатости и изготовлении инструментов для превращения свеклы в стружку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка резанием деталей с покрытиями: монография / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец и др. Под общ. ред. С. А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.

2. Влияние режимов нанесения и доли зольных добавок во флюс на твердость покрытия / Т. С. Скобло, В. В. Коломиец, В. Ф. Ридный и др. // Физические и компьютерные технологии: труды 13-й Междунар. научн.-техн. конф., 19–20 апреля 2007, г. Харьков. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 277–281.

3. Влияние условий течения восстановленных наплавкой деталей на отношение радиуса закругления вершин микронеровностей к их высоте / Т. С. Скобло, В. В. Коломиец, В. Ф. Ридный, Р. В. Ридный // Физические и компьютерные технологии: труды 9-й Междунар. научн.-техн. конф., 3–4 июня 2004, г. Харьков. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 70–73.

4. Коломиец В. В. Усовершенствованный способ увеличения износостойкости бурякорезных ножей / В. В. Коломиец, И. А. Фабричникова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харьков: НТУСГ, 2008. – Вып. 75. – Том 2. – С. 564–568.

5. Фабричникова И. А. Разработка и внедрение комплексного способа упрочнения свеклорезных ножей для срезания стружки / И. А. Фабричникова, В. В. Коломиец // MOTROL < Lublin-Rzeszow, 2013. - Vol. 15, №7. – С. 129–135.

6. Патент України на корисну модель №42467. Комплексний спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів / Автори: Фабричникова І. А., Коломієць В. В., Тимофєєва Л. А., Лукьяненко В. М. – Оpub. 10.07.2009. – Бюл. №13. 2009 р.

7. Патент України на корисну модель №54635. Ніж безреберний бурякорізальний. /Автори: Фабричникова І. А., Кв'ятковський А. Й., Коломієць В. В. – Оpub. 25.11.2010. – Бюл. №22. 2010 р.

8. Патент України на корисну модель №66679. Спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів. /Автори: Скобло Т. С., Фабричникова І. А., Коломієць В. В., Мартиненко О. Д. – Оpub. 10.01. 2012. – Бюл. №1. 2012 р.

*Коломієць В. В., Богданович С. А., Рідний Р. В.,
Свіргун О. А., Харченко С. О., Півень М. В.*
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка, м. Харків, Україна

НОВА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДОВЖИН ВАЛІВ ОДНОСТУПІНЧАСТИХ КОНІЧНИХ РЕДУКТОРІВ

Вступ. Розрахунок і компоновка машин залежить від діаметрів і окремих частин довжин валів, а також від ширини деталей, розміщених на цих валах, зазорів між деталями і стінками корпусів машин. Величини довжин окремих частин валів згідно різних рекомендацій приймалися після виконання компоновок деталей редукторів в корпусі на міліметровому папері [1]. Цей спосіб їх визначення потребує узгодження великої кількості розмірів і часу [2, 3]. Сучасний

розвиток технічного забезпечення розрахунків і комп'ютеризації учбового процесу дозволяє виконувати розрахунок довжин валів без виконання компонок і їх креслення на папері. Тому в даній роботі приведені залежності довжин валів одноступінчастих конічних редукторів від окремих параметрів, які можна розрахувати і вибрати із існуючих довідників і стандартів з використанням розроблених програм на комп'ютері [4]. Такі основи нової методики розрахунку окремих частин довжин валів можна застосовувати для розрахунку довжин валів різних найменувань і інших редукторів, механізмів, машин, пристроїв і приборів. Залежності довжин валів редукторів, необхідних для точного їх розрахунку на статичну і динамічну міцність, виведені з урахуванням відстаней між деталями в редукторі згідно існуючих рекомендацій [1].

Основна частина методики. Для розрахунку окремих частин довжин валів редукторів вихідні дані потрібно брати із попередніх розрахунків: енергокінематичного розрахунку приводу; розрахунку пасової і зубчастих передач редуктора; розрахунку відкритої передачі приводу. Ці нові розрахунки повинні дотримуватись сучасних технологічних, тягових, економічних і інших розрахунків машини, умови експлуатації якої вказуються на робочому валу приводу і задані в завданні документації на її розробку згідно існуючих стандартів і рекомендацій.

Вихідні дані можуть бути такими:

1. **Обертові моменти** на валах редуктора, T_2 і T_3 , (Н·м);
2. **Зовнішня конусна відстань конічної передачі**, R_e , (мм);
3. **Ширина** веденого шківa пасової передачі, M , (мм);
4. **Ширина** шестерні або її маточини зубчастої передачі, $b_{ш}$, (мм);
5. **Ширина** зубчастого колеса або його маточини передачі, b_k , (мм);
6. **Ширина** шестерні або її маточини відкритої передачі, $b_{шв}$, (мм);
7. **Ширина** маточини ведучої зірочки ланцюгової передачі, $b_з$, (мм).
8. **Кут при вершині** ділильного конуса шестірні, δ_1° .

Ширини маточин приймаються до розрахунків тільки в тому випадку якщо їх величини більші від ширини веденого шківa, шестерні, зубчатих коліс передач і шестірні відкритої циліндричної зубчастої передачі або зірочки ланцюгової передачі.

Розрахунок діаметрів валів конічного редуктора на кручення.

Діаметри вхідного і вихідного валів редуктора на кручення визначаються із умов міцності при крученні при понижених допустимих напругах [1, ф.4.1];

$$d = \sqrt[3]{\frac{T \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}}$$

де T – обертовий момент на валу редуктора, Н·м; $[\tau_{кр}]$ – допустиме напруження на кручення для валів редукторів: $[\tau_{кр}] = 20 \dots 30$ МПа.

Діаметри вхідного валу.

Із попереднього розрахунку передач редуктора вибрати: T_2 – обертовий момент на вхідному валу редуктора (Н·м); $[\tau_{кр}]$ – допустиме напруження на кручення вхідного вала прийняти рівним 30 МПа.

Розрахунок діаметра хвостовика вала:

$$d_{x2p} = \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}}$$

Приймаємо діаметри:

хвостовика вала - $d_{x2} \geq d_{x2p}$ (мм);

під підшипники - $d_{п2} > d_{x2}$, кратний 5 (мм);

під шестірню - $d_{ш} > d_{п2}$ на 5...7 мм.

Діаметри вихідного валу.

Із попереднього розрахунку передач редуктора вибрати:

T_3 – обертовий момент на вихідному валу редуктора, (Н·м).

$[\tau_{кр}]$ – допустиме напруження на кручення вихідного валу прийняти 25 МПа.

Розрахунок діаметра хвостовика вала: $d_{x3p} = \sqrt[3]{\frac{T_3 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 25}}$

Приймаємо діаметри:

хвостовика вала - $d_{x3} \geq d_{x3p}$ (мм);

під підшипники - $d_{п3} > d_{x3}$, кратний 5 (мм);

під колесо - $d_k > d_{п3}$ на 5...7 мм.

Розрахунок окремих частин довжин вхідного валу редуктора.

Вхідний вал.

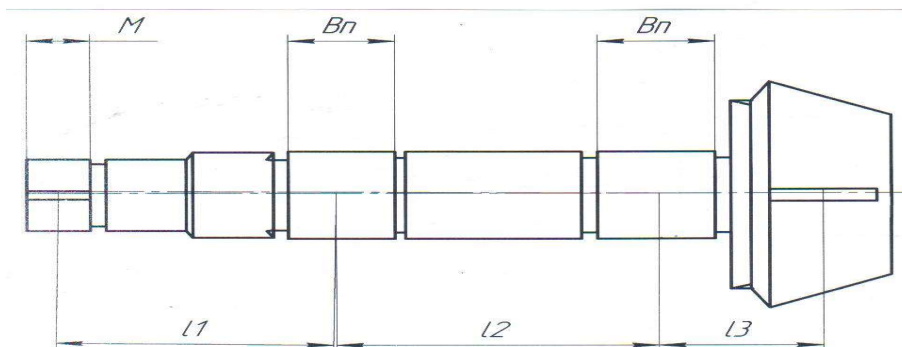


Рисунок 1. – Вхідний вал кінцевого редуктора

Для розрахунку основних довжин валів кінцевого редуктора вихідні дані необхідно взяти із попереднього розрахунку передач приводу:

$$l_1 = M/2 + 3d_4 + K - B_{п2}/2; \quad l_2 = (2,5 \dots 3,5)d_{п2}; \quad l_3 = B_{п2}/2 + 3\delta + b_{ш1}/2 \cdot \cos\delta_1,$$

де l_3 – довжина консольної частини валу від середини ширини підшипника до середини товщини кінцевої шестерні передачі; M – ширина веденого шківця; d_4 – діаметр болта кріплення кришки підшипника; K – ширина верхнього фланця корпусу редуктора; $B_{п2}$ – ширина підшипника; $d_{п2}$ – внутрішній діаметр підшипника; δ – товщина стінок корпусу редуктора; $b_{ш1}$ – ширина маточини шестірні; δ_1 – кут при вершині ділильного конуса шестірні; $M = 1,2d_{x2}$.

Вихідний вал.

$$l_2 = B_{п3} + d_{ae1} + 4,2\delta + b_{ш1}/2; \quad l_1 = b_3/2 + 3d_4 + K - B_{п3}/2,$$

де $B_{п3}$ – ширина підшипника на вихідному валу; d_{ae1} – зовнішній діаметр виступів шестірні; $b_{ш}$ – ширина шестірні відкритої передачі, або ширина маточини

ведучої зірочки ланцюгової передачі b_3 ; b_K – ширина маточини зубчастого колеса передачі. $b_3 = (1,2 \dots 1,5)d_{x3}$.

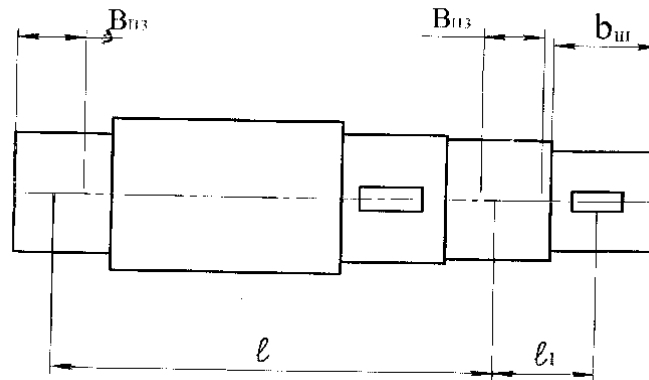


Рисунок 2. – Вихідний вал кінцевого редуктора

Приклад розрахунку діаметрів валів кінцевого редуктора.

Діаметри вхідного і вихідного валів. Вихідні дані:

- обертовий момент на вхідному валу редуктора $T_2 = 253,11$, Н·м;
- допустиме напруження на кручення валу $[\tau_{кр}] = 30$ МПа.

Розрахунок діаметра хвостовика вала: $d_{x2p} = \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} = \sqrt[3]{\frac{253,11 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 34,8 \text{ мм}$

- діаметр хвостовика вхідного вала: $d_{x2} = 36$ мм;
- діаметр вала під підшипники $d_{п2} = 40$ мм;
- діаметр вала під шестірню $d_{ш} = 48$ мм;
- обертовий момент на вихідному валу редуктора $T_3 = 972,51$ Н·м;
- допустиме напруження на кручення валу $[\tau_{кр}] = 25$ МПа.

Розрахунок діаметра хвостовика вала: $d_{x3p} = \sqrt[3]{\frac{T_3 \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} = \sqrt[3]{\frac{972,51 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 25}} = 57,9 \text{ мм}$

- діаметр хвостовика вихідного вала $d_{x3} = 58$ мм;
- діаметр вала під підшипники $d_{п3} = 60$ мм;
- діаметр вала під зубчасте колесо $d_K = 66$ мм.

Розрахунок довжин валів редуктора.

- ширина маточини веденого шків пасової передачі $M = 1,2 \cdot 40 = 48$ мм;
- товщина стінок корпуса: $\delta = 0,05Re + 1 = 12,1$ мм. Приймаємо $\delta = 12$ мм;
- ширина підшипника №7308 $B_{п2} = 25,3$ мм;
- ширина маточини шестірні $b_{ш} = 48$ мм;
- ширина маточини зубчастого колеса $b_K = 72$ мм;
- кут при вершині ділильного конуса шестірні $\delta_1 = 14,04^\circ$;
- зовнішній діаметр виступів шестірні $d_{ae1} = 120$ мм;
- ширина підшипника №7312 $B_{п3} = 34$ мм;
- ширина маточини ведучої зірочки ланцюгової передачі $b_3 = 70$ мм;
- діаметр болта кріплення кришки підшипника $d_4 = 10$ мм;
- ширина верхнього фланця корпуса редуктора $K = 28$ мм.

48	12	25,3	40	48	72	14,04	120	34	70	10	28
M	δ	$B_{П2}$	$d_{П2}$	$b_{Ш}$	b_K	δ_1°	d_{ae1}	$B_{П3}$	b_3	d_4	K
$l_1 = M/2 + 3d_4 + K - B_{П2}/2 =$						69,35	мм	Вхідний вал			
$l_2 = 3d_{П2} =$						120	мм				
$l_3 = B_{П2}/2 + 3\delta + b_{ш}/2 \cdot \cos\delta_1^\circ =$						71,93	мм				
$l_1 = b_3/2 + 3d_4 + K - B_{П3}/2 =$						76	мм	Вихідний вал			
$l_2 = B_{П3} + d_{ae} + 4,2\delta + b_{ш}/2 =$						228,4	мм				

Приклад комп'ютерного розрахунку діаметрів і довжин валів одноступінчастого конічного редуктора.

Діаметри вхідного вала. Вихідні дані:											
- обертовий момент на вхідному валу				$T_2 =$	253	Н·м					
- допустиме напруження на кручення				$[\tau_{кр}]$	30	МПа					
Розрахунок діаметра хвостовика вала				$d_{2рх} =$	35	мм					
- діаметр хвостовика вала				$d_{х2} =$	35	мм					
- діаметр вала під підшипники				$d_{П2} =$	40	мм					
- діаметр вала під шестірню				$d_{Ш} =$	48	мм					
Діаметри вихідного вала. Вихідні дані:											
- обертовий момент на вихідному валу				$T_3 =$	848	Н·м					
- допустиме напруження на кручення				$[\tau_{кр}]$	25	МПа					
Розрахунок діаметра хвостовика вала				$d_{3рх} =$	55	мм					
- діаметр хвостовика вала				$d_{х3} =$	56	мм					
- діаметр вала під підшипники				$d_{П3} =$	60	мм					
- діаметр вала під зубчасте колесо				$d_K =$	65	мм					
Розрахунок довжин валів редуктора											
- ширина маточини веденого шків				$M = 1,2 \cdot d_{х2} =$	48	мм					
- товщина стінок корпусу:				$\delta_p = 0,05R_c + 1$	12,10	мм					
				Приймаємо $\delta =$	12	мм					
- ширина підшипника № 7308				$B_{П2} =$	25,3	мм					
- ширина маточини шестерні				$b_{Ш} =$	48	мм					
- ширина маточини зубчатого колеса				$b_K =$	72	мм					
- кут при вершині діляльного конуса шестерні				$\delta_1 =$	14,04	°					
- зовнішній діаметр виступів шестерні				$d_{ae1} =$	120	мм					
- ширина підшипника № 7312				$B_{П3} =$	34	мм					
- ширина маточини ведучої зірочки				$b_3 =$	70	мм					
- діаметр болта кріплення кришки підшипника				$d_4 =$	10	мм					
- ширина верхнього фланця корпусу редуктора				$K =$	28	мм					
48	12	25,3	40	48	72	14,04	120	34	70	10	28
M	δ	$B_{П2}$	$d_{П2}$	$b_{Ш}$	b_K	δ_1°	d_{ae1}	$B_{П3}$	b_3	d_4	K
Вхідний вал:											
				$l_1 = M/2 + 3d_4 + K - B_{П2}/2 =$	69,35	мм					
				$l = 3d_{П2} =$	120,00	мм					
				$c = B_{П2}/2 + 3\delta + b_{ш}/2 \cdot \cos\delta_1^\circ =$	71,93	мм					
Вихідний вал:											
				$l_1 = b_3/2 + 3d_4 + K - B_{П3}/2 =$	76,00	мм					
				$l = B_{П3} + d_{ae1} + 4,2\delta + b_{ш}/2 =$	228,40	мм					
		$l_3 = B_{П2}/2 + 2\delta + b_K/2 =$	77	мм							

В комп'ютерному розрахунку довжина $l = l_2$, а $c = l_3$ попереднього розрахунку.

Висновки. 1. В результаті проведених розрахунків окремих частин довжин валів редукторів значно зменшився час розрахунку і збільшилась точність розрахунку. 2. Використання комп'ютерного розрахунку дає можливість застосування збереження розрахунку і його використання для розрахунку других частин валів механізмів і машин різного призначення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Киркач Н. Ф. Расчет и проектирование деталей машин. Курсовое проектирование / Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласянян. – Харків: Основа, 1991. – 276 с.
2. Тіщенко Л. М. Раціональне проектування валів і осей / Л. М. Тіщенко. – Харків, ХДТУСГ: Торнадо, 2001. – 174 с.
3. Розрахунки і проектування деталей машин / Б. З. Овчаров, А. В. Міняйло, Д. І. Мазоренко, Л. М. Тіщенко. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 315 с.
4. Розрахунок діаметрів і довжин валів редукторів: Методичні рекомендації до виконання самостійної роботи студентами денної та дистанційної форми навчання технічних спеціальностей. / Л. М. Тіщенко, В. В. Коломієць, С. А. Богданович, Р. В. Рідний, В. Г. Знайдюк, О. А. Свіргун, С. О. Харченко, М. В. Півень. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – 29 с.

Кремнев Г. П., Надачин В. Б.

Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

Бердичевский Е. Г.

Политехнический университет имени Ярослава Мудрого,
г. Великий Новгород, Россия

УЧИТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЮ И КОНСТРУИРОВАНИЮ!

В ОНПУ в рамках специальности «Прикладная механика» ведется подготовка бакалавров по специализации «Компьютерное проектирование инновационных технологий» КПИТ. Хотелось бы напомнить содержание понятия «проектирование».

Разработка новых изделий машиностроения осуществляется ИТР путем проектирования и конструирования, взаимосвязанными и дополняющими друг друга процессами, но разными. Итак, проектирование предшествует конструированию и есть поиск научно-обоснованных, технически осуществимых и экономически целесообразных инженерных решений. Результатом проектирования является проект разрабатываемого объекта, который анализируется, обсуждается, корректируется и принимается как основа для дальнейшей разработки. Объектами проектирования могут быть изделия (детали, сборочные единицы, машины), процессы, алгоритмы, набор правил и многое другое. Для материальных объектов, результатов проектирования, после принятия проекта идет этап конструирования, т.е. создания конкретной однозначной конструкции изделия, и этот этап опирается на результаты проектирования и уточняет все инженерные решения, принятые при проектировании. При проектировании и конструировании в уме разработчика создается конкретный мысленный образ, он подвергается мысленным экспериментам, включая перестановку составных частей

или их замену другими, оценивается эффект внесенных изменений на конечный результат и в конце принимает окончательный, технически обоснованный вид.

В РУП бакалавра по специализации КПИТ имеется целый ряд дисциплин, обеспечивающих как подходы к проектированию, так и конструированию, но бакалавр по КПИТ – будущий технолог, т.е. проектант технологических процессов с одной стороны, а с другой – конструктор, создающий вполне материальные объекты для разрабатываемых технологий или корректирующий уже созданные для тех же целей. К сожалению, в принятом плане отсутствует дисциплина связи действий технолога и конструктора. Ранее она была в рамках специальности «инженерная механика» и называлась «Технологические основы конструирования» (ТОК).

Мы считаем, что для успешного вхождения в основы будущей специальности студентам должен быть предложен курс «Технологические основы конструирования» (ТОК). Они уже знают основные ПП по графике, имеют некоторые знания по теоретической механике и ТММ и параллельно курсу «Детали машин» профилирующая кафедра должна заложить фундамент будущего специалиста – основы конструирования: не только деталей, сборочных единиц и машин в целом, что очень необходимо, а и взгляды на вариативность принимаемых решений и критерии оценки каждого из вариантов. Естественно, для решения таких учебных задач нужен учебник, в котором студент сможет получить всю необходимую информацию. Например, в учебнике [1].

В курсе ТОК наряду с общими вопросами конструкторской подготовки производства новых машин должны быть даны пути обеспечения качества разрабатываемых изделий, анализ ошибок в разработках и способы их недопущения или устранения, контроль документации, разработанной конструктором на разных этапах, технологом. Здесь же следует учить студента порядку отработки конструкции изделия (деталей и сборочных единиц) на технологичность: технологичность по материалам, по будущей заготовке, по формам поверхностей, по размерам и шероховатости поверхности, по возможностям обработки резанием на высокопроизводительном оборудовании.

Этот порядок обработки должен быть подкреплен количественными оценками по трудоемкости изделий, себестоимости их, энергоемкости применительно к конструкциям типовых деталей и сборочных единиц.

Важно студента ориентировать в курсе ТОК на то, что у него не должно быть одного варианта решения любой задачи или проблемы, а их будет несколько, и он должен с позиций технолога предложить лучшее решение, уметь его обосновать количественными оценками при весьма ограниченном объеме информации. Собственно говоря, когда студент будет выполнять первое инженерное решение – курсовой проект по деталям машин, а это типовое проектирование, он уже сможет вести анализ принимаемых решений и уметь обосновать их выбор. Конечно, курс ТОК как бы забегают вперед тому, что будет студент изучать далее и возможны некоторые повороты, но они – это связи, позволяющие с позиций частного взгляда рассмотреть более крупную проблему – создание инновационных технологий.

Практически параллельно курсу ТОК студенты изучают дисциплину «Производство заготовок» (ПЗ), в содержании РП которого кроме сведений о методах получения заготовок деталей машин литьем, штамповкой и др. даются основы проектирования заготовок – требования к материалам, факторы выбора способа получения заготовок, припуски и напуски заготовок и методы и методы их расчета [2]. Очень важным фактором является рассмотрение специальных способов литья, перспективных способов получения отливок, всевозможные способы разделки проката,ковки и штамповки, а также методы получения заготовок из порошков, полимерных материалов, сварных и комбинированных заготовок. Курсы ТОК и ПЗ идут как бы параллельно друг другу, но они закладывают основу: способность проектировать деталь или заготовку детали и оценивать принимаемое решение и на этой основе разрабатывать современные технологии изготовления частей машин и машин в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремнев Г. П. Бердичевский Е. Г. Технологические основы конструирования: Учебник / Г. П. Кремнев, Е. Г. Бердичевский – Вел. Новгород: Вел. Новгородский ГУ им. Ярослава Мудрого, 2018.
2. Наддачин В. Б. Методы производства заготовок в машиностроении: Учебное пособие / В. Б. Наддачин. – Одесса: Интерпринт, 2017. – 264 с.

Крюк А. Г.

Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца, г. Харьков, Украина

ПРОГРЕССИВНЫЙ МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время широкое развитие получил один из прогрессивных методов обработки металлов давлением – метод непрерывного профилирования листового металла на профилегибочных агрегатах. Продукцией, получаемой данным способом, являются гнутые профили. Этот метод позволяет получать профили не только различной и сложной конфигурации поперечного сечения, в том числе замкнутых круглых и прямоугольных, листовых с большим числом мест изгиба, разделенных прямолинейными или иной формы участками, но и профили со специальными служебными свойствами. Они могут изготавливаться из сталей повышенной и высокой прочности, термоупрочненных, с просечкой и перфорацией, с продольными и поперечными ребрами жесткости, с элементами двойной толщины, сварные, завитые по дуге, покрытые пластиками, антикоррозийными металлическими покрытиями и др. Профилирование полосы разделяется на ряд отдельных операций, при осуществлении которых каждая из пар валков выполняет оптимальную частичную деформацию.

Выбор числа операций, равных числу валков профилегибочного агрегата, зависит в основном от сложности конфигурации профиля и его размеров, а также от требуемых допусков на размеры, от соотношения толщины и ширины заготовки и отдельных участков профиля, механических свойств материала, требуемых радиусов закругления мест изгиба, допускаемого утонения заготовки и характеристики профилегибочного оборудования. К достоинствам процесса профилирования можно отнести следующее:

- возможность изготовления профилей минимальной толщины с минимальной металлоемкостью, которую невозможно получить другими способами металлообработки, а также гнутых профилей самой различной конфигурации толщиной 0,1 – 20 мм и шириной исходной заготовки до 2000 мм;

- получение профиля, позволяющего заменить сочетание нескольких профилей в конструкциях, что дает возможность создавать новые типы конструкций, обеспечивает экономию металла и устраняет операции сборки и соединения отдельных элементов;

- незначительные отходы металла (коэффициент использования металла достигает 99,5 – 99,8 %);

- приспособляемость к материалам: профилировать можно самые разнообразные материалы: горячекатанную и холоднокатанную листовую, ленточную и полосовую углеродистую сталь, конструкционную и легированную стали, титан, алюминий, медь, цинк, латунь, бронзу и другие металлы и сплавы, допускающие холодную обработку давлением, а также плакированные биметаллические материалы и специальные пластмассы;

- хорошее качество поверхности гнутых профилей проката, что обеспечивает широкое применение их для различных отделочных и декоративных элементов конструкций;

- возможность формообразования профилей из заготовок с предварительно обработанной поверхностью или поверхностью с покрытием без нарушения ее качества;

- высокую точность размеров профилей, обеспечивающую их взаимозаменяемость и возможность соединения профилей между собой и скользящими соединениями сопряженных элементов;

- сравнительно высокую производительность труда;

- высокую степень механизации и автоматизации производства;

- приспособляемость к масштабам производства: оборудование для профилирования менее сложно, более легко и просто в обслуживании и дешевле в изготовлении, чем прокатное и прессовое, в связи с этим высокая производительность профилегибочного оборудования позволяет эффективно устанавливать его для массового и для серийного производства профилей;

- высокую стойкость инструмента и возможность изготовления на одном комплекте валков большого числа профилеразмеров;

- возможность получения различных и оптимальных механических свойств на различных участках профиля;

- совмещение профилирования с другими производственными процессами, например: с автоматической шовной или точечной сваркой, пайкой, резкой, предварительной надрезкой полос перед профилированием, штамповкой, клеймением, перфорированием, гофрированием, правкой, гибкой по дуге, плакированием, окрашиванием, травлением, термообработкой, лужением, оцинкованием, хромированием и др.

Другие способы получения фасонных профилей (горячая прокатка, штамповка, выдавливание, волочение), несмотря на некоторое сходство с процессом профилирования, принципиально отличаются от него. Так, при профилировании площадь поперечного сечения заготовки практически не изменяется, формуемая заготовка подвержена продольным деформациям и напряжениям, деформация металла начинается значительно раньше, чем участок заготовки войдет в контакт с валками, перемещение заготовки производится тянущими усилиями, прикладываемыми со стороны вращающихся валков, в то время как при прокатке и прессовании площадь поперечного сечения заготовки изменяется, деформирование производится в пределах соприкосновения заготовки с рабочим инструментом, лишь незначительно выходя за пределы очага деформации; при гибке в штампах заготовка и рабочий инструмент перемещаются поступательно; при волочении заготовка подвержена тянущим усилиям со стороны захватов. Совершенствование технологии профилирования и применяемого оборудования привело к тому, что гнутые профили проката изготавливают самых разнообразных конфигураций и размеров. Тем не менее, наблюдается тенденция все более интенсивного совершенствования способов формовки валков и оборудования, применяемых для профилирования.

Лавріненко В. І.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, м. Київ, Україна

ПУБЛІКАЦІЇ ОСТАННІХ РОКІВ З АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ У НАПРЯМКУ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

Наказом Міністерства освіти і науки України від 06 листопада 2015 р. № 1151 змінена концепція в Переліку напрямів, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, із зміною найменування галузі знань та назви спеціальності. Тепер колишня спеціальність 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» відноситься до галузі знань «13 Механічна інженерія», спеціальність – «132 Матеріалознавство», а «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» стали в ній спеціалізацією. Відповідно до цього треба в певній мірі змінювати і концепцію підготовки аспірантів та здобувачів степені – PhD, адже матеріалознавчим питанням в дослідженні процесів меха-

нічної обробки необхідно приділяти більшої уваги. Для досліджень в напрямку створення та застосування інструмента з надтвердих матеріалів, які виконуються в Інституті надтвердих матеріалів (ІНМ) ім. В.М. Бакуля НАН України, це було і є характерним як для процесів лезової [1], так і для алмазно-абразивної обробки [2]. До речі, слід вказати, що і ювілярам, науковцям Одеського національного політехнічного університету цей напрямок не є новим [3]. А як цей матеріалознавчий напрямок відбивається в останніх публікаціях інших вітчизняних і закордонних дослідників, це ми і намагалися висвітлити. До уваги нами в першу чергу бралися ті статті, у яких матеріали, як абразивний, так і оброблюваний, розглядалися як активний елемент впливу на процес обробки, а не як її фон.

На нинішній час у вітчизняній індустрії обсяг абразивної обробки складає більш як 30% усієї металообробки, а у підшипниковій промисловості – за 70 %. В закордонній практиці загальний обсяг абразивної обробки сягає 50 % [4]. Для ефективного застосування абразивних кругів необхідно звертати увагу на абразивний матеріал. Так, для кругів з нормального електрокорунду значення коефіцієнта шліфування повинні бути помножені на 0,8; з хромтитанистого та хромистого електрокорундів – на 1,2; з монокорунду – на 1,5 у порівнянні з коефіцієнтом для кругів з білого електрокорунду. Для кругів з карбиду кремнію чорного значення коефіцієнта повинно бути помножено на 0,8 у порівнянні зі значенням для кругів з карбиду кремнію зеленого [4]. В роботі [5] звертається увага на вплив оброблюваного матеріалу та матеріалу зв'язуючого абразивного круга на процес абразивної обробки, Так, хімічний склад металу, що піддається різанню відрізними кругами, суттєво впливає на якість процесу різання, ступінь окислення стружки і якість поверхонь, які розрізаються. Наприклад, алюміній, кремній, нікель та ін. здатні утворювати хімічно стійку плівку, збільшуючи стійкість сплавів до окислення. Навпаки, підвищення вмісту вуглецю знижує стійкість сплавів до окислення і, тим самим, сприяє процесу утворення стружки та полегшує її видалення з поверхні круга. Тим самим, підвищення ступені окислення полегшує процес різання, а пониження – утруднює [5]. Такий висновок, до речі, співпадає з висновками роботи [2]. В роботі [5] звернена увага на властивості зв'язуючого абразивного круга і саме на активні наповнювачі в, наприклад, бакелітову зв'язку. При цьому, хімічно активні наповнювачі, пари сірки і/або галогенів попадають в зону різання та полегшують різання неіржавіючих і легованих сталей. Так, для абразивних підприємств Євросоюзу розроблена нова 3S-технологія, яка базується на застосуванні системи адаптивних наповнювачів і фенольних смол нового покоління [5].

Вкажемо, що введення активних наповнювачів стимулювало ще один напрямок в абразивному інструменті, а саме, створення високопористих абразивних інструментів [6, 7], які нині досить активно просуваються на ринок України [8]. Суттєвим недоліком високопористих інструментів є недостатня їх міцність. Крім того, надлишки зв'язки, оточуючи поверхню зерен, зменшують розміри пор та збільшують тертя при шліфуванні. Авторами [6] для вирішення цих недоліків пропонуються наступні шляхи: по-перше, вводити нарівні із основною зернистістю, ще і більш дрібну, для збільшення числа точкових контактів зерен

між собою, а по-друге, вводити додатковий пороутворювач, який повинен збільшити поруватість і, що важливо, в момент формування витіснити зв'язку з поверхні зерен. Аналогічний підхід наведений автором роботи [7] і для створення високопористих кругів з кубічного нітриду бору. При цьому, абразивними наповнювачами були зерна мікрокристалічного корунду, виготовленого за SG-технологією, розміром на два порядки меншим, аніж розміри зерен cBN, а у якості пороутворювачів застосовували мікросфери з алюмосилікату розміром від 5 до 560 мкм і частинки подрібнених фруктових кісточок з розмірами, що були аналогічними розміру зерен cBN. Як наслідок, такі круги можуть бути ефективно застосовані при шліфуванні загартованих сталей без охолодження.

Наведене вище свідчить про те, що важливим вихідним параметром абразивного матеріалу в інструменті є зернистість. Разом з тим, в роботах [9–10] звертається увага на те, що однією з основних причин зниження ефективності шліфування є те, що інструмент виготовлюють з шліфувальних зерен з довільною формою. На цей фактор звернено увагу в роботі [9], де викладені нові методи вимірювання та опису форми алмазної частинки, які би були пов'язані із абразивним зношуванням. Автори роботи [9] звертають увагу також і на те, що розмір і форма є поняттями нероздільними при описі частинки, у яких чітко не визначено форми (тобто, не сферичні, не кубічні та ін.). В цій роботі показано, що найбільш корисними для оцінки алмазних зерен є: діаметр (мінімальний, середній і максимальний), їх співвідношення, опуклість, периметр та точність форми. Ці параметри є основою для всебічної характеристики алмазних зерен та контролю їх якості. Вкажемо принагідно, що даний напрямок опису алмазів досить широко застосовується і у ІНМ НАН України [11]. Звернемо також і увагу на роботу авторів [10], де були проаналізовані дані по формі зерен в широкому діапазоні міцності алмазних зерен (від AC15 до AC100). Авторами [10] показано, при зростанні міцності зерен від AC15 до AC80 продуктивність шліфування пропорційно зростає і досягає коефіцієнта підвищення в 1,88 для AC80 відносно AC15, де цей коефіцієнт дорівнює 1,0, а ось надалі для AC100 цей коефіцієнт майже не зростає (1,92), тобто логічно припустити, що тут форма зерен вже не так суттєво змінюється. Нині дослідників цікавлять CVD-алмази [12–14], які отримують при хімічному синтезі алмазу за допомогою метода CVD (Chemical Vapour Deposition) з різною активацією газової фази. Перевагою його є те, що він за своїми властивостями наближається до природного алмазу і має теплопровідність в межах 900–1200 Вт/(м·К) [12]. CVD-алмаз нині може бути застосований у двох різновидах: тонкошаровий (покриття на різальних інструментах [13]) та товстошаровий (покриття для абразивного інструменту [14]).

Повернемося тепер до питання утримання алмазних зерен, яке є особливо актуальним для високотемпературних металевих зв'язок і при утриманні в них зерен високої міцності. Свого часу це розглядалося в роботах співробітників ІНМ НАН України [15] де в систему Fe-Cu-Ni-Sn додавали домішку CrB₂ для зменшення графітизації на границі поділу алмаз-металічна зв'язка та створення в ній відповідних наноструктур, а відтак, покращення утримання алмазних зерен. В роботі [16] це розглядалися для системи Fe-Cu-Co-Sn, де власне і показа-

но що графіт буде накопичуватися на границі поділу і буде погіршувати адгезію алмазного зерна і зв'язуючого. Вказану проблему автори [16] досліджували введенням у вказану систему добавок нанопорошків Mo, WC та ZrO₂. Було встановлено, що у присутності нанопорошків Mo та ZrO₂ процес графітизації посилюється, а ось додання нанопорошку WC зменшує графітизацію на 25–30%. Позитивну роль домішки WC автори [16] пов'язують з посиленням блокування (до 70%) поверхні алмазного зерна. В цілому, це покращує адгезію зв'язуючої речовини до алмазних зерен і, відповідно, стійкість інструментів.

Тепер перейдемо до іншого актуального, на наш погляд, питання, а саме взаємодії алмазного зерна з різними сучасними матеріалами при мікрорізанні. В роботі [17] подані результати досліджень поведінки алмазних зерен при мікрорізанні твердих сплавів марки «ВолКар» з нанорозмірними зернами монокарбиду вольфраму. Встановлено, що товщини зрізу зерном для таких матеріалів слід витримувати не менш як 0,3 мкм, оскільки при менших товщинах значно підвищується викришування мікрокристалів алмазного зерна. В роботі [18] досліджені особливості мікрорізання при ультра-прецизійному шліфуванні монокристалічного кремнію. Показано, що для досягнення умов пластичного режиму оброблення максимальна глибина різання одиничним зерном не повинна перевищувати 0,221 мкм. В роботі [19] звертається увага на особливості мікрорізання тепер вже алмазним матеріалом, але це дещо незвичний синтетичний алмаз з підвищеним вмістом азоту, який отримав марку «Алмазот». Показано, що превалюючим механізмом зносу кристалів алмазоту є крихке руйнування. Разом з тим, підвищення температури в зоні контакту алмазоту з абразивним матеріалом, утворення дефектного поверхневого шару на алмазоті приводять до зміни механізму зносу на адгезійний.

Таким чином, ми намагалися підкреслити важливість врахування матеріалознавчого підходу у дослідженні процесів алмазно-абразивної обробки, як з боку складу зерен і зв'язуючих, так і особливостям їх взаємодії з матеріалом. Більш детально цей огляд буде поданий в журналі «Сверхтвердые материалы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко С.А., Подчерняева И.А., Береснев В.М. и др. Ионно-плазменное покрытие AlN-(TiCr)B₂ для режущего инструмента из поликристаллического сверхтвердого материала на основе кубического нитрида бора // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 3. – 85–97.
2. Лавріненко В.І., Солод В.Ю. Окислення або оксидні матеріали в зоні обробки кругами з НТМ як чинник впливу на показники процесу шліфування // Сверхтвердые материалы. – 2016. – № 6. – 52–60.
3. Лебедев В.Г., Клименко Н.Н. Количество теплоты, отдаваемое абразивным зерном металлу при шлифовании и контактная температура шлифуемой поверхности / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві – Одеса, 2015. – Вип. 3(8) – С. 55-57.
4. Эсмантович С.Н. Выбор характеристик шлифовальных кругов. Оптимизация процесса выбора в реальных условиях предприятий // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2016. – № 5. – С. 16–19.

5. Эсмантович С.Н. Отрезные круги. Применение адаптивных наполнителей // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2016. – № 2. – С. 32–38.
6. Крюков А.Ф., Крюков С.А., Грибач А.Е. Инновационно-технологическое обеспечение структурных и прочностных характеристик высокопористых абразивных инструментов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2009: сб. статей Междунар. науч.-технич. конфер. – Волгоград: ВолГАСУ, 2010. – С. 19–21.
7. Старков В.К. Высокопористые круги из кубического нитрида бора для шлифования без охлаждения // Сверхтвердые материалы. – 2013. – № 5. – С. 56–62.
8. Ларшин В.П., Лищенко Н.В., Рябченко С.В. и др. Шлифование зубчатых колес высокопористыми абразивными кругами из монокристаллического корунда // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2017. – № 2. – С. 26–28.
9. De Pellegrin D.V., Gorbin N.D., Baldoni G., Torrance A.A. The Measurement and Description of Diamond Particle Shape in Abrasion // www.diamondatwork.com – 2nd International Industrial Diamond Conference: 19–20 April, 2007, Rome, Italy.
10. Пегловский В.В., Сидорко В.И., Ляхов В.Н. Исследование зависимости производительности шлифования природного камня от марки синтетических алмазов в рабочем слое алмазного инструмента // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 79. – С. 192–198.
11. Петасюк Г.А. Системно-аналоговий метод ідентифікації геометричної форми проєкції зерен абразивних порошків // Сверхтвердые материалы. – 2016. – № 4. – С. 74–89.
12. Пижов И.Н., Васильев А.В., Клименко В.Г. Состояние вопроса и перспективы применения алмазов, полученных методом CVD // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 80. – С. 226–235.
13. Yoshiko Sato, Junki Kawamura, Takashi Nagase, et al. Sharpening of CVD diamond coated tools by 0.5–10 keV Ar⁺ ion beam // Diamond and Related Materials. – 2011. – Vol. 73, iss. 7. – P. 954–959.
14. Gabler J., Pleger S., Schafer L. CVD diamond layers with a controlled roughness enable high-precision and micro grinding tools // www.diamondatwork.com – 2nd International Industrial Diamond Conference: 19–20 April, 2007, Rome, Italy.
15. Бондаренко М.О., Мечник В.А., Супрун М.В. Особливості усадки і її швидкості в системі C_{алмаз}-Fe-Cu-Ni-Sn-CrB₂ при гарячому пресуванні зразків, попередньо отриманих вільним спіканням // Сверхтвердые материалы. – 2009. – № 4. – С. 29–39.
16. Sidorenko D.A., Zaitsev A.A., Kirichenko A.N., et al. Interaction of diamond grains with nanosized alloying agents in metal-matrix composites as studied by Raman spectroscopy // Diamond and Related Materials. – 2011. – Vol. 38. – P. 59–62.
17. Стрельчук Р.М. Работоспособность алмазных зерен при микрорезании твердых сплавов из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама // Резание и

инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – Вып. 84. – С. 211–214.

18. Yujie Niu, Yifan Dai, Chaoliang Guan, et al. Study on the technology of ultra-precision grinding for aspheric mirror of monocrystalline silicon // The 6th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2015), 15–20 August, 2015, Harbin, China.

19. Кузей А.М., Лебедев В.Я. Механизмы изнашивания алмазота в однокристалльном инструменте при правке абразивных кругов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – Вып. 84. – С. 145–152.

Ларшин В. П.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

Лищенко Н. В.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна

Рябченко С. В.

Дочірнє підприємство «БЕСТ-БІЗНЕС», м. Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ

Дослідження проводили в заводських умовах на плоскошліфувальному верстаті мод. 3E711B1 в рамках багаторічної програми випробувань експлуатаційних характеристик шліфувальних кругів [1, 2].

Випробовували наступні абразивні круги виробництва фірми «BEST-BUSINESS a.s.» (далі BEST, Чехія):

- 1) 250x25x76 A9960Js12V (колір червоний, високопоруватий рис. 1, а);
- 2) 250x25x76 (A9860I9V рубін – корунд, рис.1, б);
- 3) 250x40x76 A99B60Ks8VC40 (колір білий, рис 1, в).



Рисунок 1. – Шліфувальні круги A9960Js12V (а), A9860I9V (б), A99B60Ks8VC40 (в)

Для дослідження процесу шліфування були виготовлені зразки призматичної форми розміром 15x15x35 мм зі сталі 12X2H4A після цементації і загартування до HRC 58-60 (рис.2).

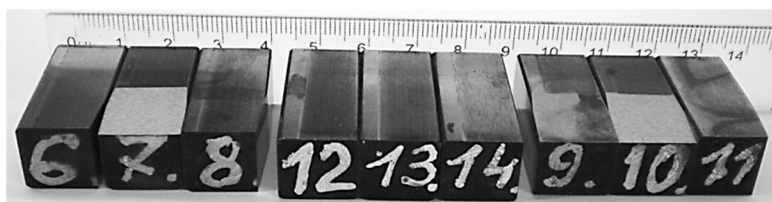


Рисунок 2. – Зразки 6...14 для дослідження

Методика досліджень наступна: 1) правка круга, підготовка поверхні зразка під робочий хід шліфування з поперечною подачею при вертикальній глибині шліфування 0,01 мм до повного торкання кругом оброблюваної поверхні; 2) здійснення робочого ходу на заданому режимі шліфування з одночасним виміром потужності шліфування; 3) повторення досліду 2 рази. Для визначення фактичної глибини шліфування t_ϕ на кожному зразку залишали не прошліфовану на робочому ході смужку (рис.2), відносно поверхні якої пізніше визначали t_ϕ . Лімбава глибина шліфування на робочому ході $t_n = 50$ мкм і $t_n = 30$ мкм на постійній швидкості деталі $V_d = 8,2$ м/хв, на кожному крузі 2 досліди в одному режимі. Для кожного досліду знайдена питома інтенсивність шліфування Q'_w в мм³/(мм·с), тобто інтенсивність шліфування Q_w (мм³/с) на 1 мм активної ширини профілю круга, причому: $Q'_w = t_\phi V_d$ і $Q_w = t_\phi b V_d$, де t_ϕ – усереднена за результатами повторення дослідів фактична глибина шліфування, мм; b – усереднена ширина контакту, мм. Питома роботу шліфування A_{num} (Дж/мм³) визначали за формулою $A_{num} = P / Q_w$, де P – потужність шліфування. Результати вимірів параметрів t_ϕ і P , а також розрахунку параметрів Q'_w , Q_w (табл.1) і A_{num} (табл.2) дозволяють виконати порівняльний аналіз експлуатаційних характеристик шліфувальних кругів, у тому числі з урахуванням результатів вимірювання шорсткості (табл.3).

Таблиця 1 – Результати вимірів і розрахунку параметрів шліфування

Шліфувальний круг А9860І9V (рубін-корундовий)							
t_n , мкм	Номер обр.	b , мм	t_ϕ , мкм	P , Вт	Q'_w , мм ³ /(мм·с)	V'_w , мм ³ /мм	A_{num} , Дж/мм ³
30	6 верх.	11	24	586,45	4,33	1,1	12,64
	6 бік.	11,5	31,7	602,3	3,28	0,84	15,55
50	7 верх.	11,5	48	1080,97	6,56	1,68	14,33
	7 бік.	11	42	811,52	5,76	1,477	12,79
Шліфувальний круг А99В60Кs8VС40 (звичайний)							
30	8 верх.	11,5	19,75	475,5	2,7	0,69	15,3
	8 бік.	11	29	634	3,96	1,015	14,54
50	9 верх.	10,5	47,3	1255,32	6,46	1,66	18,49
	9 бік.	10,5	46,75	1188,75	6,39	1,64	17,72
Шліфувальний круг А9960Jс12V (високопоровий)							
30	10 верх.	11,5	31,7	668,87	4,32	1,11	13,4
	10 бік.	10,5	29	614,98	3,96	1,015	14,77
50	11 верх.	10,5	41,7	710,08	5,7	1,46	11,87
	11 бік.	11	47	1030,25	6,42	1,645	14,58

Таблиця 2 – Усереднені результати вимірів і розрахунку параметрів

Шліфувальний круг А9860І9V							
t_n , мкм	Номер обр.	b с, мм	t_ϕ с., мкм	P с., Вт	Q'_w с., мм ³ /мм·с	V'_w с., мм ³ /мм	A_{num} с., Дж/мм ³
30	6 верх.	11,25	27,85	594,4	3,805	0,97	13,9
	6 бік.						
50	7 верх.	11,25	45,1	946,3	6,16	1,58	13,63
	7 бік.						
Шліфувальний круг А99В60Кs8VC40							
30	8 верх.	11,25	24,38	554,8	3,33	0,853	14,87
	8 бік.						
50	9 верх.	10,5	47,03	122,04	6,425	1,65	18,11
	9 бік.						
Шліфувальний круг А9960Js12V							
30	10 верх.	11	30,35	641,93	4,14	1,06	14,04
	10 бік.						
50	11 верх.	10,75	44,35	870,17	6,06	1,55	13,34
	11 бік.						

Примітка: 1) с. – середнє; 2) верх. і бік. – верхня і бічна поверхні

Таблиця 3 – Шорсткість поверхні

Шліфувальний круг А9860І9V				
Номер зразка	$R_{анод.}$, мкм	$R_{анод.}$, мкм (середнє)	$R_{ан}$, мкм	$R_{ан}$, мкм (середнє)
6 верх.	1,17	1,32	1,325	1,36
6 біч.	1,47		1,39	
7 верх.	1,355	1,475	1,4	1,548
7 біч.	1,595		1,695	
Шліфувальний круг А99В60Кs8VC40				
8 верх.	1,585	1,583	1,263	1,278
8 біч.	1,58		1,293	
9 верх.	1,573	1,557	1,337	1,444
9 біч.	1,54		1,55	
Шліфувальний круг А9960Js12V				
10 верх.	1,384	1,272	1,183	1,224
10 біч.	1,16		1,265	
11 верх.	1,233	1,162	1,383	1,333
11 біч.	1,09		1,283	

Висновки.

1. При лімбовій глибині $t_n = 30$ мкм фактична глибина t_ϕ і питомі параметри Q'_w , V'_w при шліфуванні високопоруватим кругом А9960Js12V більші, ніж при шліфуванні рубін-корундовим і звичайним А99В60Кs8VC40 кругами (табл.2).

2. При лімбовій глибині $t_n = 50$ мкм фактична глибина t_ϕ і питомі параметри Q'_w , V'_w при шліфуванні звичайним кругом А99В60Кs8VC40 більші, ніж при шліфуванні рубін-корундовим А9860I9V і високопоруватим А9960Js12V кругами (табл.2).

3. При $t_n = 30$ мкм питома робота A_{num} найменша у рубін-корундового круга. При $t_n = 50$ мкм питома робота A_{num} найменша у високопоруватого круга (табл.2).

4. При лімбових глибинах $t_n = 30$ мкм і $t_n = 50$ мкм усереднені значення $R_{анозд}$ і $R_{ан}$ приймають менші значення при шліфуванні високопоруватим кругом А9960Js12V (табл.3).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лищенко Н.В. Испытания высокопористых шлифовальных кругов на плоскошлифовальном станке / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, С.В. Рябченко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы международной научн.-техн. конф. 21-23 сентября 2016 года, Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2016. – С. 111-115.

2. Ларшин В.П. Шлифование зубчатых колес высокопористыми абразивными кругами из монокристаллического корунда / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, С.В. Рябченко, Г.В. Серета // Оборудование и инструмент. – №2(194). – 2017. – С.26-28.

Лебедев В. Г., Чумаченко Т. В., Луговская Е. А.
Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина
Беспалова А. В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ШЛИФУЕМОЙ ДЕТАЛИ

При шлифовании имеет место сверхскоростной нагрев поверхности, в результате чего возможны различные механизмы образования аустенита. Диффузионный, бездиффузионный и бездиффузионный при высоких удельных давлениях, при вероятном образовании прижогов под действием импульсной температуры.

Цель работы – установить закономерности бездиффузионных фазово – структурных превращений в закаленном поверхностном слое шлифуемой детали. Оценить влияние скоростных тепловых процессов при шлифовании и химического состава шлифуемой поверхности, для назначения безопасных температур, а, следовательно, и режимов обработки.

При быстром нагреве температурой шлифования поверхности шлифуемой детали из закаленной стали выше линии A_{c1} мартенситная структура поверхностного слоя переходит в аустенитную структуру, то есть имеет место обратное мартенситное превращение или фазовый переход $Fe\alpha \rightarrow Fe\gamma$ [1].

Превращение аустенита в мартенсит при охлаждении происходит не полностью поскольку мартенситный интервал $M_n - M_k$ в значительной мере охватывает отрицательные температуры. Поэтому аустенит частично фиксируется в поверхностном слое, образуя так называемый прижег закалки.

Прижоги являются причиной высоких остаточных напряжений и трещин в поверхностном слое, и снижают прочность, надежность и долговечность прошлифованной поверхности, а, следовательно, и всей детали.

К особенностям процесса нагрева металла при шлифовании следует отнести малые размеры теплового источника и значительную мощность этого источника, что обеспечивает высокую интенсивность теплового потока, и малое время теплового воздействия этого источника на металл.

В принципе образование в поверхностном слое структуры аустенита (прижога закалки) возможно в результате трех процессов.

1. Диффузионный путь – путем скоростного отпуска мартенсита по схеме $M \rightarrow P \rightarrow A$ (мартенсит \rightarrow перлит \rightarrow аустенит).

2. Бездиффузионный путь (при воздействии на металл короткого импульса мгновенной или импульсной температуры), когда происходит мгновенная перестройка кристаллической решетки по схеме $M \rightarrow A$.

3. Бездиффузионный путь при высоком контактном давлении режущего зерна, приводящего к снижению температуры точки A_{c1} .

Скорости нагрева при шлифовании оцениваются как $10^6 - 10^{10} \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$ [2].

В ряде случаев при условии скоростей нагрева $10^6 - 10^8 \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$ возможен диффузионный распад мартенсита и образование ферритно-перлитных структур.

При температуре нагрева порядка $800 \text{ }^\circ\text{C}$, что значительно выше точки A_{c1} , диффузионный распад мартенсита может происходить при скоростях нагрева порядка $1,3 \cdot 10^6 - 1,1 \cdot 10^7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$. При более высоких скоростях нагрева диффузионный распад мартенсита невозможен.

Для получения широкого диапазона контактных температур был выбран шлифовальный круг из КНБ: ЛО 180/150V1 100% и режимы шлифования $V_{кр} = 35 \text{ м/с}$, $V_{дет} = V_{ш} = 0,66 \text{ м/с}$, глубины шлифования $t = 0,015; 0,02; 0,04 \text{ мм}$.

Соответствующие контактные температуры будут составлять: 430°C , 770°C , $\sim 1000^\circ\text{C}$.

Измеряя скорости нагрева в диапазоне температур от 400 °С до A_{c1} , можно получить следующие значения: $V_{0,04}=3\cdot 10^6$ °С/с; $V_{0,02}=2\cdot 10^6$ °С/с; $V_{0,015}=0,3\cdot 10^6$ °С/с.

Поскольку температура образования аустенита при действии давления зерен ниже, то для проектирования режимов операции шлифования целесообразно пользоваться данными табл. 1.

Таблица 1 – Температура образования аустенита при бездиффузионном $\alpha \rightarrow \gamma$ превращении под действием мгновенной температуры с учетом давления в точке контакта зерна и металла

Исходные данные		A_{c1}			
v_k , м/с	v_n , °С/с	Сталь			
		Доэвтектоидная сталь	Эвтектоидная сталь	Заэвтектоидная сталь 1,2 % углерода	Заэвтектоидная сталь 0,9 % углерода
20	$4\cdot 10^9$	528	521	524	538
35	$12\cdot 10^9$	530	522	525	538
50	$25\cdot 10^9$	531	524	527	541

При давлении $2\cdot 10^3 \dots 3\cdot 10^3$ МПа, что имеет место при резании зерном, точка A_n несколько понижается и аустенит может образовываться при сравнительно низких температурах.

Выводы.

Скорости нагрева поверхности, при шлифовании при которых возможно бездиффузионное обратное мартенситное превращение, составляют величину порядка $0,5 - 1\cdot 10^{10}$ °С/с. Скорости нагрева при которых диффузионные процессы подавлены возникают в результате действия мгновенной температуры, чаще всего при шлифовании достаточно крупнозернистыми кругами при малых глубинах резания. Зернистость круга порядка 400/250 и глубина шлифования порядка 0,01 - 0,02 мм.

Для того чтобы избежать появления тепловых дефектов при обработке, контактная и мгновенная температуры шлифования должны быть не выше температур образования аустенита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев В.Г. Механизм образования прижогов при шлифовании деталей из закаленных сталей / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко, С.А. Аль-Аджелат // Наукові нотатки. – 2013. – № 40. – С. 141-144.
2. Lebedev V. G., Klimenko, N. N., Uryadnikova, I. V., Chumachenko, T. V., Ovcharenko, A. V. (2016). The definition of amount of heat released during metal cutting by abrasive grain and the contact temperature of the ground surface. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/7 (83), 43-50.

Лебедев В. Г., Клименко Н. Н., Луговская Е. А.

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

Беспалова А. В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

г. Одесса, Украина

НАПЛАВЛЕННЫЙ СЛОЙ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ЕГО СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ШЛИФОВАНИЕМ КРУГАМИ ИЗ КНБ

Мартенситно-старяющие стали (МСС) – высоколегированные малоуглеродистые (0,03 %С) конструкционные стали, на базе систем Fe–Ni и Fe–Cr–Ni, дополнительно легированные кобальтом, молибденом, титаном и т.д. [1, 2].

Высокие механические свойства, часто превосходящие механические свойства углеродистых легированных сталей достигаются за счет особой термообработки. Стали нагреваются под закалку до температур порядка 1200 °С. При такой температуре, интерметаллидные соединения легирующих элементов (как правило мелкодисперсные и твердые) растворяются в твердом растворе. При резком охлаждении со скоростями выше критических скоростей закалки образуется обезуглероженный “мягкий” мартенсит, в котором растворены интерметаллидные соединения. Далее следует отпуск при температурах порядка 480–520 °С. Под действие температуры отпуска происходит дисперсионное твердение стали, которое заключается в том, что интерметаллиды в мелкодисперсном состоянии выделяются из твердого раствора и блокируют перемещение дислокаций. По существу происходит изменение типа сплава “твердый раствор” → “механическая смесь” в результате чего сталь приобретает следующие механические свойства: предел прочности $\sigma_b = 900-1800$ МПа; предел текучести $\sigma_{0,2} = 800-1100$ МПа; относительное удлинение $\delta = 15-20$ %; относительное сужение $\psi = 50-80$ %; ударная вязкость $KCV = 1,5-3$ МДж/м², твердость в пределах 1500...2000 МПа [1, 2].

Таким образом получаем сталь, обладающую высокой твердостью, высокой прочностью и высокой пластичностью. Высокий уровень эксплуатационных и технологических свойств позволяет этим сталям занять нишу конструкционных сталей, но их недостаток – высокая стоимость. Преимущественно стали этого типа используются для изготовления тяжело нагруженных изделий, в том числе деталей с низкой чувствительностью к надрезам и трещинам. МСС зарекомендовали себя как особо надежные материалы для изготовления ответственных деталей. По свариваемости МСС превосходят широко используемые углеродистые легированные стали, они малочувствительны к образованию горячих и холодных трещин, не требуют предварительного нагрева основной детали. Это позволяет использовать стали как наплавочный материал, когда их расход незначителен, и они могут применяться для широкой номенклатуры машиностроительных деталей, рабочие поверхности которых требуют качественных характеристик, которые могут

обеспечить МСС, а именно высокие значения прочности, пластичности, повышенная стойкость к образованию горячих и холодных трещин, ударная вязкость, твердость и значительная температуростойкость.

Как указано в [3] снижение твердости и прочности у МСС начинается при температурах 500 – 550 °С, когда начинается коагуляция интерметаллидов. Следовательно, при шлифовании наплавленных и термообработанных поверхностей из МСС величина контактной температуры шлифования не должна превышать 550 °С. В этом случае не происходит коагуляция интерметаллидов, и прошлифованная поверхность сохраняет высокие механические свойства.

На практике используются два основных типа мартенситно-старяющих сталей: конструкционные, на основе никеля, и второй тип коррозионностойкие мартенситно-старяющие стали [1, 4]. Основной объем исследований выполнен на стали с содержанием никеля 18 % (Н18К9М5Т).

Цель работы – путем экспериментального исследования процесса шлифования наплавленного слоя мартенситно-старяющей стали кругами из КНБ, установить закономерности изменения сил резания, контактных температур шлифования, напряжённого состояния поверхностного слоя. Определить допустимые режимы, при которых не происходит разупрочнения этого слоя.

В качестве материала для исследований выбрана мартенситно-старяющая сталь Н18К9М5Т и эльборовые шлифовальные круги. Экспериментальные исследования проводились с использованием методики планируемого эксперимента. Силы резания измерялись с помощью динамометра УДМ 50 по стандартной методике с последующей цифровой обработкой. Контактные температуры измерялись с помощью закладных малоинерционных микротермопар. Остаточные напряжения измерялись методом травления. Все аналоговые сигналы измерительных устройств оцифровывались и отображались на компьютере.

Выводы. 1. Установлено, что величина составляющей силы резания P_y при шлифовании кругами из КНБ может достигать величины 30 – 35 Н. Величина составляющей силы резания P_z может достигать величины 15 – 20 Н. Из режимов резания на силы в основном влияют глубина резания и подача. Из свойств круга твердость и зернистость (силы резания выше при шлифовании более мелкозернистыми кругами). 2. Контактная температура шлифования может достигать до 700-800° С, что может оказывать отрицательное влияние на состояние поверхностного слоя – снижение твердости и разупрочнение. На контактную температуру шлифования влияют все режимы обработки и характеристики кругов. 3. Величина остаточных напряжений после шлифования достаточно велика до 800 МПа, но образование трещин не наблюдается. 4. Для того чтобы поверхностный слой детали не имел дефектов после шлифования режимы обработки должны находиться в пределах: $v_{кр}$ – до 40 м/с; $v_{дет}$ до 10 м/мин, t до 0,03 мм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Интернет ресурс <http://mash-xxl.info/map/3726>.
2. Интернет ресурс <http://mash-xxl.info/info/383751>.
3. Гуляев А.П. Металловедение Альянс. Москва, 2011.
4. Биронт В. С. Теория термической обработки СФУ: ИЦМиЗ. – Красноярск, 2007. – 234 с.

Лищенко Н. В.

Одесская национальная академия пищевых технологий,
г. Одесса, Украина

Ларшин В.П.

Одесский национальный политехнический университет,
г. Одесса, Украина

НАУЧНЫЕ ГИПОТЕЗЫ В МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ

В соответствии с общим определением под научной гипотезой понимают научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной научной теорией [1]. Гипотеза относится к разряду проблемного и вероятного знания. Она имеет два толкования: в широком (догадка) и в узком (научная гипотеза) смысле слова [2]. Далее дана характеристика некоторых научных гипотез, которые могут получить дальнейшее развитие при изучении технологической системы зубошлифования и последующего управления операцией зубошлифования на станке с ЧПУ [3].

1. Гипотеза «past–present–future», в соответствии с которой любой процесс (операция) выполняется во времени – в прошлом, настоящем, будущем. Информация о структуре и параметрах операции в прошлом может быть учтена в настоящем и в будущем времени путём соответствующей коррекции. В этом смысле информация о выполняемой операции используется для управления этой операцией. Это позволяет сформулировать гипотезу «past–present–future» о преемственности во времени условий шлифования, позволяющую пересчитывать (корректировать) вчерашние (базовые) условия шлифования в сегодняшние (новые) условия.

Следствие гипотезы. Выбор режимов зубошлифования основан на коррекции базовых режимов, которые приняты на заводе, т.е. апробированы и используются. При этих базовых режимах параметры шлифуемых зубчатых колёс находятся в допуске, частота правки круга – оптимальная и нет прижогов. При смене шлифовального круга в настоящем и будущем времени режимы шлифования корректируют из условия поддержания, например, найденной ранее критической температуры T_{KP} . При этом предполагается, что выходные параметры технологической системы будут в допуске.

2. Гипотеза о постоянстве предельной величины $V'_{w\lim}$ (суммарный объём металла, удаляемый единицей активной ширины шлифовального круга) при разных эксплуатационных характеристиках абразивного инструмента и при оптимальных режимах шлифования, т.е. при $T_{KP} = \text{const}$. При одном и том же значении температуры T_{KP} правку шлифовального круга необходимо производить, когда параметр V'_w (specific material removal) накапливается до одной и той же

предельной величины $V'_{w\lim} = \sum_{i=1}^n V'_{wi}$. Т.е. шлифовальный круг будут править при

достижении одного и того же значения параметра $V'_{w\lim}$, как и в прошлом отлаженном производстве (независимо от характеристик инструмента). При этом число правок и количество прошлифованных впадин зубчатого колеса между правками шлифовальных кругов будут разными. Но производительность съема припуска Q'_w (specific material removal rate) будет выше за счет увеличения глубины шлифования (при меньшей удельной работе) для поддержания постоянной величины $T_{кр}$. Температура $T_{кр}$ является критерием сравнения условий шлифования. При этом температура является фактором стойкости шлифовального круга и фактором прижообразования.

3. Гипотеза о теоретико-вероятностном подходе (theoretico-probabilistic approach) к объекту исследования – технологической системе зубошлифования. Параметры реального процесса, например операции шлифования, содержат две составляющие: детерминированную составляющую и стохастическую. Например: сигнал припуска (припуск – как параметр процесса шлифования) содержит систематическую и случайную компоненты, сигнал шероховатости содержит систематическую и случайную компоненты и т.п.

4. Гипотеза о частотном подходе (frequency approach) к объекту исследования. Любое изменение некоторого параметра во времени на ограниченном участке интервала времени (участок наблюдения) можно преобразовать без потери информации в соответствующие изменения суммы гармонических составляющих, имеющих разную частоту и фазу – текущий спектр параметра для указанного участка наблюдения.

5. Гипотеза о выборе режиме безприжогового шлифования в условиях неопределенной температуры прижообразования или как обеспечить безприжоговое шлифование, если $T_{кр}$ переменна. Так как критическая температура $T_{кр}$ переменна, то она находится в интервале изменения $T_{кр\min} < T_{кр} < T_{кр\max}$. При выборе режимов шлифования необходимо обеспечить $T_{кр\min}$, численное значение которого находят, например, экспериментально. После этого назначают доверительный интервал для величины $T_{кр\min}$, который имеет минимального значение $T_{кр\text{расч}}$. Причем $T_{кр\text{расч}} < T_{кр\min}$. Величина $T_{кр\text{расч}}$ участвует в расчетах и обеспечивает адаптацию технологической системы зубошлифования к более высокой производительности шлифования без прижогов. Но это будет не высокая в целом производительность, которая подходит для финишного третьего этапа зубошлифования. На втором переходном этапе доверительный интервал на $T_{кр\min}$ уменьшают или вообще не учитывают. При этом «подушкой безопасности» является припуск на третий этап. На первом этапе расчетную температуру принимают, например, $T_{кр\max}$. При этом «подушкой безопасности» является сумма припусков на второй и третий этапы. Таким образом, это будет гарантированное безприжоговое шлифование на третьем этапе, в то же время

вероятность возникновения прижогов на первом и втором этапах имеется, как и соответствующие «подушки безопасности», которые обеспечивают отсутствие прижогов на окончательно обработанной поверхности детали.

6. Гипотеза об определенности управляющей программы в условиях неопределенности зоны контакта. Бесконечное число непредсказуемых конфигураций зоны контакта в виду отсутствия соответствующей информации в реальном времени об этой конфигурации требует соответствующего бесконечного количества управляющих программ, что создает неопределенность в управлении зубошлифовальным станком с ЧПУ. Количество ситуаций расположения профиля шлифовального круга относительно профиля впадины зубчатого колеса является достаточно большим. Все эти ситуации, характеризуют неполнопрофильный контакт, который по сравнению с полнопрофильным контактом являются менее теплонапряженными. Так поступают при разработке встроенных подсистем проектирования, мониторинга и диагностики операции зубошлифования. Температуру и интенсивность шлифования находят для ситуации полнопрофильного контакта как самого теплонапряженного. Как это можно учесть в подсистемах проектирования, мониторинга и диагностики? Учитывают некую идеальную ситуацию для определения управляющей программы – симметричные неполнопрофильный и полнопрофильный контакты.

7. Гипотеза об идентификации участков зоны контакта, в которых может быть найдена температура зубошлифования по одномерному решению дифференциального уравнения теплопроводности, когда тепловой источник является быстродвижущимся (число Пекле больше 4). Указанным одномерным решением можно пользоваться для определения температуры в центре нескольких участков поверхности эвольвентного профиля впадины. Например, в верхней, средней и нижней частях эвольвентного профиля. Число этих участков должно быть минимальным и достаточным, например, не больше трех. Условие параллельности векторов теплового потока имеет место при наличии «достаточной» по площади поверхности с переменной плотностью теплового потока, которую можно охарактеризовать средним его значением (mean value). Очевидно, что это условие наиболее полно выполняется в точке зоны контакта, которая равноудалена от краев этой зоны (equidistant from the edges of this zone). Правомерность данной гипотезы возрастает с увеличением осевой подачи (скорости детали) при профильном зубошлифовании.

8. Гипотеза об оптимальном числе измерений припуска по периферии зубчатого колеса. С уменьшением числа измерений время измерения уменьшается, но при этом возрастает основное время в связи с отводом шлифовального круга от заготовки на некоторое расстояние, которое является «подушкой безопасности». Значит, существует оптимальное число измерений припуска (пример технологического противоречия).

9. С увеличением Q'_w (specific material removal rate) переменная часть штучного времени уменьшается. Однако с увеличением Q'_w температура увеличивается. Другими словами, с увеличением Q'_w производительность увели-

чивается – положительная тенденция, температура растет – отрицательная тенденция. Следовательно, существует оптимальная величина Q'_{wopt} , при которой шлифовальный круг должен проработать требуемое время между правками (пример технологического противоречия). Здесь возможны две интерпретации. Первая интерпретация. При улучшенных характеристиках шлифовального круга (удельная работа меньше) интервал между правками круга уменьшается. Но при этом количество правок круга на одну обработанную деталь остаётся таким же. Вторая интерпретация: при улучшенных характеристиках шлифовального круга производительность съема припуска Q'_w возрастает, но интервал между правками круга уменьшается. Например, при смене круга, когда изменилась удельная работа, например, стала меньше, и при $V'_{\text{wlim}} = \text{const}$ число впадин и число рабочих ходов между правками шлифовального круга стало меньше. Параметр V'_{wlim} набирается быстрее, т.к. параметр V'_w на каждый рабочий ход стал больше (вертикальная глубина шлифования стала больше при постоянной осевой подаче). Количество правок круга на одну деталь осталось таким же.

10. Гипотеза об адаптации технологической системы к более высокой производительности за счет уменьшения основного времени. Критерием адаптации является критическая температура T_{KP} . Для каждого шлифовального круга подбирают режимы шлифования исходя из поддержания критической температуры (температура с некоторым запасом по отношению к температуре, при которой образуется прижог). Если удельная работа шлифования меньше, то появляется возможность увеличить вертикальную глубину при постоянной осевой подаче. Тогда основное время шлифования будет меньше. При этом глубину назначают из условия обеспечения постоянной температуры T_{KP} .

11. Гипотеза об адаптации технологической системы к более высокой производительности за счет уменьшения оперативного времени. За счет сокращения числа измерений время измерения (одна составляющая переменной части штучного времени) уменьшается, а основное время увеличивается за счет увеличения максимального припуска, который определяют, например, по разработанным моделям. При этом переменная часть штучного времени, и она же переменная часть оперативного времени, уменьшается.

12. Гипотеза об адаптации технологической системы к более высокой производительности за счет устранения «шлифования воздуха» не требует пояснения.

13. Гипотеза об адаптации технологической системы к более высокой производительности за счет сокращения числа правок и переменного интервала правки шлифовального круга не требует пояснения.

14. Гипотеза об адаптации технологической системы к более высокой производительности за счет изменения структуры технологической системы. Переход от одностаночной технологической системы до многостаночной (например, один станок с ЧПУ, имеющий измерительную систему для определения припуска, другие – обычные) за счёт правильного распределения функций станков, входящих в состав многостаночной технологической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Словарь иностранных слов / Под ред. И.В. Лехина, С.М. Локшиной, Ф.Н. Петрова (гл. ред.) и Л.С. Шаумяна. Изд. 6-ое, перераб. и доп. – М.: Изд-во «Советская Энциклопедия», 1964. – 784 с.
2. Кондаков Н.И. Логический словарь / Н.И. Кондаков. – М.: Наука, 1971. – 656 с.
3. Larshin V.P, Lishchenko N.V. Adaptive profile gear grinding boosts productivity of this operation on the CNC machine tools. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.

Лищенко Н. В.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна

Ларшин В. П.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

Ковальчук О. М., Нежебовський В. В.

ПАТ «ХМЗ» Світло шахтаря» м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОСТІ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Поява нового абразивного інструменту пов'язано з необхідністю експериментального виявлення його експлуатаційної характеристики. Це в повній мірі відноситься до нового абразивного інструменту фірми «BEST-BUSINESS a.s.» (Чехія). Дослідження теплонапруженості процесу зубошліфування шліфувальними кругами нових характеристик відрізняється високою трудомісткістю у зв'язку з впливом на температуру шліфування великої кількості факторів і нестійкістю температури, при якій утворюється припик. Тому етапу таких досліджень при зубошліфуванні на верстаті з ЧПК передували додаткові експериментальні дослідження при плоскому шліфуванні спеціально виготовлених зразків зі сталі 12Х2Н4А після цементації і загартування до HRC 58-60 [1, 2].

Припик визначали шляхом порівняння зразків, при шліфуванні яких фактична глибина шліфування була одна і та ж. При $t_n = 30$ мкм це зразки наступні (рис.1, а): 6 (бічна поверхня), 8 (бічна поверхня), 10 (верхня поверхня). При $t_n = 50$ мкм (рис.1, б): 7 (верхня площина), 9 (верхня площина), 11 (бічна поверхня). Встановлено наступне:

1) при лімбовій глибині $t_n = 30$ мкм звичайний шліфувальний круг А99В60Кs8VC40 припікає найбільше, а рубін-корундовий круг А9860I9V припікає найменше (рис.1, а);

2) при лімбовій глибині $t_n = 50$ мкм звичайний круг А99В60Кs8VC40 припікає найбільше, а рубін-корундовий круг А9860I9V і високопоруватий круг

A9960Js12V приблизно однаково (рис.1, б). В той же час при шліфуванні високопоруватим кругом A9960Js12V на поверхні виявлено хвилястість (рис.1, б).

Методика досліджень для встановлення впливу швидкості деталі при постійній глибині шліфування $t_n = 80$ мкм на параметри t_ϕ , питому роботу шліфування A_{num} (табл.1, табл.2) і параметри шорсткості $R_{a\text{позд.}}$, R_{an} (табл.3) при шліфуванні високопоруватим кругом наступна: 1) правка круга, підготовка поверхні зразка під робочий хід шліфуванням з поперечною подачею при вертикальній глибині шліфування 0,01 мм до повного торкання кругом оброблюваної поверхні; 2) здійснення робочого ходу на заданому режимі шліфування з одночасним виміром потужності шліфування; 3) повторення досліду 2 рази.

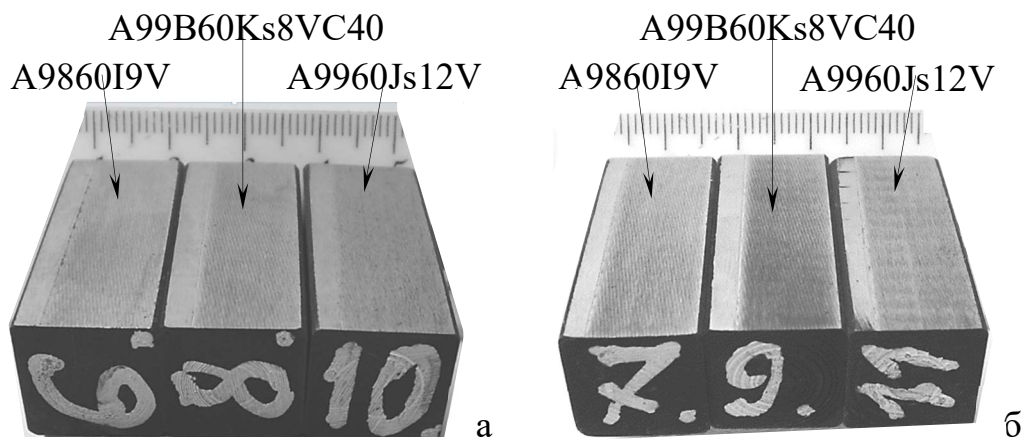


Рисунок 1. – Зразки 6, 8, 10 при $t_n = 30$ мкм (а) і 7, 9, 11 при $t_n = 50$ мкм (б)

Таблиця 1 – Результати вимірів і розрахунку параметрів шліфування

Номер зразка	V_ϕ , м/хв	b , мм	t_ϕ , мкм	P , Вт	Q'_w , мм ³ /(мм·с)	Q_w , мм ³ /с	A_{num} , Дж/мм ³
13 верх	3,29	10,5	88,3	1080,97	4,84	50,82	21,3
13 біч		10,5	100,3	1049,3	5,5	57,75	18,2
12 верх.	8,2	10	81,3	1635,7	11,1	111	14,74
12 біч.		10,5	78,5	1283,85	10,73	112,7	11,4
14 верх.	25,3	10	39	665,7	16,45	164,5	4,05
14 біч.		10,5	41	773,5	17,3	181,65	4,3

Таблиця 2 – Усереднені результати вимірів і розрахунку параметрів

Номер зразка	V_ϕ , м/хв	b , мм	t_ϕ , мкм	P , Вт	Q'_w , мм ³ /(мм·с)	Q_w , мм ³ /с	A_{num} , Дж/мм ³
13 верх	3,29	10,5	88,3	1080,97	4,84	50,82	21,3
13 біч		10,5	100,3	1049,3	5,5	57,75	18,2
12 верх.	8,2	10	81,3	1635,7	11,1	111	14,74
12 біч.		10,5	78,5	1283,85	10,73	112,7	11,4
14 верх.	25,3	10	39	665,7	16,45	164,5	4,05
14 біч.		10,5	41	773,5	17,3	181,65	4,3

Таблиця 3 – Параметри шорсткості поверхні

Номер зразка	V_o , м/хв	$R_{a\text{позд.}}$, мкм	$R_{a\text{позд.}}$, мкм (середнє)	R_{an} , мкм	R_{an} , мкм (середнє)
13 верх	3,29	1,47	1,3025	1,32	1,325
13 біч.	3,29	1,135		1,33	
12 верх.	8,2	1,37	1,329	1,31	1,401
12 біч.	8,2	1,29		1,49	
14 верх.	25,3	1,54	1,43	1,435	1,445
14 біч.	25,3	1,32		1,454	

Висновки.

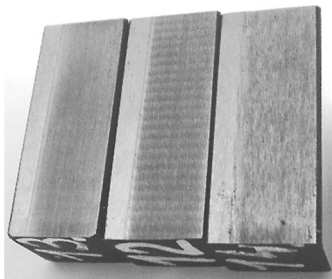
1. Зі збільшенням V_o фактична глибина t_ϕ зменшується (збільшуються віджаття круга).

2. Зі збільшенням V_o усереднені параметри шорсткості $R_{a\text{позд.}}$ і R_{an} збільшуються.

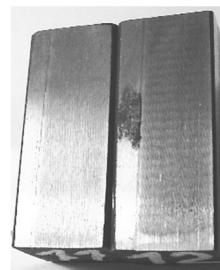
3. На середній швидкості з'являється хвилястість і на максимальній швидкості хвилястість збільшується, шаг хвилі збільшується (рис.2, а).

4. Припіки спостерігаються на всьому інтервалі швидкостей (рис.2, а).

5. Зі збільшенням глибини шліфування від 50 до 80 мкм (зразки 11 і 12 на рис. 2, б при швидкості $V_o = 8,2$ м/хв припік збільшується (визначено за кольором)).



а



б

Рисунок 2. – Зразки 13 бік, 12 бік, 14 бік (а) і 11 верх, 12 верх (б)

ЛІТЕРАТУРА

1. Ларшин В.П. Испытания высокопористого шлифовального круга / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, С.В. Рябченко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы международной научн.-техн. конф. 20-22 сентября 2017 года, Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2017. – С. 84-88.

2. Лищенко Н.В. Зубошлифование высокопористыми кругами на станке с ЧПУ / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, А.Н. Ковальчук, В.В. Нежебовский // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы международной научн.-техн. конф. 20-22 сентября 2017 года, Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2017. – С. 88-92.

Ляшенко Б. А.
Институт проблем прочности им. Писаренко Г.С.,
НАН Украины, г. Киев, Украина
Самотугина С. С.
ГВУЗ “Приазовский государственный
технический университет”, г. Мариуполь, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО БЕЛОГО ЧУГУНА ПЛАЗМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Перспективным направлением развития современного производства является внедрение интенсивных технологий упрочнения материалов высококонцентрированными источниками нагрева (ВКИН) – лазерным и электронным лучами, плазменной струей. Из указанных методов применительно к массивным деталям и инструменту (например, прокатным валкам) определенным преимуществом обладает плазменная обработка [1]. В настоящее время хорошо изучены особенности закалки ВКИН углеродистых сталей с мартенситным механизмом упрочнения поверхности при фазовых превращениях в твердом состоянии. В то же время, при обработке ВКИН чугунов многие вопросы остаются невыясненными [2]. Практически отсутствуют работы по исследованию эффективности поверхностного модифицирования таких новых конструкционных материалов, как литые белые чугуны с ледебуритной основой. Такие материалы в работе [3] предложено называть естественными дисперсно-упрочненными композиционными материалами на базе сталей и чугунов ледебуритного класса.

Для оценки влияния плазменного поверхностного модифицирования на механизмы структурообразования и параметры динамической трещиностойкости проводились испытания образцов стандартных размеров $10 \times 10 \times 55$ мм с расположением модифицированной зоны посередине одной из боковых граней. По методике, изложенной в работе [1], определяли ударную вязкость КС и динамический коэффициент интенсивности напряжений K_{ID} . Исследования проводили на литом белом высокохромистом чугуне (наплавленный металл) – 300X25H3C3, полученном наплавкой лентой ПЛ-АН-101 под флюсом АН-15М. Исследовано три типа образцов: I – исходное состояние, II – плазменное модифицирование без оплавления поверхности, III – плазменное модифицирование с микрооплавлением – как метод получения наиболее дисперсной структуры [4]. Параметры режимов плазменной обработки выбирали в соответствии с рекомендациями работы [5].

На испытанных образцах проводили замеры твердости HV, металлографический анализ структуры и фрактографический анализ изломов методами оптической и растровой электронной микроскопии. Результаты замеров и испытаний приведены на рис. 1 и в табл. 1.

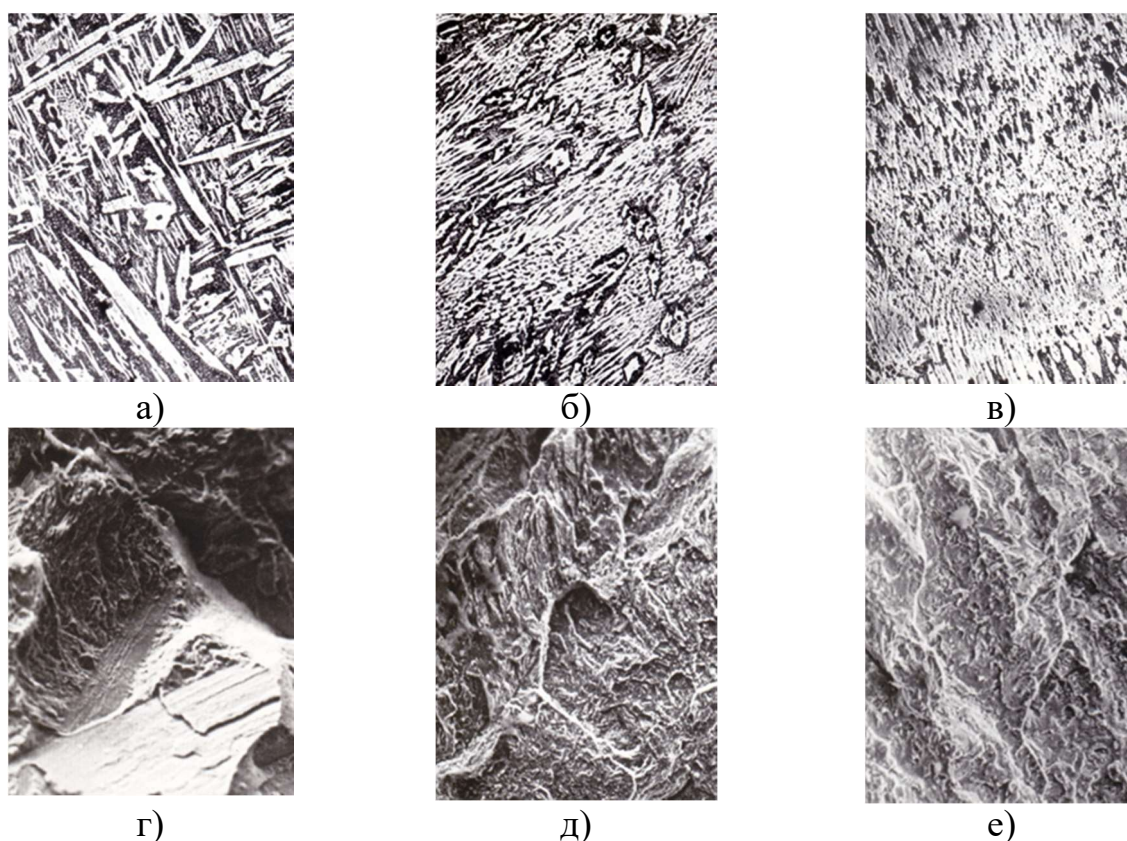


Рисунок 1. – Структура (а-в) и характер разрушение (г-е) белого чугуна 300X25H3C3 – в исходном состоянии (а, г), после плазменного модифицирования без оплавления (б, д) и с микрооплавлением (в, е) $\times 500$

Таблица 1 – Твердость и параметры динамической трещиностойкости белого чугуна 300X25H3C3

Тип образцов	Твердость HV	Ударная вязкость КС, МДж/м ²	K _{ID} , МПа $\cdot\sqrt{м}$
I	540-555	0,035	8,1
II	905-915	0,044	8,3
III	930-945	0,048	8,7

Исследованиями установлено, что в исходном состоянии (после наплавки) структура чугуна 300X25H3C3 состоит из крупных включений карбидов (Fe, Cr)₇C₃, эвтектики (смеси α -фазы с высокодисперсными карбидами) и остаточного аустенита (рис. 1,а). Разрушение такого металла происходит по смешанному механизму – интеркристаллитный скол по границам крупных карбидов и квазискол по эвтектике (рис. 1,г). При плазменном модифицировании без оплавления происходит частичное растворение первичных карбидов по механизму контактного плавления [16], насыщение аустенитной основы углеродом и хромом, что в процессе последующего $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения при быстром охлаждении сопровождается интенсивным дисперсионным твердением и насыщением матрицы высокодисперсными частицами вторичных карбидов. Оставшиеся первичные карбиды имеют оплавленные края и не образуют сплошного скелета (рис. 1,б). Разрушение в модифицированном слое происходит по смешан-

ному микромеханизму – квазискол по высокодисперсной матрице и интеркристаллитный скол по границам не до конца растворившихся первичных карбидов (рис. 1,д).

При плазменном модифицировании чугуна 300Х25Н3С3 с микрооплавлением образуется ультрадисперсная ячеистая структура (рис. 1,в). Из-за чрезвычайно высокой скорости охлаждения (порядка 10^6 °С/с [1]) происходит образование плоского фронта зерен. Такую структуру принято называть тонким конгломератом фаз [6]. Разрушение в зоне микрооплавления происходит по микромеханизму высокодисперсного квазискола (рис. 1,е). Твердость белого чугуна с достаточно высоких значений (HV550) повышается почти в 2 раза, особенно при микрооплавлении. И при этом происходит не снижение, а увеличение трещиностойкости K_{IC} и K_{ID} (табл. 1).

Таким образом, исследования показали, что эффективным методом дополнительного упрочнения наплавленного высокохромистого чугуна является плазменное модифицирование с микрооплавлением поверхности. В этом случае происходит полное (а не частичное, как при обработке без оплавления) растворение первичных карбидов, являющихся основным структурным фактором упрочнения такого наплавленного металла. Что создает предпосылки для реализации при модифицировании на стадии охлаждения дисперсионного твердения и насыщения матрицы вторичными карбидами. Из-за чрезвычайно высокой скорости охлаждения выделяются ультрадисперсные вторичные карбиды. Таким образом, в модифицированной зоне образуется уже новый материал – с ультрадисперсной структурой – т.н. тонкий конгломерат фаз. Критерием полноты протекания указанных процессов является качественное изменение механизма разрушения – переход от интеркристаллитного скола по границам первичных карбидов (рис. 1,г) к квазисколу (рис. 1,е). Это приводит к повышению параметров трещиностойкости (табл. 1). Причем, энергетический параметр K_{IC} повышается в значительно большей степени (в 1,37 раза), чем силовой K_{ID} (в 1,07 раза), что объясняют качественным изменением механизма разрушения.

Наплавленный металл типа белого высокохромистого чугуна ранее применялся для восстановления и упрочнения изделий, подверженных интенсивному изнашиванию. Однако, из-за очень высокой хрупкости и растрескивания (зачастую, еще в процессе наплавки) в последнее время он вытесняется более дорогими композиционными сплавами. Как показали исследования, эффективным методом повышения трещиностойкости такого наплавленного металла и почти 2-кратного повышения твердости является плазменное поверхностное модифицирование с микрооплавлением поверхности. Комплексную технологию, включающую наплавку высокохромистых сплавов и последующую плазменную обработку, можно рекомендовать для широкого круга крупногабаритных изделий, подверженных интенсивному абразивному изнашиванию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самотугин С. С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С. С. Самотугин, Л. К. Лещинский // Донецк: Новый мир, 2002 – 338 с.

2. Сафонов А. Н. Особенности лазерной закалки поверхности графитизированных сталей и чугунов / А. Н. Сафонов // Вестник машиностроения. – 1999. – №4.

3. Доронин И. В. Структура естественных дисперсно-упрочненных композиционных материалов на базе сталей ледебуритного класса / И. В. Доронин, В. И. Булавин, В. И. Антипов // Физика и химия обработки материалов, 1991. – С. 141–143.

4. Самоутугин С. С. Плазменное микро- и наноструктурирование поверхности инструментальных сталей // С. С. Самоутугин, В. А. Мазур. – Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – №4. – С. 29–37.

5. Самотугина С. С. Выбор оптимальных режимов плазменного поверхностного упрочнения деталей металлургического оборудования из высокопрочного чугуна/ С. С. Самотугина, Е. И. Иванов, Б. А. Ляшенко // Металл и литье Украины. – 2005. – №7–8. – С. 79–83.

6. Леонтьева П. А. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов / П. А. Леонтьева, Н. Т. Чеканова, М. Г. Хан // М.: Металлургия. – 1986. – 142 с.

Малыхин В.В., Гайдаш Н.М., Артеменко Ю.А
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия
Новиков Ф.В.

Харьковский национальный экономический
университет имени Семена Кузнеца, г. Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИМИ НАПЛАВОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

В настоящее время в машиностроении широко применяется восстановление изношенных деталей износостойкими наплавочными материалами. Как показывает практика, механическая обработка таких деталей протекает с высокой силовой напряженностью, что резко снижает точность и производительность обработки. Необходимо отметить, что вопросам обработки деталей, восстановленных износостойкими наплавочными материалами, в научно-технической литературе постоянно уделяется большое внимание в связи с их широким применением [1].

Одним из основных методов обработки упрочненных наплавленных поверхностей является шлифование многопроходное или глубинное. Однако, при шлифовании наплавочных материалов повышенной твердости (HRC 60 и более) возникает ряд сложных проблем, связанных с относительно низким качеством и

производительностью обработки. Это обусловлено тем, что восстановленная износостойким наплавочным материалом деталь характеризуется наличием на ее поверхности значительных выступов и впадин. В конечном итоге это затрудняет ее обработку в связи с необходимостью съема неравномерного припуска, вызывающего колебания в технологической системе, интенсивные динамические нагрузки и повышенную силовую и тепловую напряженность процесса шлифования. Поэтому совершенствование технологии шлифования наплавочных материалов имеет важное и актуальное значение.

Теоретически 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. Основное время обработки определяется в этом случае по зависимости [3]:

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

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 упругого перемещения, возникающего в технологической системе, м; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; 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; $V_{дет}$, $V_{кр}$ – скорости вращения детали и круга, м/с; t – номинальная глубина шлифования, м; y_0 – заданная погрешность обработки (после выхаживания), определяемая величиной упругого перемещения в технологической системе, м.

В случае $\Pi \gg y_{уст}$ (где Π – величина снимаемого припуска, м) целесообразно использовать цикл шлифования, показанный на рис. 1,б. 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. 2): 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 $Q_{ном}$.

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). 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.

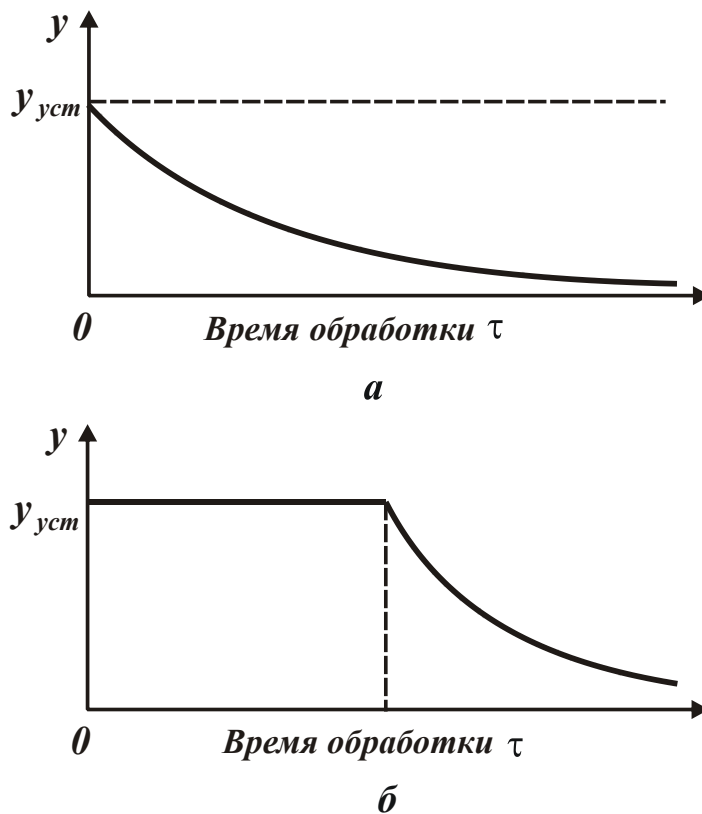


Рисунок 1 – Зависимость y от τ для оптимального цикла шлифования (а) и для цикла шлифования, включающего этапы чернового шлифования и выхаживания (б)

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. Это позволит повысить производительность обработки.

Для оценки рассмотренных выше способов шлифования были изготовлены контрольные образцы путем аргонодуговой наплавки неплавящимся электродом с одновременной подачей износостойкой присадки. В каждом опыте в качестве присадки использовались порошковые проволоки, обеспечивающие получение сплавов-представителей различных классов микроструктур.



Рисунок 2 – Структурная схема условий повышения производительности обработки

При выборе марок порошковых проволок руководствовались следующими требованиями:

- 1) твердость наплавленного слоя должна быть не менее 55÷65 HRC без дополнительной термообработки;
- 2) порошковая проволока должна быть самозащитной;
- 3) порошковая проволока не должна содержать большое количество дефицитных легирующих элементов.

Характеристики использованных сплавов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения о сплавах – представителях

№ пп	Марка порошковой проволоки	Тип наплавленного металла	Микроструктура	Твердость HRC
1	ПП АН-122	<u>30X5Г2СМ</u>	Мартенсит	50-56
2	ПП АН-125	200X15С1ГРТ	Эвтектика + аустенит (20 – 30 %)	50-58
3	ПП-АН135	250X10Б8С2Т	Эвтектика (А+ NbС)	50-58
4	ПП-АН170	80X20Р3Т		58-65
5	ПП-АН170 + добавка силикокальция СК-30 (1%)	80X20Р3Т (модифицировано кальцием)	Эвтектика + первичные карбобориды Квазиэвтектика с минимумом первичных фаз	55 - 62

Первые четыре сплава являются серийными. В последнем сплаве добавлен силикокальций СК-30 в качестве модификатора II рода, способствующего подавлению роста первичной карбоборидной фазы и получению квазиэвтектики, отличной по составу и морфологии от не модифицированной эвтектики [4].

Испытания проводились в следующей последовательности.

1) Заготовка Ø50×200 из Стали 45 обтачивалась резцом до полного удаления окалины.

2) Проводилась аргонодуговая наплавка вольфрамовым электродом с одновременной подачей присадки (табл.1). Режим наплавки подбирался из расчета получения наплавленного слоя толщиной 2,0 мм.

3) Выполнялось шлифование на круглошлифовальном станке мод. 3М150 алмазным кругом ПП 400×127×20 АС6 125/100 М2-1 4 по двум схемам: многопроходное и глубинное. Эффективность шлифования оценивалась величинами производительности и шероховатости обработанной поверхности, измеряемой профилометром.

Результаты испытаний приведены на рис. 1

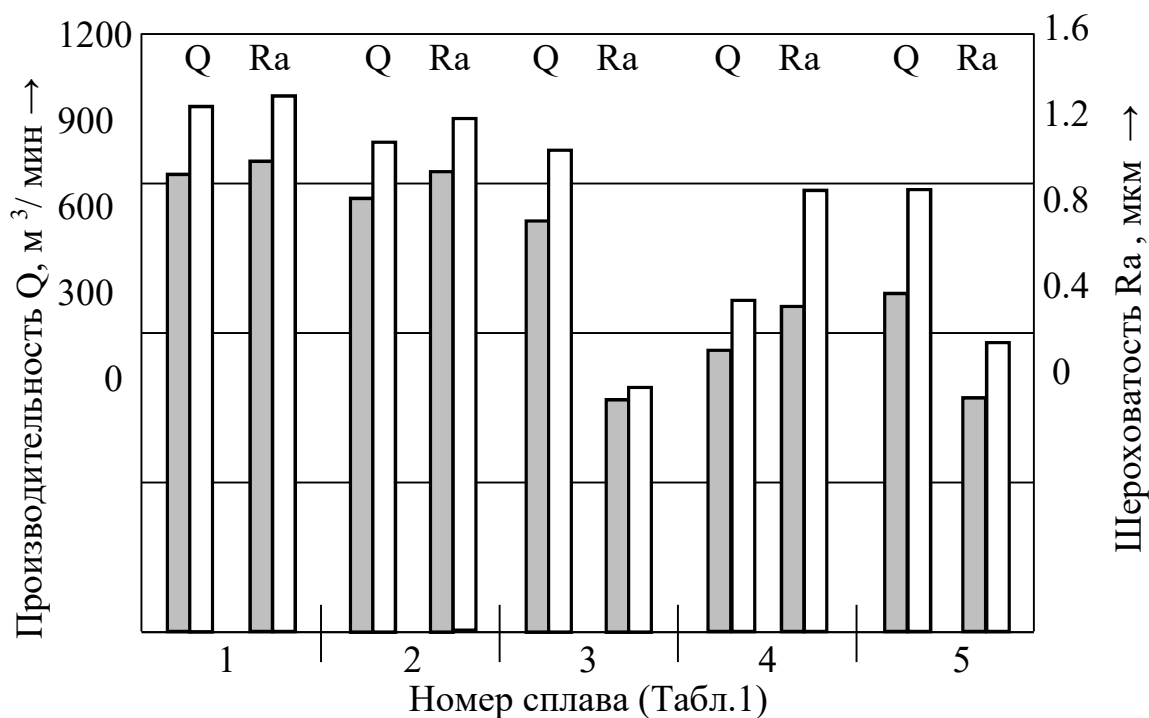


Рисунок 1. – Результаты испытаний

■ – многопроходное шлифование; □ – глубинное шлифование

Было установлено, что производительность рассматриваемых способов шлифования имеет прямую корреляцию с твердостью испытываемых сплавов, а шероховатость – обратную.

Глубинное шлифование позволяет для всех групп износостойких сплавов повысить производительность в пределах (15÷35) %. Наибольший эффект от его применения достигается для сплавов с твердостью, близкой к HRC 60 (сплав № 5).

На шероховатость большое влияние помимо твердости оказывает микроструктура наплавленного металла. Наличие крупных твердых первичных фаз (карбидов, карбоборидов) существенно увеличивает величину Ra (сплав 4). Наличие дендритов аустенита способствует увеличению склонности к схватыванию абразивных зерен с металлом и, как следствие, росту величины Ra (сплав 2). Это же относится к мартенситу (сплав 2).

Наиболее оптимальные результаты показали сплавы с эвтектической (сплав 3) и квазиэвтектической (сплав 5) микроструктурами. Это объясняется наличием дисперсных карбидных (карбоборидных) фаз.

Сплав 3 отличается также наличием особо тонкодисперсных карбидов ниобия NbC, равномерно распределенных по объему частиц аустенита в эвтектике. Для эвтектических сплавов характерна способность сохранять постоянство морфологии и химсостава фаз эвтектики даже при длительном отжиге [5], что способствует стабильности процесса шлифования на форсированных режимах.

Таким образом, в работе с единых позиций проведен теоретический анализ и экспериментальное исследование условий уменьшения величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе при механической обработке и определяющего параметры точности обработки. Теоретически обоснованы возможности достижения требуемой точности при обеспечении высокой производительности обработки при шлифовании и резании лезвийными инструментами, что открывает новые перспективы повышения эффективности механической обработки наплавленных контактных поверхностей ответственных деталей. Разработаны практические рекомендации по повышению эффективности обработки деталей, упрочненных износостойкими наплавочными материалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжов Э. В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – К.: Наук. думка, 1994. – 180 с.
2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... кандидата техн. наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения / Новиков Григорий Васильевич. – Харьков, 1989. – 210 с.
3. Новіков Ф.В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей: монографія / Ф.В. Новіков, І.О. Рябенков. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.
4. Артеменко Ю. А. Моделирование процессов модифицирования износостойких наплавочных сплавов / Ю. А. Артеменко, Е. В. Рыжков, Н. С. Болотин // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – №2. – С. 9-11.
5. Сомов А. И. Эвтектические композиции / А. И. Сомов, М. А. Сомов. – М.: Металлургия, 1975. – 304 с.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

Деталі, які поступають на шліфувальний верстат після термічного оброблення, можуть мати поверхневий шар, покритий окалиною. В результаті механічного контакту з цим шаром відбувається підвищене зношення контактних наконечників вимірювального оснащення. Тому цикл шліфування необхідно планувати таким чином, щоб вимірювальні наконечники входили у контакт із деталлю лише після зняття деякого початкового шару металу, а сама поверхня не мала яскраво виражених дефектів – тріщин, сколів, раковин тощо.

Попередні теплові деформації. За умов масового виробництва заготовки на викінчувальне оброблення часто поступають безпосередньо з токарної або чорнкової шліфувальної операції. Оброблення на цих операціях виконується з інтенсивними режимами різання і, відповідно, зі значним теплоутворенням. Деталі не встигають пройти процес температурної стабілізації. Залишкові температурні деформації теж можуть збільшити похибку оброблення на чистовому викінчувальному шліфуванні [5].

Похибки форми заготовки. Некруглість механічно оброблених деталей може виникнути в результаті дефектів підшипників шпинделя токарного верстату або шліфувального шпинделя та з цілого ряду інших причин. Правильність форми та діаметр є двома окремими характеристиками, але правильність форми, а точніше некруглість, виявляє практичний вплив на вимірювання діаметру та може дати хибний результат при вимірюванні [5], а отже, впливати на дійсний розмір деталі під час її виготовлення. Під вимірним діаметром приймають “діаметр”, вимірний між парою паралельних поверхонь, наприклад, робочими поверхнями мікрометра або калібра-скоби.

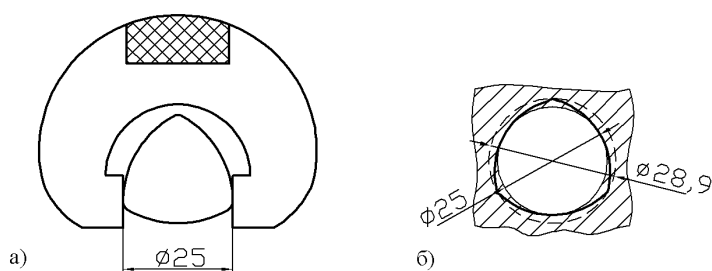


Рисунок 1 – Схема контролю розміру вала з трьохсторонньою огранкою (а) і реального співвідношення розмірів отвору і вала (б)

огранкою (рис.1,а) вимірний діаметр становить точно 25 мм, тому можна очікувати, що вона пройде в отвір діаметром 25 мм. Фактично ж цього не відбувається: необхідно отвір діаметром 28,9 мм (рис.1,б).

Таким чином, ефективний розмір для цих двох деталей складає: 28,9 мм для вала і 21,1 мм для отвору, хоча при вимірюванні діаметр обох становить 25 мм.

Подібне розходження між вимірним та дійсним розмірами деталі спостерігається за будь-якої непарної кількості граней (рис.2), тому відхи-

лення форми деталі може суттєво впливати на її розмір, вимірюваний звичайним методом. Визначення правильності форми вимагає вимірювання непостійності – хвилястості, або виступів та впадин, і огранки, що виражається регулярно повторюваними нерівностями. Це особливо важливо для забезпечення необхідної точності, так як хвилястість та огранка є неодмінними атрибутами будь-якого верстатного оброблення. Некруглість механічно оброблених деталей може виникнути в результаті дефектів підшипників шпинделя токарного верстату або шліфувального шпинделя та з цілого ряду інших причин.

Кругла деталь у вигляді кільця затискається в трьох- або пятикулачковому патроні для шліфування або токарної обробки. Деталь стискається, і в точках механічного контакту в матеріалі виникають підвищені напруження.

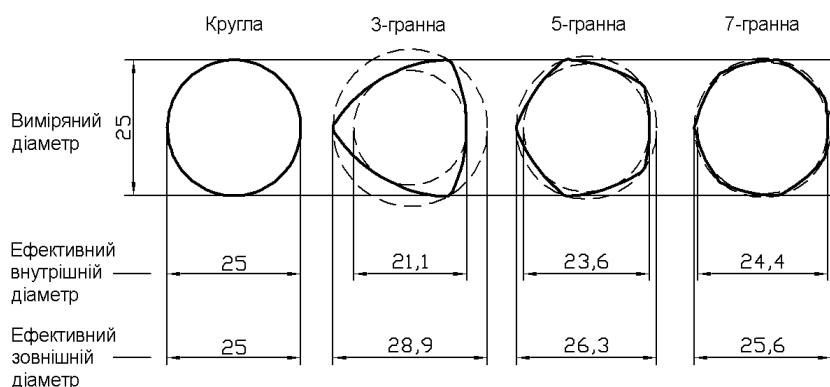


Рисунок 2 – Схема залежності розміру деталі від правильності форми

І навіть при ідеально правильній обробці точінням або шліфуванням, деталь після зняття її з верстату, в результаті релаксації напружень в металі, набуває огранки з числом граней за кількістю кулачків у патроні.

Похибки форми призводять до того, що поточний розмір (радіус або діаметр) в різних точках контуру поперечного перерізу деталі неоднакові [2].

Для аналітичного подання поточного розміру (радіуса) вводять полярну систему координат, полюс якої співпадає з центром профілю поперечного перерізу деталі. У цій системі координат положення довільної точки контуру поперечного перерізу буде визначатись полярним радіусом ξ_m і полярним кутом φ_m . Рівняння контуру поперечного перерізу деталі, яка має елементарний вид похибки форми, можна записати у вигляді:

$$\xi_{mk}(\varphi_m) = r_{cp} + x_k \cos(k\varphi_m + \psi_k), \quad (k = 2, 3, \dots, p), \quad (1)$$

де r_{cp} – радіус середнього кола, що визначається як середнє значення функції $\xi_{mk}(\varphi_m)$; x_k, ψ_k – амплітуда і фаза k -ої гармоніки, яка характеризує похибку форми.

Якщо $k = 2$, то другий доданок правої частини (1) відображає овальність, якщо $k = 3$ – огранку з трьохвершинним профілем, якщо $k = p$ – огранку з p -вершинним профілем.

Формула (1) придатна лише для розрахунку точності одиничного екземпляра деталі. Ця ж формула може бути покладена в основу аналізу точності партії деталей, які виготовляються за одним кресленням і одному технологічному процесу, що відповідає серійному їх виробництву. У цьому випадку перший доданок правої частини формули (1) можна розглядати як випадкову величину, а другий – у вигляді елементарної випадкової функції. Випадкова величина r_{cp} виражає похибку розміру, а елементарна випадкова функція

$x_k \cos(k\varphi_m + \psi_k)$ визначає похибку форми в поперечному перерізі – овальність або огранку. Аддіативна комбінація відхилень розміру та форми дає сумарну похибку поточного розміру в поперечному перерізі циліндричних поверхонь.

Змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР). Правильно підібраний для даного матеріалу, режиму оброблення і типу шліфувального круга хімічний склад ЗОР, що має змащувальні, охолоджувальні, миючі, проникаючі й адсорбційні властивості, дозволяє: знизити коефіцієнт тертя зв'язки шліфкруга й абразивних зерен із поверхнею оброблюваного матеріалу; знизити сили різання й температуру; зменшити засалюваність круга; зменшити зношування абразивних зерен та підвищити стійкість круга; збільшити моментне зняття металу й питому продуктивність шліфування; зменшити величину параметрів шорсткості обробленої поверхні; попередити припали на шліфованій поверхні; підвищити якість фізичного стану шліфованої поверхні – знизити величину залишкових напружень, глибину та ступінь наклепу, зберегти структуру й хімічний склад поверхневого шару.

Ефективність ЗОР необхідно враховувати під час побудови циклу оброблення [6]. Потік охолоджувальної рідини повинен забезпечити максимальний відвід тепла та мінімальні теплові деформації деталі. ЗОР повинна поступати не лише в зону різання, але й на всю поверхню деталі. Особливо важливо дотримуватись цієї вимоги, коли обробляються тонкостінні або несиметричні деталі.

Важливе значення під час роботи відіграє якість очищення ЗОР. Потрапляння твердих частинок погіршує якість оброблюваної поверхні. Ці частини можуть потрапляти під наконечник вимірювального перетворювача за контактних вимірювань, що призводить до спотворення результатів контролю. Це проявляється, коли використовуються прилади з невеликим вимірювальним зусиллям.

Шліфувальні круги. До абразивного інструменту, що використовується на шліфувальних верстатах, висуваються високі й різносторонні вимоги. Від робочих характеристик і властивостей круга залежить якість і економічна ефективність процесу оброблення [4]. На графіку (рис. 3) наведено результати зміни відхилень розмірів валів, прошліфованих методом врізання, залежно від затуплення круга. Для високоточного шліфування цикл оброблення будується таким чином, щоб на момент закінчення виходжування або доводочної подачі силові й теплові деформації в системі були мінімальними, швидкість зміни розміру оброблюваної деталі також була мінімальною і залишалась незмінною від однієї деталі до іншої. В іншому випадку різниця в силових і теплових деформаціях, а, відповідно, й у швидкості зміни розміру, призведе до збільшення похибки оброблення. З графіка (рис. 3) видно, що характер зміни відхилень розмірів між правками, як правило, підпорядковується певному закону. Після правки розміри валів найбільші, а зі зміною різальної властивості круга, зменшуються. Відновлення різальної властивості круга правкою зменшує величину похибки оброблення.

Внутрішньошліфувальні верстати працюють за циклом, у якому останній етап шліфування здійснюється часовим виходжуванням. Команда на виходжування подається приладом активного контролю розміру. За цією командою припиняється подача і включається реле часу, яке через задану часову витримку

ку видає команду на відведення круга. Зміна розміру за час виходжування залежить від різальних властивостей круга і від інтенсивності зняття металу перед включенням виходжування і може коливатись у великих межах. Циклу шліфування з часовим виходжуванням властиві значні похибки оброблення.

Підсумовуючи викладене можна зробити висновок, що технічні та метрологічні характеристики шліфувальних верстатів відіграють вирішальну роль у

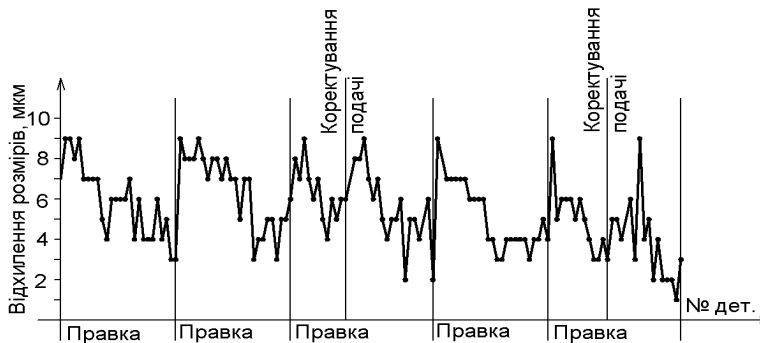


Рисунок 3 – Розсіювання розмірів валів залежно від затуплення круга

забезпеченні розмірної точності в процесі виготовлення кілець підшипників. Покращити ці характеристики або якимось чином вплинути на них під час експлуатації верстатів не можна, а необхідно виконувати періодичні ремонти та технічне діагностування верстатів на відповідність паспортним даним. Для

аналізу та планування точнісних параметрів технологічного процесу слід враховувати максимальні похибки, які можуть бути внесені обладнанням.

Важливе значення у формуванні розмірних параметрів відіграють призначені режими різання та їх дотримання у технологічному процесі та під час налагодження шліфувального обладнання. Розмірні відхилення можуть бути викликані не лише безпосереднім впливом елементів процесу оброблення, але й наслідком побічних чинників, наприклад, дефектами форми оброблюваних поверхонь – некруглості, хвилястості, огранки тощо. Важливий вплив на кінцевий результат мають параметри заготовки – форма поверхонь і, особливо, величина та постійність припуску, а також тривалість і послідовність переходів на викінчувальній операції – врізне чорнове й чистове шліфування, виходжування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении / Под ред. Г. Д. Бурдуна и С. С. Волосова. – М.: Машиностроение. 1975. – 276 с.
2. Марчук В. І. Відхилення форми поверхонь та їх вплив на розмірну точність тіл обертання / В. І. Марчук, В. Т. Михалевич // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). – Луцьк: ЛДТУ, 2008. – Випуск 23. – С. 197–202.
3. Левин М. А. Прогнозирование параметров качества при механической обработке деталей / М. А. Левин. – Севастополь: НТО им. А. Н. Крылова, 1984. – 57 с.
4. Филимонов Л. Н. Стойкость шлифовальных кругов / Л. Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 134 с.
5. Марчук В. І. Корекція деформаційних похибок при управлінні точністю механічної обробки / В. І. Марчук, В. Т. Михалевич // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). – Луцьк: ЛДТУ, 2000. – Випуск 7. – С. 143–145.
6. Худобин Л. В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании / Л. В. Худобин. – М.: Машиностроение, 1971. – 211 с.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ

Для определения целесообразности перехода с используемого типа энергоносителя на другой тип или применения нескольких типов энергоносителей для отопления индивидуального строения (в том числе и энергоснабжение на базе возобновляемых источников) необходимо иметь данные по его тепловым потерям.

Наиболее достоверно тепловые потери индивидуального строения могут быть определены на основе фактических данных по потреблению используемых энергоносителей за определенный период. Они могут быть представлены в виде показаний приборов учета (например, газ, электроэнергия) или объема потребленного энергоносителя (например, мазут, уголь, дрова). Эти данные могут включать расходы энергоносителей как на отопление, так и на бытовые нужды. В конечном итоге, независимо от типа энергоносителя, данные об их расходе эквивалентируются и представляются в виде помесечного энергопотребления, например, как показано на рис. 1.

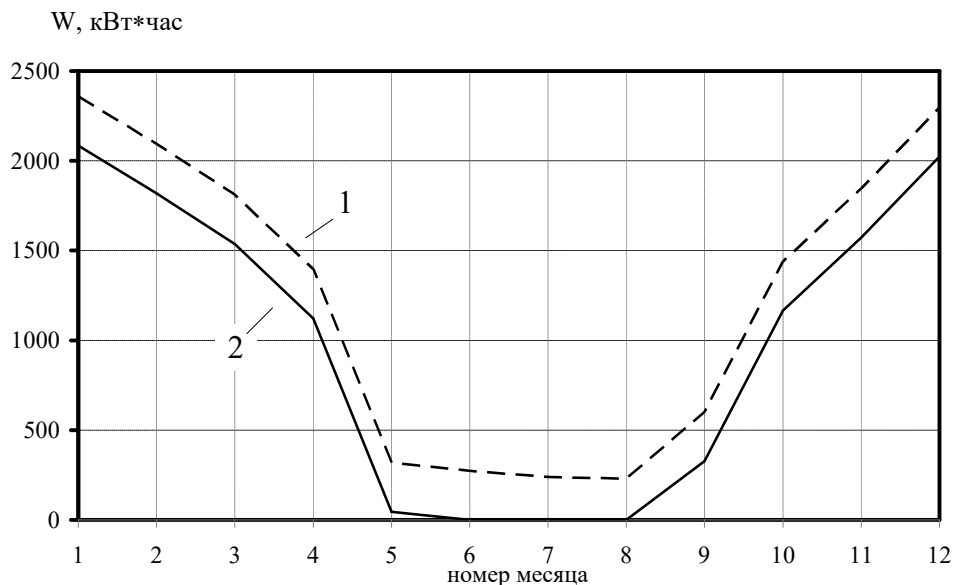


Рисунок 1. – Потребление энергии индивидуальным домом

На рис. 1 показано изменение потребления энергии, получаемой при сжигании газа: 1 – суммарная энергия W_1 , затраченная на отопление и бытовые нужды; 2 – энергия W_2 , расходуемая на отопление. Индивидуальный дом располагается в Харьковской области. Дом имеет многослойное утепление на основе пенопласта.

Суммарная энергия W_1 , определялась как максимальное значение из потребленной энергии за каждый месяц в период 2015 – 2017 гг.

Расчет производился при условии, что температура воздуха в помещении в отопляемый период равна $19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя температура наружного воздуха в течение месяца определялась по данным метеорологической службы (рис. 2).

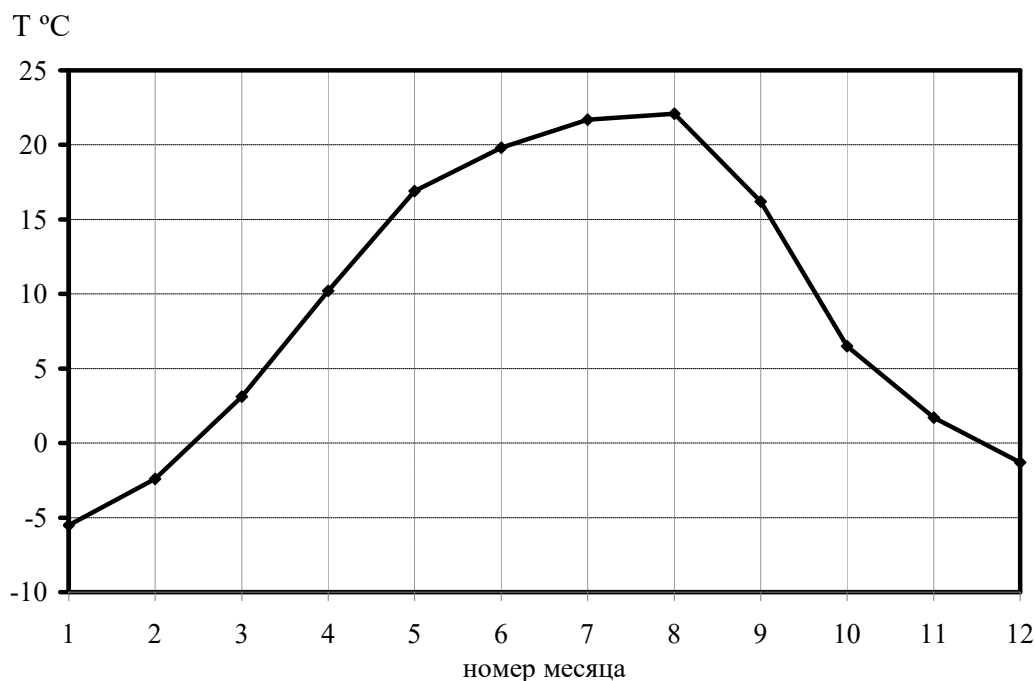


Рисунок 2. – Средняя температура наружного воздуха для Харьковской области

Энергия, используемая на бытовые нужды W_3 , определялась следующим образом. Определялся неотопляемый период из условия: если средняя температура наружного воздуха превышала $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, то данный месяц считался неотопляемым. Такими оказались только летние месяцы: июнь, июль и август. В эти месяцы естественно $W_2 = 0$. На основании W_1 этих месяцев определялось максимальное значение энергии, расходуемой на бытовые нужды W_3 .

Для месяцев, в которых производилось отопление индивидуального строения, энергия, расходуемая на отопление, определялась как

$$W_2 = W_1 - W_3.$$

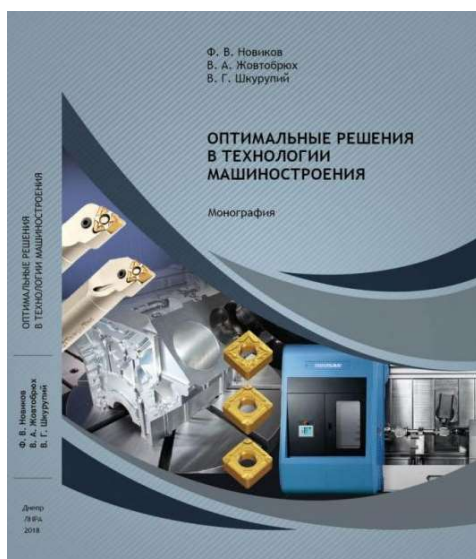
Приведенные в примере расчеты основаны на максимальных значениях энергии, расходуемой на отопление и бытовые нужды. При наличии базы данных по потреблению за продолжительный период возможно также статистическое моделирование тепловых потерь индивидуального строения.

Представленные материалы могут быть использованы при оценивании экономической целесообразности перехода на альтернативные (возобновляемые) источники энергоснабжения индивидуальных строений.

НОВЫЕ МОНОГРАФИИ О ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

В 2018 году в издательстве “Лира”, г. Днепр, вышли из печати три монографии, посвященные проблемам и дальнейшему развитию технологии машиностроения и механической обработки:

1. “Оптимальные решения в технологии машиностроения” (авторы: Новиков Ф. В., Жовтобрюх В. А., Шкурупий В. Г., объем 424 стр.);
2. “Технологии производства: проблемы и решения” (авторы: Новиков Ф. В., Жовтобрюх В. А., Дитиненко С. А., Крюк А. Г., Савченко Н. Ф., Шкурупий В. Г., Полянский В. И., Рябенков И. А., Новиков Д. Ф., объем 536 стр.);
3. “Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки ” (автор: Новиков Ф. В., объем 399 стр.).



В монографии “Оптимальные решения в технологии машиностроения” предложены новые теоретические подходы к установлению оптимальных решений в технологии машиностроения на операциях лезвийной и абразивной обработки, обеспечивающих повышение качества и производительности на основе применения современного металлорежущего оборудования и инструментов. Определены новые технологические возможности уменьшения температуры и силы резания при прерывистом и обычном шлифовании, в особенности при использовании кругов из синтетических сверхтвердых материалов. Обоснованы закономерности повышения отражательной способности оптических металлоизделий путем применения эффективных методов лезвийной и абразивной обработки, обеспечивающих существенное уменьшение микронеровностей на обрабатываемых поверхностях. Показана особо высокая эффективность

применения в этих условиях метода абразивного полирования. Даны практические рекомендации.

В монографии "Технологии производства: проблемы и решения" приведены результаты теоретических исследований и внедрения на предприятиях Украины прогрессивных технологий производства, разработанных участниками проводимых под руководством профессора Якимова Александра Васильевича в городе Харькове (на заводе "ФЭД") ежегодных Международных научно-практических конференций "Физические и компьютерные технологии". Показана важная роль научных технологических разработок в повышении эффек-



Якимов Александр Васильевич

тивности производства и создании конкурентоспособной продукции. Раскрыты закономерности и особенности механической обработки резанием и пластическим деформированием различных изделий. Значительное внимание уделено вопросам механики и теплофизики механической обработки лезвийными и абразивными инструментами, в том числе с применением современных металлорежущих станков с ЧПУ типа "обрабатывающий центр" и сборных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями. В работе большое внимание уделено научной технологической школе профессора Якимова

Александра Васильевича, внесшей значительный вклад в решение сложных проблем технологии машиностроения по повышению качества и надежности машин и систем. Показано, что разработанный выдающимся ученым-технологом, Заслуженным деятелем науки Украины, Лауреатом Государственной премии Украины, академиком Инженерной Академии Наук Украины, доктором технических наук, профессором Якимовым Александром Васильевичем метод прерывистого шлифования является одним из наиболее перспективных методов обработки высокоточных деталей (в особенности авиационного назначения), изготавливаемых из материалов с повышенными физико-механическими свойствами. Благодаря применению этого метода можно существенно уменьшить силы и температуру резания, повысить качество, точность и производительность обработки. В настоящее время трудно представить обработку высокопрочных сталей и сплавов, твердых пород камня и других труднообрабатываемых металлических и неметаллических материалов без применения алмазных кругов с прерывистой рабочей поверхностью. При прерывистом шлифовании уменьшение температуры происходит по двум каналам: за счет прерывания процесса резания до того момента, пока температура не достигла квазистационарного состояния, и за счет создания острого режущего рельефа круга. Ни один из известных методов шлифования не обладает таким двойным физическим эффектом. По данному направлению Александр Васильевич в 1986 году удостоен высокого звания Лауреата Государственной премии Украины.



*Коллектив кафедры "Технология машиностроения"
Одесского национального политехнического университета
в день 88-летия профессора Якимова А. В. (15.03.2013 г.)*

Александр Васильевич Якимов до последних дней своей жизни работал на кафедре "Технология машиностроения" Одесского национального политехнического университета. Созданная им всемирно известная научная технологическая школа в г. Одесса верна традициям своего Учителя и продолжает активно участвовать в решении научных и практических проблем технологии машиностроения и создании высокоэффективных технологических процессов обработки деталей машин и других разнообразных высокоточных изделий.



Коллектив кафедры техники и технологий ХНЭУ им. С. Кузнеця (2016 г.)

В монографии также отражены научные достижения творческого коллектива кафедры техники и технологий Харьковского национального экономического университета имени Семена Кузнеця – непосредственного организатора проведенных в Харькове 23-х ежегодных Международных научно-практических конференций "Физические и компьютерные технологии".



Дудко Петр Дмитриевич

На кафедре техники и технологий на протяжении 30 лет (1976–2006 гг.) работал прекрасный педагог и известный ученый, ветеран Великой Отечественной войны, участник героической обороны Севастополя (1941–1942 гг.) канд. техн. наук, профессор Дудко Петр Дмитриевич. Он внес значительный вклад в развитие кафедры, разработал концепцию подготовки инженеров-экономистов и менеджеров. Петра Дмитриевича Дудко и сейчас считают одним из признанных основателей технологий финишной абразивной обработки, применяемых при изготовлении высокоточных изделий авиационной и космической отраслей. Будучи научным руководителем, через аспирантуру подготовил ряд научных работников, из которых Назаров Юрий Федорович, Невлюдов Игорь Шакирович и Рубан Виктор Михайлович впоследствии стали докторами технических наук, внесли большой вклад в развитие технологии машино- и приборостроения. Среди выполненных научных исследований Петра Дмитриевича имеют особое значение разработки в области финишных процессов для изготовления деталей космической техники и зеркал для лазеров повышенной мощности.

В монографии “Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки” проведен теоретический анализ и разработаны математические модели параметров силовой напряженности процесса резания с учетом закономерностей стружкообразования и трения. На основе математического моделирования установлена взаимосвязь между энергоемкостью обработки и температурой резания, определены максимально возможная температура и распределение тепла в зоне резания. На конкретных примерах обработки деталей машин обоснованы условия повышения производительности и качества обработки лезвийными и абразивными инструментами. Предложены новые методики и даны практические рекомендации по выбору оптимальных условий обработки при шлифовании по различным технологическим критериям. Приведены результаты внедрения новых конструкций режущих твердосплавных и керамических инструментов с износостойкими покрытиями, а также разработанных высокоэффективных технологических процессов высокоскоростного резания, в особенности труднообрабатываемых материалов, на многочисленных машиностроительных предприятиях.

В монографии “Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки” проведен теоретический анализ и разработаны математические модели параметров силовой напряженности



процесса резания с учетом закономерностей стружкообразования и трения. На основе математического моделирования установлена взаимосвязь между энергоемкостью обработки и температурой резания, определены максимально возможная температура и распределение тепла в зоне резания. На конкретных примерах обработки деталей машин обоснованы условия повышения производительности и качества обработки лезвийными и абразивными инструментами. Предложены новые методики и даны практические рекомендации по выбору оптимальных условий обработки при шлифовании по различным технологическим критериям. Приведены результаты внедрения новых конструкций режущих твердосплавных и керамических инструментов с износостойкими покрытиями, а также разработанных высокоэффективных технологических процессов высокоскоростного резания, в особенности труднообрабатываемых материалов, на многочисленных машиностроительных предприятиях.

результаты внедрения новых конструкций режущих твердосплавных и керамических инструментов с износостойкими покрытиями, а также разработанных высокоэффективных технологических процессов высокоскоростного резания, в особенности труднообрабатываемых материалов, на многочисленных машиностроительных предприятиях.

Новиков Д. Ф., Новиков Ф. В.
Харьковский национальный экономический
университет имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина
Андилахай В. А., Андилахай А. А.
ГВУЗ «Приазовский государственный
технический университет», г. Мариуполь, Украина

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ ЦИЛИНДРОВ

Для решения задачи эффективного внутреннего шлифования рабочих поверхностей цилиндров абразивными инструментами на упруго-мягкой основе важно знать оптимальные условия обработки, обеспечивающие требуемую шероховатость поверхности. Для этого необходимо провести анализ закономерностей формирования поверхности и определить условия интенсификации процесса шлифования с учетом требований по шероховатости обработанной поверхности. Предварительно проведем упрощенный анализ, основанный на геометрическом представлении шероховатого слоя обработанной поверхности без учета вероятностного характера участия абразивных зерен в резании. Это позволит более полно и в системном виде раскрыть сложные закономерности образования шероховатости поверхности при шлифовании. Цель работы – обоснование оптимальных условий шлифования мягкими абразивными инструментами с учетом получения наилучшей шероховатости поверхности.

Традиционно окончательная обработка внутренней поверхности гидроили пневмоцилиндра осуществляется абразивным кругом с параллельными осями вращения абразивного круга и цилиндра (рис. 1).

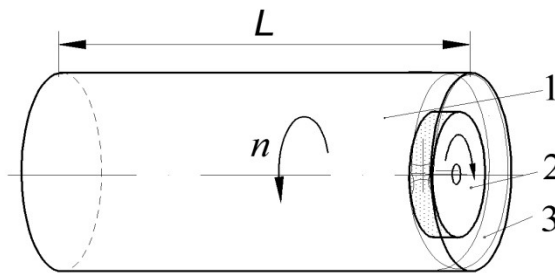


Рисунок 1. – Схема обработки внутренней поверхности цилиндра:
1 – цилиндр; 2 – круг; 3 – след абразивного круга

При такой схеме обработочные риски, образующиеся после предварительной и окончательной обработки, совпадают по направлению, и проявляется технологическая наследственность, выражающаяся в наличии остаточных обработочных следов. Способом улучшения шероховатости поверхности цилиндров является чередование направлений обработочных рисок с каждой последующей операцией обработки, при этом завершающая операция (переход) должна обеспечивать направление рисок вдоль образующей цилиндра (рис. 2).

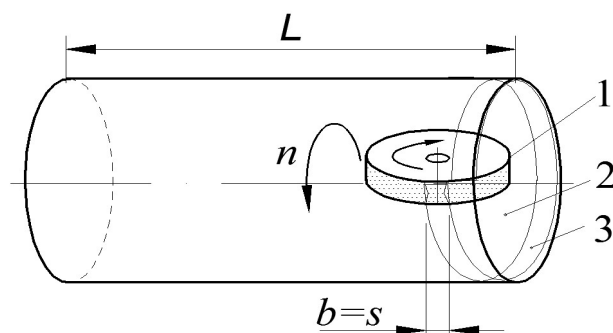


Рисунок 2. – Схема обработки внутренней поверхности цилиндра:
 1 – цилиндр; 2 – круг; 3 – след абразивного круга; b – ширина пятна контакта абразивного круга на упруго-мягкой основе и цилиндра

Способ поясняется схемой на рис. 2, где представлен абразивный круг 1, обрабатываемый цилиндр 2 длиной L , полированный след 3, ширина пятна контакта абразивного круга с обрабатываемой поверхностью цилиндра b , равной подаче s .

В отличие от известных способов обработки внутренних поверхностей цилиндров (рис. 1) перпендикулярное расположение осей цилиндра и абразивного круга (рис. 2) обеспечивает перпендикулярное направление последующих обработочных рисок относительно предшествующих, благодаря чему достигается интенсивное сглаживание предшествующих рисок. Кроме того, поскольку в результате шлифования цилиндра с высокой скоростью вращения абразивного круга образуются продольные обработочные риски, совпадающие с направлением движения поршня, благодаря чему его долговечность значительно возрастает.

Вместе с тем, высокая скорость абразивного круга позволяет увеличить частоту вращения цилиндра (шпинделя станка), и поскольку время t обработки цилиндра длиной L определяется величиной подачи s на оборот шпинделя, т. е. приводит к увеличению подачи, что и обеспечивает повышение производительности обработки цилиндра. Трудоемкость t (мин) определяется общеизвестной формулой:

$t = \frac{L}{s \times n}$, где L – длина цилиндра, мм; s – подача, мм/об.;
 n – частота вращения цилиндра (шпинделя) об./мин.

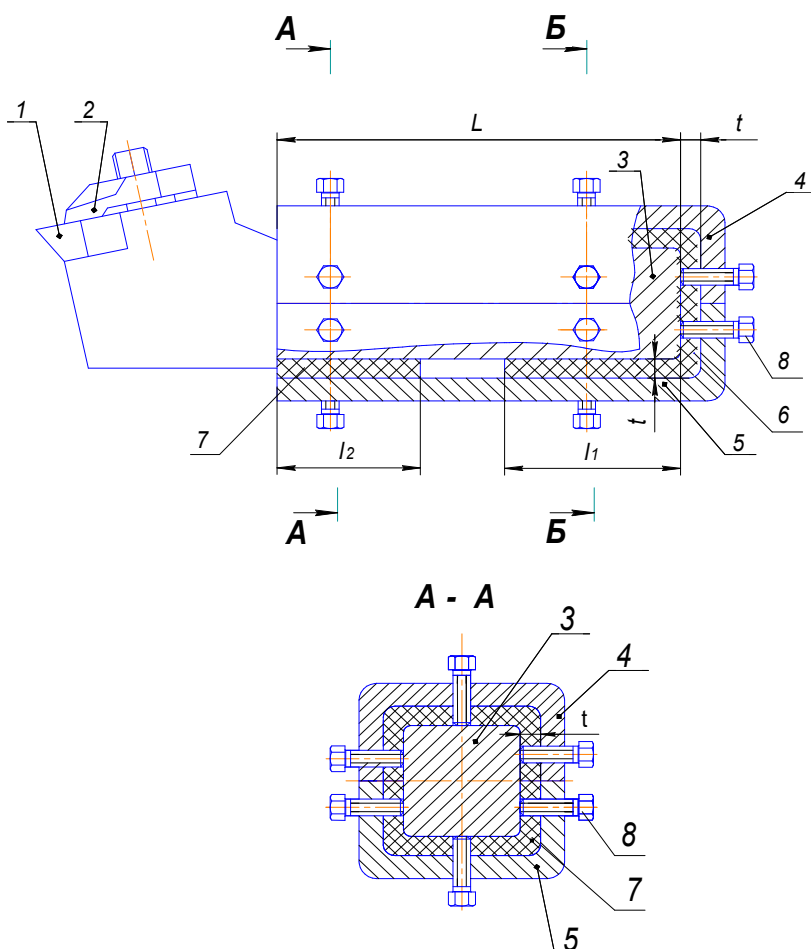
Как видно из приведенной зависимости снижение трудоемкости, т.е. уменьшение времени t при постоянной длине обработки $L = 200$ мм может быть получено в результате увеличения подачи и частоты вращения цилиндра, что и достигается предложенным методом обработки цилиндров.

Данный способ позволяет исключить переустановку цилиндра с токарного станка на внутришлифовальный станок, поскольку финишная обработка выполняется на токарном станке в виде окончательного перехода. На способ получен патент. В результате обработки отверстия цилиндра с использованием войлочного круга со слоем абразивного порошка, нанесенного на периферию круга, класс шероховатости поверхности повысился с исходной $Ra 1,25$ до $Ra 0,4$ мкм.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕМПИРУЮЩИМ РЕЗЦОМ

Повышение качества поверхностей изделий при механической обработке является весьма актуальной задачей. Однако, существующие разработки демпфирующих резцов с державкой в упругой вставке из материала, обладающего свойством высокого демпфирования, и выборкой, выполненной равномерно по периметру конца державки на длине от ее торца до выступающей части с режущей пластиной имеют следующие недостатки:

1. При обработке изделия возмущающая сила резания вызывает колебания резца, однако материал, обладающий свойством высокого демпфирования,



имеет постоянную жесткость по всей вставке, поэтому возникающая в ней пара восстанавливающих сил, хотя и создает момент, стремящийся вернуть резец в положение статического равновесия, и демпфирует колебания, но он не достаточен, чтобы минимизировать вибрации до желаемого уровня, и не позволяет достигнуть требуемого качества обработки.

2. Перерасход материала вставки за счет того, что он заполняет зазоры между стаканом и державкой по всей длине ее выборки.

Технической задачей предлагаемого изобретения является повышение качества обработки

Рисунок 1. – Общий вид резца при его монтаже

и снижение расхода материала вставки (рис. 1, рис. 2).

L/2. Контролируют качественное заполнение зазоров указанными материалами без образования пустот. Этот контроль легко осуществим в полустакане 4. Возможно заполнение зазоров как заливкой, так и расположением в них полимеризованных пластин из материалов со свойством высокого демпфирования.

Производят работы в такой же последовательности и с нижним полустаканом 5. Полустаканы 4, 5 сопрягают друг с другом с образованием полного стакана в сборке. При этом конец державки 3 с выборкой оказывается во вставке, сформированной из полувставки 6 из материала со свойствами высокого демпфирования большей жесткости и полувставки 7 из материала меньшей жесткости, с выступающими в указанные материалы на величину заданных зазоров t концами установочно-регулирующих винтов 8. После полимеризации материалов со свойствами высокого демпфирования не образуется жестких соединений установочно-регулирующих винтов 8 с полувставками 6,7, так как концы винтов предварительно промазаны, что обеспечивает освобождение установочно-регулирующих винтов 8 из сквозных резьбовых отверстий верхнего и нижнего полустаканов 4, 5. После вывинчивания установочно-регулирующих винтов 8 конец державки 3 с выборкой размещен во вставке, сформированной из полувставок 6, 7, разделяющих державку 3 и собранный стакан из полустаканов 4, 5.

Размер выборки по периметру конца державки 3, величину зазоров t и толщину стенок стакана, собранного из полустаканов 4, 5, назначают таким образом, чтобы стакан можно было разместить в резцедержателе. Если габариты поперечного сечения державки 3 не велики, то возможно не выполнять выборку по периметру одного конца державки 3, а размещать конец державки 3 непосредственно в собранном из нижнего и верхнего полустаканов 4, 5 стакане с одинаковыми зазорами t по его основанию и стенкам с заполнением зазоров вставкой, сформированной из полувставок 6, 7 из материалов со свойствами высокого демпфирования различных жесткостей.

Процесс обработки конструкционного материала демпфирующим резцом осуществляют следующим образом.

Собранный из нижнего и верхнего полустаканов 4, 5 стакан без установочно-регулирующих винтов 8 с расположенным в полувставках 6, 7, образующих вставку из материалов со свойствами высокого демпфирования различных жесткостей, концом державки 3 с выборкой и фиксированной механизмом крепления 2 на другом конце державки 3 режущей пластиной 1 закрепляют в резцедержателе (не показан). Задают необходимые режимы резания конструкционного материала. При его обработке возмущающая сила резания вызывает колебания резца. В случае изготовления вставки по всей длине выборки 3 или состоящей из полувставок 6, 7 из материалов со свойствами высокого демпфирования одинаковой жесткости, в цельной вставке или полувставках 6, 7 возникает пара восстанавливающих сил, создающих момент, стремящийся вернуть резец в положение статического равновесия и демпфирующий колебания, но недостаточный, чтобы минимизировать вибрации до желаемого уровня. (Пара сил – это две равные по модулю параллельные силы, направленные в противоположные сто-

роны; момент пары - произведение модуля одной силы пары на плечо; плечо – кратчайшее расстояние между параллельными силами пары).

Так как вставка сформирована из полувставок 6, 7 из материалов со свойствами высокого демпфирования различных жесткостей, при чем жесткость полувставки 6 больше жесткости полувставки 7, то в полувставках 6 и 7 действуют восстанавливающие параллельные силы направленные в противоположные стороны и не равные по модулю, при этом модуль силы в полувставке 6 больше модуля силы в полувставке 7. Поэтому, кроме момента от пары сил, равных по модулю силе в полувставке 7, в полувставке 6 действует еще сила, равная величине разности модулей сил в полувставках 6, 7 и создающая дополнительный восстанавливающий момент относительно точки приложения силы резания, что повышает эффективность демпфирования колебаний резца. (Дополнительный момент равен произведению величины разности указанных сил на плечо; плечо – перпендикуляр, проведенный из точки приложения силы резания на направление силы в полувставке 6). Таким образом, происходит высокоэффективное демпфирование продольных, поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания, и повышается надежность протекания этого процесса как в токарных, так и в строгальных технологических операциях. Поэтому путем подбора жесткостей материалов со свойством высокого демпфирования в полувставках 6, 7 возможно минимизировать вибрации резца до необходимого уровня и достигнуть требуемого качества обработки.

Экономия материала вставки происходит за счет размещения на расстоянии друг от друга ее полувставок 6, 7 и их протяженностей l_1 и l_2 , меньших половины длины $L/2$ выборки конца державки 3 (подана заявка на изобретение).

Оригинальностью предложенного демпфирующего резца является то, что вставка сформирована из двух размещенных на расстоянии друг от друга полувставок 6, 7, изготовленных из материалов, обладающих свойством высокого демпфирования и имеющих различные жесткости, полувставка 6 расположена на конце державки 3 со стороны основания собранного стакана, а полувставка 7 – на противоположном конце державки 3 с выборкой, при этом протяженности l_1, l_2 обеих полувставок 6,7 меньше половины длины L выборки державки 3 ($l_1 < L/2$; $l_2 < L/2$), а жесткость полувставки 6 больше жесткости полувставки 7, что позволяет: 1. Повысить качество обработки путем увеличения эффективности демпфирования колебаний резца за счет формирования вставки из двух полувставок, изготовленных из материалов, обладающих свойством высокого демпфирования и имеющих различные жесткости, причем жесткость полувставки, расположенной на конце державки со стороны основания собранного стакана, больше жесткости полувставки, размещенной на противоположном конце державки с выборкой.

2. Снизить расход материала вставки, так как она состоит из двух размещенных на расстоянии друг от друга полувставок, при этом протяженности обеих полувставок меньше половины длины выборки конца державки.

Это приводит к техническому результату по повышению качества обработки и снижению расхода материала вставки.

НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Современная теория теплофизики резания основана на решении дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных второго порядка для различных начальных и граничных условий. Однако решить данное уравнение не всегда возможно вследствие его сложности. Для его решения необходимо располагать глубокими знаниями математической физики. Поэтому в настоящей работе предложено упрощенное решение задачи определения температуры резания применительно к процессу шлифования.

Профессор Якимов А. В. показал, что при шлифовании расчет температуры резания можно производить на основе упрощенной расчетной схемы, представляя снимаемый припуск пакетом элементарных прямолинейных адиабатических стержней, по которым уходит тепло из зоны резания вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали (рис. 1). В итоге задача сводится к определению закона распределения температуры вдоль адиабатического стержня, на торце которого (в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемым материалом) действует тепловой источник с плотностью q в течение времени τ .

Решить эту задачу можно на основе закона сохранения энергии, используя условие равенства количества тепла, уходящего в адиабатический стержень, и количества тепла, затрачиваемого на нагревание адиабатического стержня:

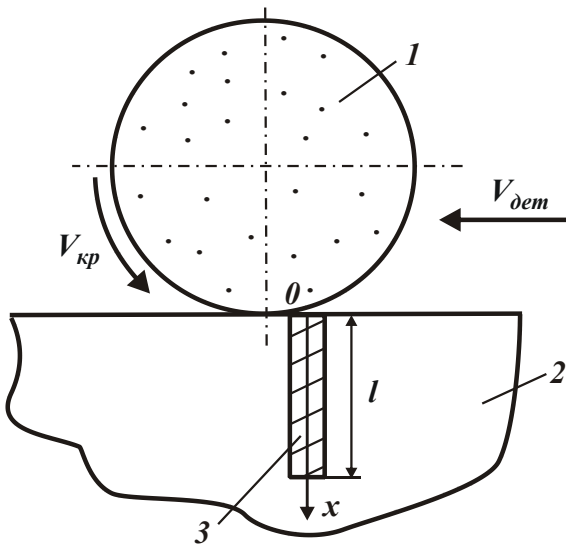


Рисунок 1. – Расчетная схема температуры шлифования:

1 – круг; 2 – деталь;
3 – адиабатический стержень

$$\lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} \cdot \tau = c \cdot \rho \cdot \int_0^x \theta \cdot dx, \quad (1)$$

где θ – температура адиабатического стержня в точке с координатой x , град.; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град.); c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град.); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

После дифференцирования обоих слагаемых по координате x , имеем:

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \alpha \cdot \theta = 0, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{c \cdot \rho}{\lambda \cdot \tau}$.

В результате получено дифференциальное линейное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами без правой части. Его решением для граничных условий:

$$\left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{q}{\lambda}; \quad \theta|_{x \rightarrow \infty} = 0$$

является функция:

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot e^{-\sqrt{\frac{c \cdot \rho}{\lambda \cdot \tau}} \cdot x}, \quad (3)$$

где $q = -\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x}$ – плотность теплового потока, Вт/м².

Как видно, по мере удаления от торца адиабатического стержня, т.е. от места действия теплового источника плотностью q , температура θ непрерывно уменьшается по экспоненциальному закону, асимптотически приближаясь к нулевому значению. Максимальная температура θ_{max} определяется:

$$\theta_{max} = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}}. \quad (4)$$

В работе [1] приведено аналогичное решение, полученное с использованием уравнения теплопроводности для одномерной системы координат:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (5)$$

которое решено методом интегрального преобразования и имеет вид:

$$\theta(x, \tau) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x^2}{4 \cdot a^2 \cdot \tau}} - \frac{q}{\lambda} \cdot x \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}} \right) \right], \quad (6)$$

где $\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2} \cdot dt$ – табулированная функция; $a^2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ – коэффициент температуропроводности материала, м²/с; x – координата, м; τ – время, с.

Используя новую безразмерную координату $z = \frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}}$, преобразованная зависимость (6) примет вид:

$$\theta(z, \tau) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-z^2} - z \cdot (1 - \operatorname{erf} z) \right]. \quad (7)$$

Зависимость (6) позволяет вполне однозначно определить максимальную температуру шлифования (температуру на торце адиабатического полубесконечного стержня – в точке его контакта с шлифовальным кругом):

$$\theta_{max} = \theta(x = 0, \tau) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q}{\lambda} = 1,129 \cdot q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}}, \quad (8)$$

однако не позволяет определить истинное значение безразмерной координаты – глубины z проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой дета-

ли. Его можно установить с лишь наперед заданной степенью точности, например, принимая $z = 1; 1,5; 2$ и т.д. Однако, по сути, это лишено физического смысла. Поэтому для определения истинного значения глубины z проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали необходимо использовать более приемлемый подход.

Сравнивая максимальные значения температуры θ_{max} , определяемые зависимостями (4) и (8), видно, что они отличаются незначительно – лишь числовым коэффициентом (в 1,129 раз). Это указывает на то, что предложенный в настоящей работе упрощенный теоретический подход к определению температуры θ вполне правомочен, поскольку позволяет установить температуру θ по зависимости (4), которая незначительно отличается от температуры, полученной по зависимости (8), являющейся решением уравнения теплопроводности.

В табл. 1 и на рис. 2 приведены расчетные значения температуры θ (по безразмерной координате z), полученные с использованием зависимости (7) и преобразованной с учетом $z = \frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}}$ зависимости (3):

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot e^{-2z}. \quad (9)$$

Для удобства анализа в расчетах принято $a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q}{\lambda} = 1$. Как видно, расхождение расчетных значений температуры θ (по безразмерной координате z) незначительно, что позволяет использовать зависимости (7) и (9) для практических расчетов температуры θ .

Таблица 1. – Расчетные значения функции $\theta(z)$

z	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
Зависимость (7)	1,129	0,5	0,182	0,051	0,016	0,0006
Зависимость (9)	1,0	0,449	0,202	0,09	0,048	0,018
Зависимость (13)	1,414	0,614	–	–	–	–

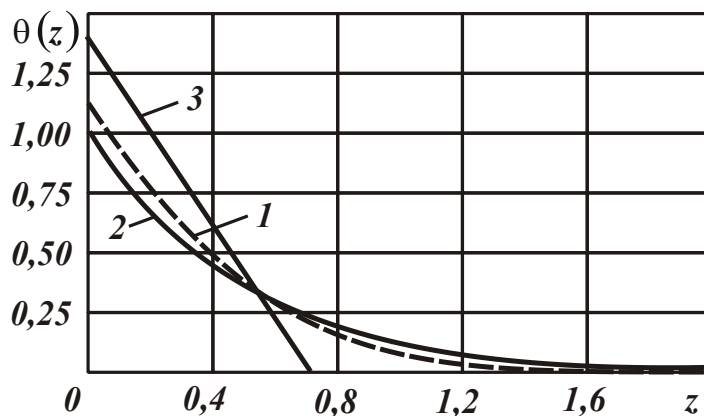


Рисунок 2. – Графики функции $\theta(z)$: 1 – расчет по зависимости (7); 2 – расчет по зависимости (9); 3 – расчет по зависимости (13)

Основным недостатком полученного решения, также как и решения, описываемого зависимостями (6) и (7), является неопределенность глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, поскольку температура θ не достигает конечного нулевого значения, она лишь асимптотически приближается к этому значению. Это не позволяет вполне однозначно определить толщину нарушенного или дефектного поверхностного слоя обрабатываемой детали в связи с воздействием на него теплового источника в процессе шлифования.

Решить данную задачу можно на основе упрощенного представления расчетной схемы плоского шлифования, например, рассматривая в уравнении (1) величину $d\theta = \theta_n - \theta_k$, где θ_n , θ_k – начальное и конечное значения температуры, принимая для упрощения расчетов $\theta_k = 0$ и $\theta_n = \theta$.

Аналогично можно представить $dx = l_2$, где l_2 – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м. Тогда вместо интеграла в уравнении (1) следует рассматривать величину $0,5 \cdot c \cdot \rho \cdot l_2 \cdot \theta$, поскольку температура θ уменьшается по линейному закону от значения $\theta_n = \theta$ до значения $\theta_k = 0$ в пределах длины l_2 (рис. 3). В результате уравнение (1) примет упрощенный вид:

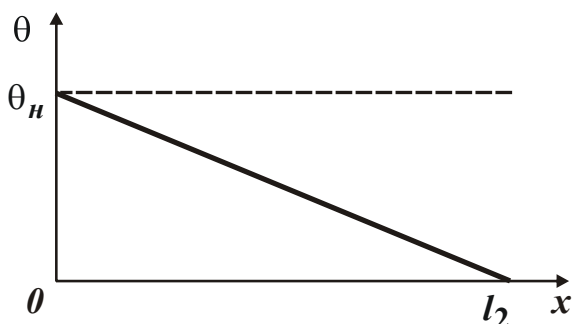


Рисунок 3. – График изменения температуры θ по координате x

упрощенный вид:

$$\frac{\theta}{l_2} = 0,5 \cdot \alpha \cdot l_2 \cdot \theta \quad (10)$$

или

$$l_2 = \sqrt{\frac{2}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}. \quad (11)$$

Таким образом, упрощая полученное решение, удалось установить конечное значение величины l_2 . Максимальную температуру θ можно определить

из упрощенной зависимости:

$$q = \lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} = \lambda \cdot \frac{\theta_n - \theta_k}{l_2} \approx \lambda \cdot \frac{\theta}{l_2}. \quad (12)$$

Откуда

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda} = q \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}}. \quad (13)$$

Как видно, температура θ изменяется по закону изменения величины l_2 , т.е. чем больше l_2 , тем больше температура θ . Следовательно, уменьшить температуру θ можно уменьшением величины l_2 , фактически исключая проникновение тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали.

В табл. 1 и на рис. 2 представлены расчетные значения температуры θ (по безразмерной координате z) для начального значения $\theta_n = \theta$, определяемого зависимостью (13), и величины l_2 , определяемой зависимостью (11), с уче-

том условия $a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q}{\lambda} = 1$. Безразмерная координата z для $x = l_2$ равна $z=0,7071$.

При этом значении z конечное значение температуры $\theta_k = 0$. Как следует из табл. 1 и рис. 2, максимальные значения температуры θ , рассчитанные на основе зависимостей (13) и (7) отличаются незначительно, что позволяет использовать упрощенную зависимость (13) для практических расчетов.

Рассмотрим возможности практического использования полученной упрощенной зависимости (13) для анализа теплового процесса при плоском шлифовании, принимая время $\tau = l / V_{dem}$, где l – длина круга с обрабатываемой деталью, м; V_{dem} – скорость детали, м/с.

Плотность теплового потока q выражается зависимостью: $q = \sigma \cdot V_{рез}$, где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $V_{рез} = t / \tau$ – скорость перемещения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали, м/с; t – глубина шлифования, м; τ – время перемещения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали на глубину, равную глубине шлифования t , с.

После соответствующих преобразований зависимость (13) примет вид:

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \tau}} = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{dem}}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot l}} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t \cdot Q_{yd}}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot l}}, \quad (14)$$

где Q_{yd} – удельная производительность обработки, м²/с.

Как следует из зависимости (14), уменьшить температуру θ можно уменьшением параметров σ , t и V_{dem} или уменьшением глубины шлифования t при условии $Q_{yd} = const$, т.е. применяя многопроходное шлифование (с увеличенной скоростью детали V_{dem}).

Таким образом показано, что температура θ и величина l_2 взаимосвязаны между собой линейной зависимостью (13). Это позволяет совершенно по-другому анализировать тепловой процесс при шлифовании (или резании лезвийными инструментами) по сравнению с зависимостями (3) и (6), в которых температура θ не достигает конечного нулевого значения на некотором удалении от действия теплового источника, тогда как с физической точки зрения, тепло не может мгновенно распространиться на бесконечное расстояние. Следовательно, полученное упрощенное решение, описываемое зависимостью (13), позволяет привести в соответствие теплофизические закономерности процесса шлифования и в целом процесса резания материала. Это открывает новые технологические возможности определения путей уменьшения температуры резания θ и дальнейшего совершенствования процессов резания и шлифования материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чупров И. Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа: учебное пособие / И. Ф. Чупров, Е. А. Канева, А. А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2004. – 128 с.

ЯКІСТЬ – НАШЕ МАЙБУТНЄ

Ідея якості, яка існувала завжди, від народження цивілізації, в сучасному світі стала основною в забезпеченні добробуту та процвітання народів. Багато країн використовували її як національну для виходу з кризи. Яскравий приклад цьому – післявоєнний розвиток Японії та Німеччини.

Щоб реалізувати таку ідею в масштабах країни, треба навчитись:

- стабільно випускати якісну продукцію, яка користується попитом;
- постійно підвищувати рівень її якості, удосконалювати експлуатаційні показники, передбачувати можливі запити та побажання споживачів;
- постійно поліпшувати якість та підвищувати продуктивність процесів виробництва;
- оперативно освоювати та впроваджувати сучасні досягнення в галузі;
- виключати зайві витрати, постійно знижувати собівартість продукції;
- постачати продукцію своєчасно;
- безперервно удосконалювати систему менеджменту підприємства;
- донести широким масам зрозуміло та переконливо ідею **безперервного поліпшення якості**, її важливість для країни та кожного українця, особливо в наш час - 4-ої промислової революції.

Як це зробити?

В цій сфері світом накопичений величезний досвід, але намагання без змін пересадити надбання інших країн, якщо й приносить користь, то невелику. Напрацювання людства треба вивчати, аналізувати, адаптувати до національного ґрунту. За часів незалежності Державні органи, Українська асоціація якості (УАЯ), інші громадські об'єднання з якості багато зробили у цьому напрямку: створили необхідну нормативну базу, започаткували спеціалізовану вищу освіту, рекламує нашу продукцію та її якість за кордоном, суттєво просунули українські товари на міжнародні ринки. На окремих підприємствах України є значні досягнення, але їх недостатньо. Для вагомого впливу на економіку країни необхідно рух за якість у всіх сферах суспільного життя зробити масовим.

Якщо взяти окреме підприємство, то згідно японського досвіду, щоб отримати результат, треба задіяти весь персонал в виконанні щоденної копійки роботи з підвищення якості. Там це зробили через гуртки якості – після роботи люди збирались в гуртки по 4 – 5 чоловік і в дискусіях поступово вирішували, хай незначні, але багато, проблеми поліпшення якості на своїх робочих місцях. Згодом на цьому підґрунті виникла ціла філософія безперервного поступового поліпшення - *кайдзен*. У нас це пробували в кінці 1980-х років, але не вийшло - значить треба шукати свій шлях.

В спеціалізованих виданнях періодично пропонуються моделі «піраміди якості», конструкції якої часто мають протилежні напрямки: основа - якість

продукції, вершина - якість суспільства і навпаки: основа - якість суспільства, вершина - якість продукції. Як зображено на рис. 1, *напрямок знизу вгору*: якість суспільства обумовлює якість підприємства, впливаючи на досконалість процесів його організації і діяльності через досягнення науки і техніки, рівень освіти, інформаційне поле, політично-правову систему, і впершу чергу, свідомий, обізнаний, професійно підготовлений, вихований суспільством персонал.



Рисунок 1. – Піраміда якості

Якість підприємства обумовлює відповідну якість процесів розробки та проектування виробів, підготовки та організації виробництва, технологічних процесів виготовлення продукції, наявність або відсутність передових техноло-

гій, методів контролю, якість матеріалів та комплектуючих виробів, досконалість устаткування, засобів вимірювальної техніки, якість організації робочих місць, охорони праці, компетентність, можливість навчання та професійного росту персоналу, його мотивація тощо.

Відповідно до рівня підготовки вказаних процесів на підприємстві забезпечується якість виготовленої продукції (конструкція, виготовлення, контроль, експлуатаційні показники, сервіс). Ніби дійсно так – у високорозвинених країнах є більше можливостей забезпечити якісне виготовлення продукції.

Але, якщо «піраміду» перевернути або розглянути процеси на рис. 1 зверху вниз, то, виходячи з висловлювання Демінга - для того, щоб вижити, якість треба безперервно поліпшувати, незалежно від стану нижніх поверхів піраміди треба робити все можливе й вишукувати нові шляхи для удосконалення та підвищення якості продукції. Зверху ставити вимоги до попередніх поверхів, здійснювати вплив на їх стан: інфраструктуру, устаткування, оснащення, засоби вимірювальної техніки, організацію робочого місця, якість заготовок, матеріалів та комплектуючих і вчасність їх поставки, модернізацію та удосконалення технологічних процесів виготовлення продукції, її обслуговування після реалізації, необхідність в навчанні, підвищенні компетентності персоналу, його обізнаності і вмотивованості. Причому, *персонал* треба розглядати, як основний скарб підприємства - носій знань процесів виготовлення продукції, і що особливо важливо, носій неявних або скритих знань, які неможливо формалізувати й зберегти документально, а можна тільки отримати через досвід, тривалий час працюючи поряд з спеціалістом. Крім того, *персонал* є носієм основних, формуючих стан суспільства, поглядів, правил та настроїв. Якщо його активна діяльність з покращення якості продукції та процесів її виготовлення супроводжується позитивними результатами, підтримується керівництвом, це мотивує людей до подальшого самовдосконалення в роботі, створює благоприємний психологічний клімат на підприємстві, впливаючи таким чином на стан суспільства в цілому.

Інакше кажучи, замість піраміди якості правильно було б розглядати *нісковий годинник якості*: якість суспільства через освічений підготовлений, вмотивований персонал впливає на якість продукції і процесів підприємства, а якість продукції через культуру виробництва та той же персонал впливає на культуру та стан суспільства. З'єднувальним елементом, через який відбувається перетік однієї якості в другу і навпаки, є *персонал* (рис. 2). Тому, крім створення умов для мотивації працівників до підвищення якості їх діяльності на робочому місці, зважаючи на те, що до приходу на підприємство більшість робочого персоналу навчається і виховується в навчальних закладах, в першу чергу профтехосвіти, треба використати цю можливість, щоб прищепити майбутнім робітникам правильне відношення до якості своєї роботи, колективу в цілому, дати основоположні уявлення про управління якістю продукції та процесів її створення. Тобто, *знання з управління якістю продукції і процесів її створення необхідно отримувати до початку трудової діяльності - в закладах профтехосвіти і коледжах*. Сьогодні відкриті для цього додаткові можливості - іде перебудова освіти

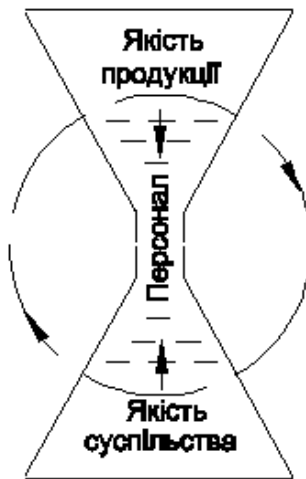


Рисунок 2. –
Пісковий
годинник якості

в середній школі, і було б дуже ефективно в випускних класах, коли починається спеціалізація, викладати предмет з управління якістю. *Це по-перше.*

По-друге, щоб поліпшити справи з якістю, необхідно продовжувати аналіз - чим ми гірші від японців? Чому у них вийшло, а у нас не виходить? Наприклад, порівнюючи розробки в сфері управління якістю, виконані ще за радянських часів, з вимогами стандартів серії ISO 9000 бачимо, що ці напрацювання дуже щільно підійшли до ISO 9000, але чуда з якістю на підприємствах не відбулося. Сучасні аналітики стверджують, що виною всьому – відсутність ринкової економіки, орієнтації на споживача – в умовах тотального дефіциту це не потрібно бо нема проблем зі збутом продукції. Відсутнім був також вибір постачальника комплектуючих, що робило неможливим створення конкурентос-

проможної на міжнародному ринку продукції. Сьогодні вказані недоліки ліквідовано, але помітного стрибка з якістю продукції все-рівно не відбулося. Значить треба продовжувати дослідження, шукати відповідь на питання «чому?», і з врахуванням стрімкого сьогодення - швидко.

Якщо знов звернутися до прикладу тої ж Японії, Демінг – її національний герой, почав там свою діяльність з впровадження статистичних методів, згідно яких, контролюючи ще придатну продукцію, уже бачив відхилення якості процесів та тенденцію можливої втрати якості продукції. У нас навіть серію стандартів створили з цих методів. А хто їх використовує? А це найпотужніший інструмент, який попереджає появу масового браку, на відміну від типової ситуації на підприємстві, коли невідповідність процесу усувається після забракованої партії деталей. Втрати в цих випадках бувають суттєві, і економічно, і з якістю, тому в обов'язки контролера необхідно ввести оцінювання не тільки якості продукції, а й якості процесу її виготовлення одночасно. Контроль має закінчуватись статистичною обробкою результатів вимірювань. Для цього контролери повинні володіти статистичними методами аналізу. А як це зробити? Ввести викладання цих методів в відповідну освіту.

Якраз цьому у нас приділено увагу – написані підручники, наукові праці, рекомендації, створені стандарти тощо, а до заводського виробництва це чомусь не дійшло. Так би мовити, пострадянський синдром – наука сама по собі, виробництво саме по собі, всі працюють, головне, щоб ніякого корисного виходу. Методи розробили, опублікували і на цьому поставили крапку, а механізм впровадження не був створений і відпрацьований, що мало б з'єднати окремі ланки в один ланцюг контролю продукції, процесу її виготовлення і завершальний етап - корекція процесу виготовлення. Ефект очевидний. Цей недолік необхідно ліквідувати і негайно – ввести вивчення статистичних методів обробки результатів контролю в освіту на рівні профтехучилищ і коледжів відповідної спеціалізації. Найпростіші 7 інструментів статистичної

обробки результатів вимірювань повинні вивчатись майбутніми контролерами в обов'язковому порядку, щоб на завод приходили компетентні випускники, які будуть все виконувати так, як їх навчили, а завдання менеджменту середньої ланки – своєчасно використовувати результати контролю.

Аналогічним чином необхідно фахівцям – якісникам аналізувати й інші складові всесвітньо відомих досягнень в сфері якості, знаходити раціональне, розробляти механізми його втілення на українських підприємствах.

І *по-третє*, хотілось би зазначити вплив, правильніше його відсутність, такого фактору, як оприлюднення здобутків в цій сфері, можливі методи розповсюдження знань з якості, просвітницька діяльність в масах.

В Україні також є всесвітньовідомі, видатні діячі - гуру якості, які зробили неоціненний внесок в розвиток системи менеджменту якості в країні і світі. Наприклад, Петро Якович Калита – ініціатор створення в 1989 році Української асоціації якості, її президент, член багатьох міжнародних організацій з управління якістю. Про вклад П.Я. Калити в світовий та український рух за якість можна говорити годинами, але мова не про те. Скільки людей про це знає?

Тут доцільно зробити закид засобам масової інформації. Те, що країні треба вкрай і негайно популяризується недостатньо або й зовсім замовчується. Ситуація: сам придумав – сам розкажуй де хочеш і як хочеш, сам популяризууй. В кінці червня вже цього, 2018, року в Одесі відбувся міжнародний форум «Сузір'я якості». Своїми думками і напрацюваннями поділилися представники багатьох країн. Що, одеські ЗМІ цього не знали? Дуже шкода, що такий захід залишився без уваги. Щоб досягти успіху, необхідно використовувати все можливе для популяризації знань та досягнень в сфері якості: навчання, семінари, дискусії; реклама з екрану телевізора; рекламні ролики та просвітницький курс лекцій в інтернеті тощо.

УАЯ засновано проведення олімпіад з якості на місцевому (в межах навчального закладу), регіональному та національному рівні. Олімпіади проводяться в трьох вікових категоріях: до 18 років, молодіжна олімпіада (18 – 35 років) та серед фахівців з досвідом. Переможці олімпіад на місцевому рівні є учасниками регіональних олімпіад, а переможці регіональних – учасники національної олімпіади. Переможці національної олімпіади участують в міжнародній Європейській олімпіаді, де наші представники неодноразово були переможцями, а хто й де сказав про них бодай 1-2 слова, крім спеціалізованих видань, читачі яких і так це знають.

Користуючись нагодою, хочу сказати, що в Одесі в коледжі промислової автоматики та інформаційних технологій при ОНАХТ для студентів четвертого курсу введено викладання нового предмету «Основи управління якістю на машинобудівному підприємстві», де студенти отримують необхідні для своєї діяльності знання в цьому напрямку. Одночасно при коледжі засновано громадську організацію «Якість – наше майбутнє», основна мета якої розповсюдження знань про якість та управління якістю серед молоді. Одним з напрямків діяльності є підготовка студентів коледжів, а також всіх бажаючих до участі в олімпіадах з якості. Розклад занять узгоджується. Створено немало, але процес

з якістю все-таки гальмує, для досягнення успіху треба впершу чергу зробити хоча б очевидне:

- заснувати доінститутську освіту в сфері якості – ввести в середніх навчальних закладах вивчення такого предмету як «основи управління якістю»;
- в середніх закладах освіти, які готують майбутніх контролерів та спеціалістів з якості перенести акцент з контролю якості продукції на контроль якості процесів через контроль якості продукції;
- в вищих навчальних закладах звернути особливу увагу на підготовку фахівців з сучасного менеджменту у всіх цільових напрямках, в першу чергу в напрямку управління якістю;
- максимально використовувати засоби масової інформації для популяризації ідеї якості – як національної для виходу країни з економічної кризи та поліпшення добробуту кожного українця. ЗМІ мають включити в свій топ-перелік тем для пошуку сенсацій висвітлення наших змагань за довершеність та якість, за якими стоїть подолання економічної кризи і бідності в країні, а може й більше.

Панов Д.О., Полянський В. И.
ООО «Империя металлов», г. Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ОТ ЯПОНСКОЙ КОМПАНИИ SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.

Японская компания SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD. является одним из крупнейших производителей высокопроизводительного металлорежущего инструмента в мире. Компания имеет обширную торговую сеть, а также производственные мощности, расположенные по всему миру и уделяет большое внимание внедрению новых прогрессивных технологий. Целью настоящей работы является обзор новинок, предлагаемых компанией SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD. к внедрению начиная с 2016 года, а также краткий обзор применяемых инструментов, получивших положительные отзывы.

Применительно к токарным операциям предлагается целая гамма специальных сплавов и стружколомов с высокой надежностью и эффективностью, а также отличной стойкостью к пластическим деформациям, отдельное внимание уделяется и многослойным покрытиям, нанесенным по новой технологии.

На рис. 1 представлены режущие пластины из новых сплавов для обработки нержавеющей стали AC6030M и AC6040M. Сплав AC6030M имеет CVD покрытие «Absotech Platinum» и является первым выбором для общих условий обработки нержавеющей стали. К достоинствам данного сплава относится значительное снижение вероятности внезапных поломок, являющихся проблемой при обработке нержавеющей стали, и обеспечение стабильной длительной обработки благодаря увеличенной прочности и стойкости к отслоению покрытия.



Рисунок 1. – Режущие пластины для обработки нержавеющей стали

На рис. 2 показаны режущие пластины из нового основного сплава для общей обработки сталей АС8025 с износостойким покрытием на основе борида титана.

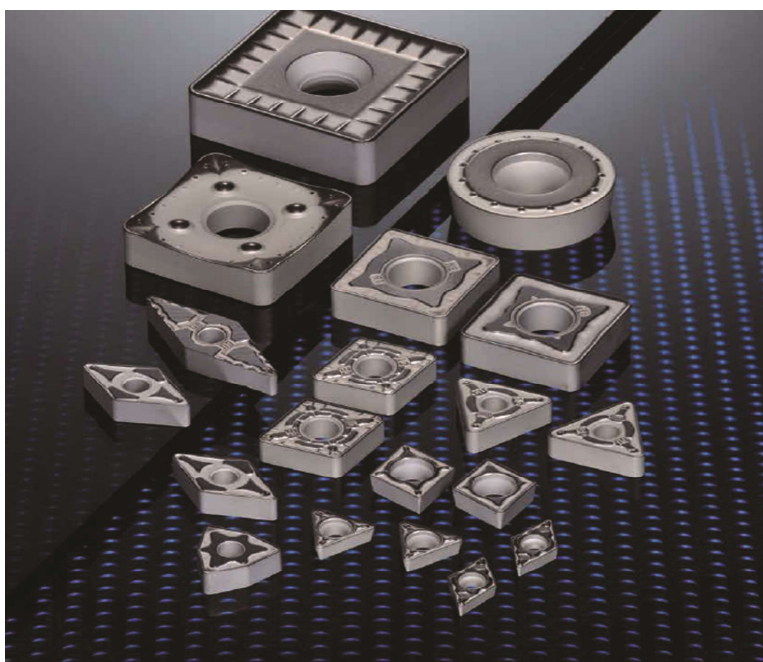


Рисунок 2. – Режущие пластины для обработки сталей

Данное покрытие позволяет достичь высокой адгезионной стойкости при высоком качестве обрабатываемой поверхности и высокой стабильности обработки.

Стружколомы EG (рис. 3,а) и EF (рис. 3,б) типов для обработки экзотических сплавов могут быть использованы для титановых и жаропрочных сплавов и широкого перечня других экзотических сплавов. Сочетание отличной износостойкости и стружкодробления позволяет устранить проблемы связанные с применением обычных стружколомов для экзотических сплавов. Стружколом EG типа для черновой обработки обеспечивает превосходную стойкость и стружкодробление благодаря специальной форме передней поверхности и круглым выступам. Кромка остается прочной даже после значительного износа. Стружколом EF типа снижает радиус свивки стружки при финишной обработке. Специальные канавки на стружколеме снижают тепловыделение и предотвращают врезание пластины в заготовку под неправильным углом, а острая кромка с передним углом 20° снижает износ.

Сплав АС6030М имеет PVD покрытие «Absotech Bronze» и особо жёсткую твердосплавную основу. Первая рекомендация для прерывистого резания нержавеющей стали, значительно повышается надёжность при обработке с ударами благодаря хорошей адгезионной связи с основой и стойкости к отслоению нового PVD покрытия, и в то же время сплав имеет увеличенную стойкость к образованию трещин твердосплавной основы.

Стружколомы EG (рис. 3,а) и EF (рис. 3,б) типов для обработки экзотических сплавов могут быть использованы для титановых и жаропрочных сплавов и широкого перечня других экзотических сплавов. Сочетание отличной износостойкости и стружкодробления позволяет устранить проблемы связанные с применением обычных стружколомов для экзотических сплавов.

Стружколом EG типа для черновой обработки обеспечивает превосходную стойкость и стружкодробление благодаря специальной форме передней поверхности и круглым выступам. Кромка остается прочной даже после значительного износа. Стружколом EF типа снижает радиус свивки стружки при финишной обработке. Специальные канавки на стружколеме снижают тепловыделение и предотвращают врезание пластины в заготовку под неправильным углом, а острая кромка с передним углом 20° снижает износ.



Рисунок 3. – Стружколомы EG (а) и EF (б) типов для обработки экзотических сплавов

При проблемах фрезерования компания SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD. также предлагает целый ряд решений. Сплавы серии АСМ (рис. 4) предназначены для фрезерования закаленных и нержавеющей сталей.



Рисунок 4. – Режущие пластины из сплавов серии АСМ для фрезерования закаленных и нержавеющей сталей

Сплавы АСМ100 и АСМ300 имеют повышенную износостойкость благодаря высокопрочной мелкозернистой твердосплавной основе и новому «Super ZX» покрытию. При сравнении с обычными сплавами с PVD покрытием твердость покрытия «Super ZX» выше на 40 %, температура начала интенсивного окисления повышена на 200°C. Высокоскоростная высокопроизводительная обработка с увеличением производительности в 1,5 раза по сравнению с обычными сплавами возможна благодаря изменению состава покрытия для значительного

увеличения адгезионной стойкости. Достигается увеличение стойкости до 2 раз по сравнению с обычными сплавами при тех же режимах резания. Сплав АСМ200 имеет высокую адгезионную стойкость и стойкость к выкрашиванию благодаря гладкости CVD покрытия и новой технологии контроля покрытий.

На рис. 5 показана фреза серии WGХ. Основные особенности данной серии – уникальная форма стружколома для снижения усилий резания и высокого качества обработанной поверхности по сравнению с обычным инструментом, значительное расширение перечня применяемых сплавов и стружколомов для обработки нержавеющей стали и экзотических сплавов. Повышенная точность и уникальная форма стружколома с *wiper* геометрией способствуют высокому качеству обрабатываемой поверхности, а наличие фаски снижает величину заусенца и выкрашивание кромки.



Рисунок 5. – Фреза серии WGX с уникальной формой стружколома для снижения усилий резания и высокого качества обработанной поверхности

К основным преимуществам серии фрез DGC типа (рис. 6) можно отнести высокое качество обрабатываемой поверхности аналогичное фрезам с односторонними пластинами на глубине резания до 3 мм благодаря двухсторонней геометрии с высокой остротой режущих кромок. На корпус фрез данной серии можно устанавливать два вида пластин, двухстороннюю на восемь вершин либо двухстороннюю на шестнадцать вершин, что позволяет существенно снизить стоимость инструмента.



Рисунок 6. – Фрезы DGC типа

Это далеко не полный перечень технологических возможностей инструмента производства компании SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD. Ассортимент компании включает множество решений для токарной, фрезерной и сверлильной обработок. Кроме металлорежущего инструмента, компания имеет широкий выбор станочной оснастки и вспомогательных систем. На территории Украины официальным представителем SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD. является НПО «Империя Металлов». Это дает возможность получить самую подробную информацию о продукции под торговой маркой SUMITOMO, а также произвести производственные испытания с учетом отдельно взятого производства в кратчайшие сроки.

АНАЛІЗ КОМПОНОВОК ПОРТАТИВНОГО МОБІЛЬНОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Для ремонту важкого устаткування, турбоагрегатів, габаритних виробів, об'єктів цивільного будівництва, трубопроводів, систем нафто- і газопереробки, гірничої техніки, промислового обладнання, і т. д., в більшості своїй, ремонтні роботи виконуються в стаціонарних ремонтних цехах, майстернях, заводських ремонтних підприємствах. Тому, вимагають демонтажу обладнання, та вивезення в спеціалізоване підприємство ремонтваних деталей, вузлів, механізмів, проведення необхідних ремонтних робіт і подальшої їх транспортування назад на місце експлуатації.

Дана процедура ремонту займає значний період часу, вимагає залучення значної кількості допоміжної техніки (крани, транспортна техніка і т.д), людських ресурсів і відповідно фінансових капіталовкладень, а деяке обладнання взагалі не демонтується або його демонтаж недоцільне. В якості альтернативи традиційним способам ремонту, можна проводити ремонт обладнання на місці його експлуатації в максимально короткі терміни і без необхідності повного демонтажу ремонтних вузлів, деталей.

Іншими словами потрібно обладнання, яке буде доставлятися до устаткування, що ремонтується, і монтуватися на ньому. Так і виникає потреба в портативному мобільному металорізальному обладнанні як ефективному, а іноді і єдино можливому рішенні.

Агрегатно-модульний метод знайшов застосування в усіх галузях машинобудування. В даний час він знаходить особливо широке застосування при створенні технологічного обладнання та засобів механізації самого різного призначення, наприклад металорізальних верстатів.

Сфера ремонту передбачає досить широке коло можливих ремонтно-відновлювальних робіт, отже, необхідно щоб мобільні верстати проектувалися з урахуванням можливості їх різної компоновки, конструкції, складу вузлів і механізмів з метою отримання потрібних замовником технічних і технологічних характеристик цих верстатів. Застосування агрегатно-модульного принципу побудови обладнання для мобільних верстатів є логічним згідно з вище перерахованими вимогами до них.

Агрегатно-модульний принцип побудови портативного обладнання передбачає поділ конструкції на уніфіковані вузли (модулі), зібрані разом в єдину конструкцію. Це дозволяє досягти необхідної гнучкості і значно скоротити терміни і вартість проектування даного обладнання.

На даний момент фірма CLIMAX є найбільшим в світі постачальником

портативних верстатів і виробляє безліч варіацій цього обладнання. Тому, аналіз компоновок даних верстатів було почато з неї.

В результаті проведеного аналізу компонувань портативного мобільного металорізального обладнання агрегатного модульної конструкції можна зробити висновки, що:

1) Поява портативних верстатів спровокована необхідністю в технологічному обладнанні яке може бути доставлено до деталі, що потребує ремонту, і змонтовано на ній. Такі верстати виступають в якості альтернативи традиційним способам ремонту.

2) Застосування агрегатно-модульного принципу до портативних верстатів дозволяє верстатам бути більш гнучкими та скоротити час на їх проектування.

3) Аналізуючи існуючі портативні верстати можна зробити вивід, що вони призначені для широкого діапазону ремонтних робіт. Виготовляються в основному зарубіжними фірмами, такими як CLIMAX, а у нас на ринку вони продаються їх представниками.

Для заводу «Турбоатом» однією з актуальних виробничих завдань є ремонт деталей і вузлів турбоагрегатів, експлуатованих в Україні і за кордоном. Так як ці деталі часто великогабаритні то їх неможливо або недоцільно демонтувати. Це робить їх поточний ремонт в умовах заводу неможливим. У цьому випадку ефективним і часто єдино можливим є застосування портативного обладнання. За заводом «Турбоатом» на даний момент вже було розроблено декілька портативних верстатів.

Останнім на даний момент ПАТ «Турбоатом» розробляється верстат для опрацюванні можливості механічної обробки паза під наплавку на нижньому кільці, обробки поверхні, наплавленої нержавіючими електродами, і виконанні паза під шнур ущільнювача на наплавленій поверхні. Робочим органом установки є фрезерний пристрій Climax LM5200. Відомий аналог такої установки, однак оброблювані нею діаметри обмежуються 5.5–6.2 м. Зазначена конструкція здатна виконувати посегментно обробку на діаметрах більше 10м, мобільна, легко налаштовується.

Так як передбачувана варіація компоновок мобільних верстатів досить широка, виникає необхідність певним чином їх класифікувати. Систематизація та класифікація компоновок портативних металорізальних верстатів дозволить в подальшому більш ефективно застосовувати агрегатно-модульний принцип стосовно до цих верстатів. За сформованими класифікаційними ознаками з'явиться можливість аналізувати та синтезувати ефективні компоновки.

Для аналізу та систематизації компоновок портативних металорізальних верстатів застосовані структурні формули згідно теорії компоновок Ю.Д.Врагова та обрані класифікаційні ознаки: кількість формоутворюючих рухів; положення шпинделя; код виду обробки (точіння, фрезерування, свердління, зенкування, розгортання, шліфування, притирка, наплавлення); параметри обробки (діаметр, глибина обробки і т.п.); код видів оброблюваних поверхонь (зовнішня чи внутрішня циліндрична, площина, паз і т.п.); код виду монтажу (спеціальні, уніфіковані або комбіновані базуючі та монтажні пристосування).

ДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ САМОЗАТОЧУВАННЯ АЛМАЗНИХ КРУГІВ ПРИ ШЛІФУВАННІ ПНТМ

Попередні дослідження двох відомих процесів шліфування полікристалічних надтвердих матеріалів (і особливо синтетичних алмазів (СА)) дозволили встановити їх важливу особливість і закономірність, яка полягає в періодичності зміни значень вихідних показників у часі [1], [2]. У якості першого процесу шліфування мається на увазі керований процес обробки алмазними кругами на металевих зв'язках з безперервним електрохімічним управлінням їх ріжучим рельєфом в автономній зоні (пружна схема обробки) [3]. У якості другого – шліфування алмазними кругами на органічних зв'язках в режимі самозаточування (жорстка схема обробки) [1]. І якщо в першому випадку періодичність реалізується при незначній силовій напруженості процесу (рис. 1, а), то в другому вона занадто висока (рис. 1, б). Але з фізичної точки зору незрозуміло чому в обох випадках процес обробки супроводжується інтенсивним самозаточуванням алмазних зерен.

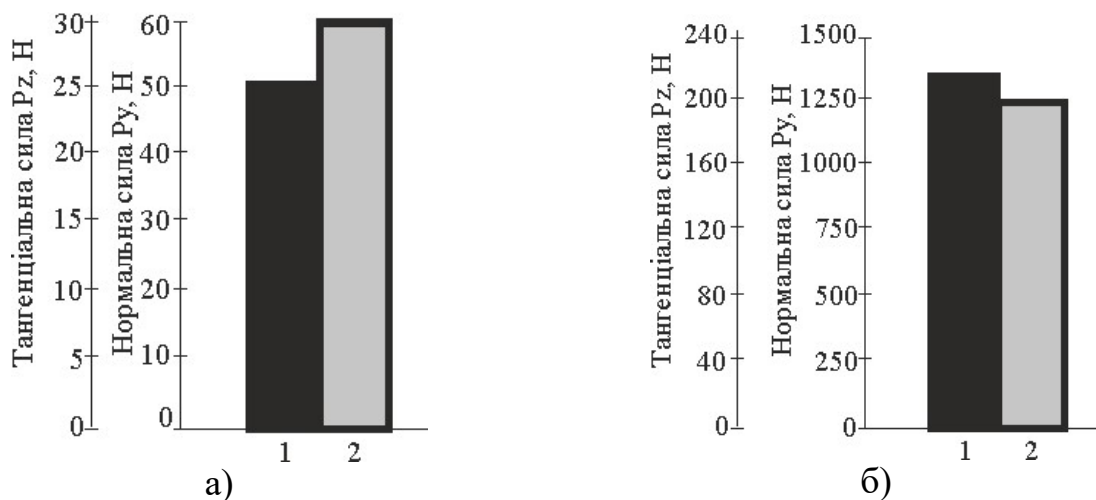


Рисунок 1. – Рівень сил різання для різних способів шліфування СА марки АСБ: 1 – Py; 2 – Pz.

Умови обробки: а) – круг 12А2х45° 150х10х3х32 АС6 125/100 А1 ПМ12 100 %; $V_k = 20$ м/с, $S_{nod} = 1$ м/хв, $P_n = 2,5$ МПа ($P_y = 50$ Н), МОТС – електроліт; б) – круг 12А2-45° 150х10х2х32 АС4 125/100 Б156 100% $V_k = 20$ м/с, $S_{nod} = 1$ м/хв, $S_{nop} = 0,01$ мм/подв. хід, МОТС – 3 %-й розчин Na_2CO_3 у воді

Раніше встановлено [1], що для реалізації самозаточування алмазних зерен при малих значеннях сил різання потрібно створити ряд необхідних умов. Головними з них можна вважати рівень висоти вильоту зерен над рівнем

зв'язки і забезпечення необхідної кількості алмазних зерен конкретної марки в контакті з оброблювальним матеріалом (ОМ). Перша умова може бути забезпечена шляхом безперервного електрохімічного видалення металевої зв'язки круга з потрібною швидкістю. При цьому частково вирішується і друга задача оскільки в силу різного вильоту зерен на робочій поверхні круга (РПК) їх число зменшується (а отже і в контакті з ОМ) по мірі руху в напрямку від рівня зв'язки. Друга задача може бути вирішена встановленням оптимальної характеристики алмазоносного шару. Реалізації процесу самозаточування алмазних зерен в значній мірі можуть сприяти і інші фактори, наприклад, структурна недосконалість алмазних зерен (наявність включень, тріщин и т.д.) які можуть проявитися в умовах високошвидкісної контактної взаємодії зерен з ОМ.

На відміну від керованого процесу шліфування при обробці алмазними кругами на органічних зв'язках в режимі їх самозаточування висота вильоту алмазних зерен над рівнем зв'язки дуже мала, або відсутня взагалі [1]. В таких умовах алмазні зерна цілком знаходяться в зв'язці, яка щільно їх обжимає і таким чином заважає проявитися структурній недосконалості зерен. В таких умовах в контакті з ОМ знаходиться максимальна кількість зерен. Цей факт можна вважати приблизним поясненням особливості реалізації процесів самозаточування алмазних зерен при шліфуванні полікристалічних надтвердих матеріалів. На нашу думку певну роль у процесі самозаточування алмазних зерен може відігравати наявність на них різного виду покриттів [4].

З метою встановлення фізичних особливостей в зонах контакту покритого зерна зі зв'язкою і оброблюваних ПСТМ і виявлення на цій основі можливих резервів процесу шліфування були виконані теоретико-експериментальні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) системи «зв'язка круга – алмазне зерно – рельєфне товстошарове покриття – оброблювальний матеріал» з урахуванням наявності металофази в зерні. Розрахунки показали, що наявність металевого покриття на алмазному зерні вносить суттєві корективи в НДС системи шліфування.

Встановлено також, що наявність на алмазному зерні рельєфного товстошарового покриття при тих же умовах термосилового навантаження системи істотно зменшує величину напружень на межі «зерно – зв'язка», що пояснюється значним збільшенням поверхні контакту покритого зерна зі зв'язкою круга (рис. 2). Це є підтвердженням факту кращого утримання зерен у зв'язці, а, отже, підвищення їх ріжучого ресурсу. Разом з тим отримані дані дозволили встановити ще один дуже суттєвий момент, який полягає в тому, що наявність рельєфних товстошарових покриттів сприяє створенню підвищених напруг в оброблюваному матеріалі. Це також пояснюється збільшенням поверхні контакту покритого зерна зі зв'язкою круга, в результаті чого зростає жорсткість системи «зв'язка – зерно – оброблюваний матеріал». Ця обставина має виняткове значення бо в умовах відсутності впровадження алмазного зерна в ОМ з'єм припуску відбувається в основному за рахунок його крихкого мікроруйнування. А для цього необхідна реалізація в основному двох найважливіших умов: наявність на зерні гострих мікро-та субмікрокромки з одного боку (за рахунок забезпечення їх самозаточування) і зусилля певної величини з іншого.

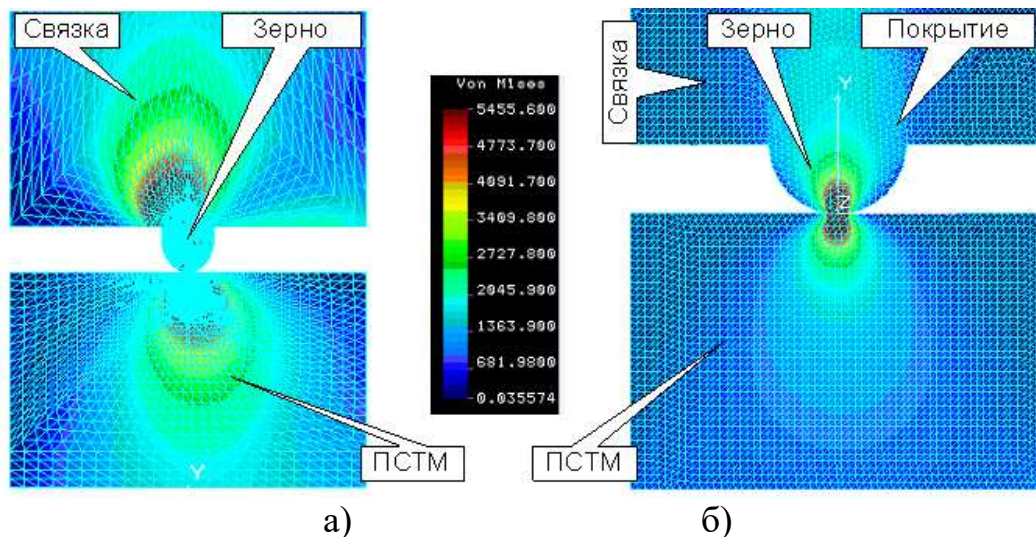


Рисунок 2. – Візуалізація впливу покриття на 3D НДС у системі шліфування:
 а) – без покриття; б) – з покриттям на основі Ni

Роль такого фактору як жорсткість зв'язки круга сприяє збільшенню тиску в контактї алмазного зерна з ОМ. Такі чинники, як товщина і міцність покриття повинні сприяти стримуванню процесу макроруйнування алмазного зерна, тому що реалізують ефект більш міцного його «обтиску». Остання обставина має сприятливо позначитися на інтенсифікації зняття припуску з оброблюваного ОМ.

На нашу думку, тільки шляхом органічного поєднання верстаних експериментів і методології 3D моделювання напружено-деформованого стану системи шліфування [5] можна реалізувати дієвий підхід до розкриття фізичної суті реалізації процесу самозаточування алмазних зерен при суттєво різних рівнях силової напруженості процесів шліфування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грабченко А. И. Особенности контактного взаимодействия алмазных кругов с СТМ при шлифовании / А. И. Грабченко, И. Н. Пыжов // В кн.: Контактные процессы при больших пластических деформациях. – Харьков: Вища школа, 1982. – С. 33–37.
2. Грабченко А. И. Повышение эффективности алмазного шлифования поликристаллических СТМ в режиме самозатачивания / А. И. Грабченко, И. Н. Пыжов // Сверхтвердые материалы. – 1983. – № 5. – С. 34–38.
3. Грабченко А. И. Повышение производительности шлифования ПСТМ с управлением режущим рельефом круга / А. И. Грабченко, И. Н. Пыжов // Сверхтвердые материалы. – 1982. – № 5. – С. 34–37.
4. Захаренко И. П. Алмазные инструменты и процессы обработки / И. П. Захаренко. – К.: Техніка, 1980. – 213 с.
5. Грабченко А. И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: учебное пособие / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Общеизвестно, что температурный фактор является основным ограничением повышения качества и производительности механической обработки. Поэтому в работе проведен теоретический анализ условий уменьшения температуры резания θ при шлифовании на основе аналитической зависимости, полученной с учетом распределения тепла, уходящего в поверхностный слой обрабатываемой детали и образующиеся стружки, из условия равенства работы резания и количества выделившегося при шлифовании тепла [1; 2; 3]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{l_2}{2 \cdot t}\right)} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{2 \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \frac{L}{V_{дет}}\right)} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho}} \cdot \frac{L}{t \cdot Q_{уд}}\right)}, (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $l_2 = \sqrt{2a \cdot \tau}$ – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м; $a = \lambda / (c \cdot \rho)$ – температуропроводность обрабатываемого материала, м²/с; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град.); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град.); $\tau = L / V_{дет}$ – время, с; L – длина контакта круга с деталью, м; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; t – глубина шлифования, м; $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$ – удельная производительность обработки, м²/с.

Как видно, температура резания при шлифовании θ вполне однозначно определяется отношением l_2 / t : чем оно больше, тем меньше θ . Следовательно, с точки зрения уменьшения температуры θ необходимо увеличивать параметр l_2 и уменьшать глубину шлифования t , увеличивая тем самым долю тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. Однако увеличение l_2 предполагает увеличение времени $\tau = L / V_{дет}$ теплового воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали за счет уменьшения скорости детали $V_{дет}$. Очевидно, это приведет к уменьшению производительности обработки в связи с одновременным уменьшением параметров режима шлифования $V_{дет}$ и t . Поэтому в зависимости (1) следует принять условие $Q_{уд} = const$, согласно которому уменьшить температуру резания при шлифовании θ можно уменьшением глубины шлифования t , т.е. применением многопроходного шлифования. В этом случае фактически все образующееся при шлифовании тепло уходит в обрабатываемую деталь, в образующиеся стружки уходит небольшое количество тепла. Вместе с тем, уменьшение температуры резания при шлифовании θ происхо-

дит в результате увеличения длины нагретой части адиабатического стержня l_2 , что может привести к появлению различных температурных дефектов на обрабатываемой поверхности. Поэтому параметр l_2 следует уменьшать, обеспечивая уменьшение температуры θ за счет уменьшения условного напряжения резания σ . Это идеальный случай с точки зрения достижения высоких показателей качества и производительности обработки. Реализовать его можно применением многопроходного шлифования с одновременным обеспечением высокой режущей способности круга и снижением интенсивности трения в зоне резания. Из этого вытекает, что уменьшение условного напряжения резания σ является основным условием уменьшения температуры резания при шлифовании θ и повышения качества и производительности обработки. Обеспечить уменьшение σ можно применением как многопроходного, так и глубинного высокопроизводительного шлифования. В связи с этим, перспективным является метод глубинного шлифования высокопористыми абразивными кругами, существенно снижающими силовую напряженность процесса шлифования за счет уменьшения трения в зоне резания и повышения режущей способности круга. Применение шлифовальных кругов с прерывистой рабочей поверхностью также способствует уменьшению условного напряжения резания σ и одновременно позволяет уменьшить температуру θ за счет периодичности теплового воздействия на обрабатываемую деталь и возможности ее частичного охлаждения в период кратковременного прерывания процесса шлифования.

Важным условием уменьшения условного напряжения резания σ и соответственно температуры резания θ следует рассматривать применение лезвийной обработки, характеризующейся меньшей интенсивностью трения в зоне резания, чем при шлифовании. В этом случае в зависимости (1) вместо глубины шлифования t необходимо рассматривать толщину среза a , и вместо скорости детали $V_{дет}$ – скорость резания V . Тогда $Q_{y\partial} = a \cdot V$ и

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{2 \cdot a} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot L}{c \cdot \rho \cdot V}}\right)} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\lambda \cdot L}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot a \cdot Q_{y\partial}}}\right)}. \quad (2)$$

С увеличением скорости резания V температура резания θ увеличивается, асимптотически приближаясь к наибольшему значению: $\theta = \sigma / (c \cdot \rho)$. Естественно, это приводит к увеличению удельной производительности обработки $Q_{y\partial} = a \cdot V$. Однако при этом необходимо уменьшать величину σ с целью уменьшения наибольшего значения температуры резания $\theta = \sigma / (c \cdot \rho)$.

Несомненно, уменьшение толщины среза a при условии $Q_{y\partial} = const$ позволяет уменьшить температуру резания θ , однако не столь значительно, как это происходит с уменьшением условного напряжения резания σ . Поэтому при лезвийной обработке, также как и при шлифовании, основным условием уменьшения температуры резания θ следует рассматривать уменьшение величины σ , например, применяя лезвийные инструменты из синтетических сверхтвердых материалов, которые обладают наименьшим коэффициентом трения и

высокой остротой режущего лезвия. Эффективно использовать твердосплавные и керамические лезвийные инструменты с износостойкими покрытиями, характеризующиеся высокой стойкостью и возможностью осуществления высокоскоростной высокопроизводительной обработки. В этом случае параметр $l_2 \rightarrow 0$ и фактически все образующееся при резании тепло уходит в образующуюся стружку, что предохраняет обрабатываемую деталь от чрезмерного теплового воздействия и повышает качество обработки. Благодаря этому, лезвийные инструменты из синтетических сверхтвердых материалов, а также твердосплавные и керамические лезвийные инструменты с износостойкими покрытиями, широко используются на финишных операциях взамен процесса шлифования, обеспечивая повышение качества и производительности обработки.

Таким образом показано, что температура резания θ при шлифовании и лезвийной обработке описывается одной и той же аналитической зависимостью. Отличие состоит лишь в значениях условного напряжения резания, которые, как известно, меньше при лезвийной обработке, поскольку при шлифовании они определяются интенсивным трением связки круга с обрабатываемым материалом. Этим объясняются более высокие значения температуры при шлифовании, что требует проведения дальнейших исследований по определению условий ее уменьшения.

Зависимость (1) можно представить в виде [1]:

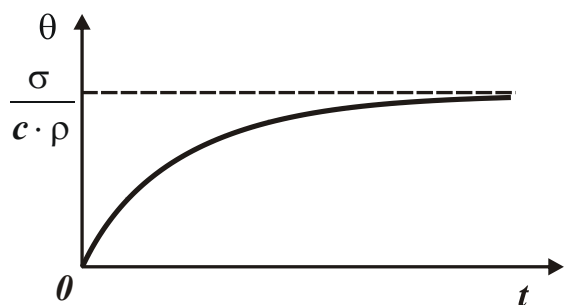


Рисунок 1. – Зависимость температуры θ от глубины шлифования t

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{Q_{y\partial}} \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \sqrt{2 \cdot t}\right)}, \quad (3)$$

где $R_{кр}$ – радиус круга, м.

С увеличением глубины шлифования t и $Q_{y\partial} = V_{дет} \cdot t$ температура резания при шлифовании θ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к значению $\sigma / c \cdot \rho$

(рис. 1). На основе зависимости (3) определены доли тепла, уходящего в образующиеся стружки α_1 и в обрабатываемую деталь α_2 при шлифовании:

$$\alpha_1 = \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot Q_{y\partial}} \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \sqrt{2 \cdot t}\right)}; \quad \alpha_2 = \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{c \cdot \rho \cdot Q_{y\partial}}{\lambda} \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \sqrt{2 \cdot t}\right)}. \quad (4)$$

Как следует из зависимостей (4), с увеличением глубины шлифования t доля тепла α_1 , уходящего в образующиеся стружки, увеличивается от 0 до 1, а доля тепла α_2 , уходящего в обрабатываемую деталь, наоборот, уменьшается от 1 до 0. В табл. 1 приведены расчетные значения отношения $l_2 / 2 \cdot t$, параметров α_1 и α_2 для исходных данных (шлифование закаленной стали ШХ15): $a = \lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda = 42 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град.})$; $Q_{y\partial} = 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; $R_{кр} = 0,2 \text{ м}$.

Таблица 1. – Расчетные значения отношения $l_2 / 2 \cdot t$ и параметров α_1 и α_2

$t \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	10	20	40	80	160	320
$l_2 / 2 \cdot t$	9,17	7,7	6,47	5,44	4,57	3,84
α_1	0,1	0,12	0,14	0,155	0,18	0,2
α_2	0,9	0,88	0,86	0,845	0,82	0,8

Из табл. 1 следует, что с увеличением глубины шлифования t в условиях обычного многопроходного шлифования имеет место незначительное увеличение α_1 и уменьшение α_2 , т.е. в обрабатываемую деталь уходит практически все образующееся при шлифовании тепло. Длина нагретой части адиабатического стержня l_2 значительно превышает глубину шлифования t . Этим и объясняется высокая вероятность образования температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях детали при шлифовании. Сравнение зависимостей (3) и (4) показывает, что характер изменения доли тепла α_1 , уходящего в образующиеся стружки, идентичен характеру изменения температуры резания при шлифовании θ . Следовательно, температура θ изменяется по закону изменения параметра α_1 , и зависимость (3) можно представить в виде:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \alpha_1. \quad (5)$$

Поэтому важным условием уменьшения температуры θ является уменьшение параметра α_1 за счет уменьшения глубины шлифования t при заданном значении $Q_{y\partial}$. Однако основным условием уменьшения температуры θ , как показано выше, следует рассматривать уменьшение условного напряжения резания σ , которое прямо пропорционально связано с температурой резания θ .

Применение полученных решений позволило решить проблему производства формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности на основе применения современных технологий механической обработки с обеспечением высоких показателей качества и точности обрабатываемых поверхностей высокоточных деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

- Новиков Ф. В. Упрощенный расчет температуры резания при шлифовании и лезвийной обработке / Ф. В. Новиков, В. И. Полянский // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – № 17 (1239). – С. 87–92.
- Новиков Ф. В. Аналитическое определение температуры резания при лезвийной обработке / Ф. В. Новиков, В. И. Полянский // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – № 33 (1205). – С. 133–138.
- Новиков Ф. В. Оптимальные решения в технологии машиностроения: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. Г. Шкурупий. – Д.: ЛИРА, 2018. – 424 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОКРЫТИЙ

Для увеличения срока службы режущего инструмента целесообразно проводить упрочнение. Одним из актуальных и активно развивающихся способов упрочнения изделий является нанесение различных видов покрытий. Характеристики и свойства упрочненного слоя зависят от материала и способа его осаждения на рабочую поверхность.

Проведенные промышленные испытания показали, что срок службы упрочненного разными способами инструмента отличается [1]. На его долговечность непосредственно влияют структура основного металла и состав компонентов нанесенных покрытий, а также их механические свойства. Кроме этого, одной из причин разной эксплуатационной стойкости является структурная неоднородность и неравновесное состояние фаз, нанесенных пленочных покрытий.

Из анализа литературных источников [2] следует, что фазовый состав упрочняющих покрытий в первую очередь зависит от концентрации азота. При его содержании от 30 до 50 % формируется соединение TiN, при понижении азота до 25 % характерно получение нитрида титана Ti₂N. В большинстве случаев осаждения покрытие Ti₂N является многофазным и состоит из (Ti- TiN- Ti₂N), в котором Ti₂N является наиболее преобладающей фазой такого покрытия.

Кроме того, соединения Ti с N, зависят от давления азота в камере (P_N) и могут состоять из металлической α-Ti капельной фазы (количество которой уменьшается с увеличением P_N), стехиометрического нитрида титана TiN, TiN + α, TiN + α + Ti₂N, Ti₂N + α + TiN, а также нестехиометрического TiN_x, отличающегося по содержанию азота (например, TiN_{0,6}, TiN_{0,79}, TiN_{0,85} и т.д.). Нижняя концентрационная граница области гомогенности мононитрида титана соответствует TiN_{0,25} [3].

При разной концентрации азота изменяются и механические свойства упрочняющих покрытий. Так, микротвердость нитрида титана TiN_{0,98} в 1,66 раз, выше чем TiN_{0,59}. Максимальная твердость соответствует соединению Ti₂N либо структуре, которая состоит из Ti₂N + TiN или Ti₂N + TiN_x [4]. В зависимости от фазового состава покрытия, скорости испарения Ti и парциального давления азота формируются покрытия, состоящие из: только TiN без других фаз; Ti; Ti + TiN; а также Ti₂N.

На границе контакта капельной фазы (неионизированного азотом α-Ti) с нитридом титана образуется Ti₂N с дефицитом по азоту (25...42 ат. % N₂) в результате твердофазной реакции TiN_{2-x} + α-Ti → Ti₂N [4].

Представляют интерес и являются актуальными исследования структуры металла упрочненного покрытием TiN инструмента с применением оптико-математических оценок для выявления причин различия в эксплуатационной стойкости.

Для повышения долговечности режущего инструмента нанесено покрытие TiN на установке типа "Булат-6". Сопоставительно оценены два метода очистки и нанесения упрочняющих многослойных покрытий. В первом случае, нанесение покрытия TiN осуществляли вакуумно-дуговым методом с использованием бомбардировки ионами титана (КИБ). Толщина полученного покрытия TiN достигала 4 мкм. Во втором – вакуумно-дуговым методом с использованием ВЧ-разряда с толщиной слоя 3,3 мкм.

С помощью термоэлектронной эмиссии выполнены исследования по распределению компонентов, упрочненной различными способами поверхности режущего инструмента. Установлено, что среднее количественное соотношение распределенных компонентов на всей поверхности тонкостенного ножа, упрочненного TiN (методом КИБ), составляет: 71,21 % титана, 25,59 % азота, 1,88 % углерода и 1,32 % кислорода [1].

При осаждении покрытия с использованием ВЧ-разряда получены следующие данные: 63,43 % титана, 31,76 % азота, 2,25 % углерода, 1,84 % кислорода, 0,03 % кремния и 0,69 % железа.

В результате локального микрорентгеноспектрального анализа упрочненной поверхности (КИБ) выявлены следующие компоненты: углерод с концентрацией от 1,59 до 18,17 %, железо до 0,5 %, азот (19,19 – 26,16 %), кислород (1,29 – 14,29 %), алюминий (0,08 – 0,31 %), кремний (0,08 – 0,65 %), кальций (1,57 – 3,87 %) и титан (41,93 – 70,91 %). После ВЧ-обработки на поверхности ножа выявлены: С (3,00 – 35,56 %), N (4,73 – 39,32 %), O (2,13 – 16,27 %), Na (0,27 – 5,13 %), Al (0,02 – 0,05 %), Si (0,07 – 0,17 %), Cl (0,09 – 3,13 %), Fe (0,43 – 12,2), K (0,21 – 0,64), Ca (0,17 – 0,43), Ti (32,88 – 61,85).

Полученные данные позволяют заключить, что формирование покрытия TiN сопровождается образованием соединений азота с металлами подложки типа Me_xN_y , в основном из фаз типа Fe_xN_y , Fe_xTi_y , Ti_xN_y , а также составляющие, включающие углерод, кислород и другие микродобавки.

О наличии в составе покрытия приведенных фаз разного состава и свойств, свидетельствует и выявленный разброс показаний нанотвердости от 16,24 ГПа до 34,31 ГПа [5].

В работе исследовали изображения микроструктур, упрочненных покрытием TiN поверхностей режущего инструмента, полученные на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV при ускоряющих напряжениях 10 кВ. Оценку степени структурной неоднородности покрытий проводили с использованием разработанного оптико-математического метода [6].

Проведен сравнительный анализ, формируемой степени структурной неоднородности упрочненной поверхности инструмента в зависимости от параметров обработки. Предложенный метод оценки позволил выявить существенную неоднородность в структуре покрытий, нанесенных вакуумно-дуговым ме-

тодом с бомбардировкой ионами титана. Выполнен сопоставительный анализ металлографических изображений, упрочненной нанопокрытием TiN поверхности инструмента. Оценено количество фаз на 17 исследуемых фотографиях инструмента (7 – нанесенного методом КИБ и 10 – с использованием ВЧ – разряда). Выявлены соединения титана и азота с компонентами основы, что связано с низким качеством исходного инструмента из-за наличия пор в металле. Установлено, что нанесение покрытия на поверхность инструмента с использованием ВЧ – разряда в большей мере препятствует диффузии компонентов с основного металла, что снижает структурные изменения в 5 раз по сравнению с исходным состоянием. Кроме того, такое покрытие препятствует деградации рабочего слоя, обеспечивая его стабильность при эксплуатации, и повышает долговечность в 47 раз. Установлено, что дальнейшая стойкость упрочненного инструмента может быть повышена при использовании качественного холоднокатаного металлопроката.

Детальный анализ формируемых структур нанесенного слоя с использованием оптико-математического метода позволяет прогнозировать изменение фазовых составляющих и развитие повреждаемости упрочненного инструмента в зависимости от параметров и технологии осаждения различных типов и состава покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Development of complex technology of strengthening of thin-walled cutting tools / T.S. Skoblo, A.I. Sidashenk1, S.P. Romaniuk et al. // Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics (22). – Kharkov, 2016. – № 6. – P.286-290.
2. Protective Coatings and Thin Films: Synthesis, Characterization and Applications Y. Pauleau, Péter V. Barna, - Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997. - 664 p.
3. Кунченко В. В. Формирование TiNx-покрытий конденсацией плазмы дуги низкого давления с положительным анодным падением потенциала / В. В. Кунченко, И. И. Аксёнов // ВАНТ. – 2000. – №4. – С.165–172.
4. Щерба В. Я. Особенности формирования тонкопленочных вакуумных покрытий из композиционных материалов на поверхностях трения машиностроительных изделий / В. Я. Щерба // Вестник Полоцкого государственного университета 2013. – С. 102–106.
5. Strengthening method for thin-walled knives with multi-layer nanocoatings and quality assessment by non-destructive method / T. S. Skoblo, S. P. Romaniuk, A. I. Sidashenko et al. // Journal of Advanced Microscopy Research, 2018. - Vol. 13. - No. 3. - P.333-338.
6. Скобло Т. С. Методика математической оценки фазового состава стали / Т. С. Скобло, Е. Л. Белкин, С. П. Романюк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Випуск 146. – С. 8–24.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЫЧНОГО И ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СНИЖЕНИЯ СИЛОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ОБРАБОТКИ

Шлифование является одним из основных методов механической обработки и требует постоянного совершенствования. Поэтому в работе предложен теоретический подход к выявлению и обоснованию новых технологических возможностей процесса шлифования, основанный на определении тангенциальной P_z и радиальной P_y составляющих силы резания (рис. 1), температуры резания θ и градиента температуры $grad\theta$ с учетом процессов резания и трения связки круга с обрабатываемым материалом [1 – 3]:

$$P_z = P_{z_{рез}} + P_{z_{тр}} = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дем0}}{V_{кр}} + f_1 \cdot c \cdot (V_{дем} - V_{дем0}) \cdot \tau; \quad (1)$$

$$P_y = P_{y_{рез}} + P_{y_{тр}} = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дем0}}{K_{рез} \cdot V_{кр}} + c \cdot (V_{дем} - V_{дем0}) \cdot \tau; \quad (2)$$

$$\theta = \left[\sigma \cdot V_{дем0} + \frac{f_1 \cdot c \cdot (V_{дем} - V_{дем0}) \cdot V_{кр} \cdot \tau}{F} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{c_m \cdot \rho \cdot \lambda}}; \quad (3)$$

$$grad\theta = \frac{\sigma \cdot V_{дем0}}{\lambda} + \frac{f_1 \cdot c \cdot (V_{дем} - V_{дем0}) \cdot V_{кр} \cdot \tau}{\lambda \cdot F}, \quad (4)$$

где $P_{z_{рез}}$, $P_{y_{рез}}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, обусловленные процессом “чистого” резания, Н; $P_{z_{тр}}$, $P_{y_{тр}}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, обусловленные процессом трения связки круга с материалом, Н; σ – условное напряжение резания, Н/м²; F – площадь поперечного сечения обрабатываемого прямолинейного образца, м²; $V_{дем}$ – номинальная линейная скорость съема материала, м/с; $V_{дем0}$ – фактическая линейная скорость съема материала, м/с ($V_{дем0} < V_{дем}$); $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $K_{рез} = P_{z_{рез}} / P_{y_{рез}} = ctg(\psi + \gamma)$ – коэффициент резания; ψ – условный угол трения режущего зерна с обрабатываемым материалом ($tg\psi = f$ – коэффициент трения режущего зерна с обрабатываемым материалом); γ – условный (отрицательный) передний угол режущего зерна; f_1 – коэффициент трения связки круга с обрабатываемым материалом; c – жесткость технологической системы, Н/м; τ – время обработки, с; c_m – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град.); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град.).

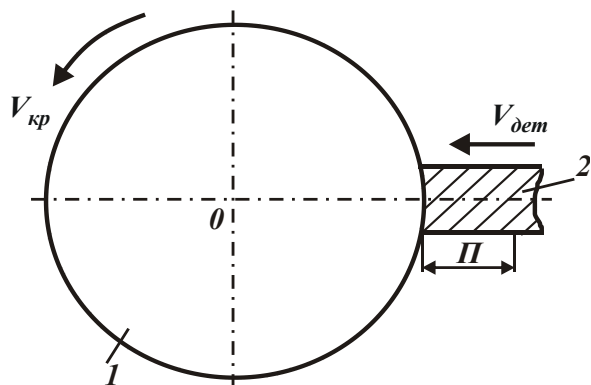


Рисунок 1. – Расчетная схема шлифования: 1 – круг; 2 – деталь

Вторые слагаемые в зависимостях (1) и (2) обусловлены упругими перемещениями, возникающими в технологической системе, в связи с наличием трения связки круга с обрабатываемым материалом и отличием номинальной $V_{дет}$ и фактической $V_{дет0}$ линейной скорости съема материала. Поэтому уменьшить составляющие силы резания P_z и P_y можно при выполнении условия $V_{дет0} = V_{дет}$, например,

за счет применения прерывистого шлифования [4], которое благодаря ударно-циклическому взаимодействию круга с обрабатываемой деталью способствует уменьшению упругих перемещений, возникающих в технологической системе, вследствие запаздывания перемещений от действия кратковременной силы [1]. Это интенсифицирует процесс правки круга и приводит фактически к исключению вторых слагаемых в зависимостях (1) и (2), в результате P_z и P_y не зависят от времени обработки τ и процесс прерывистого шлифования протекает стабильно во времени:

$$P_z = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0}}{V_{кр}} \cdot \left(1 + \frac{l_{02}}{l_{01}}\right); \quad P_y = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{дет0}}{K_{рез} \cdot V_{кр}} \cdot \left(1 + \frac{l_{02}}{l_{01}}\right), \quad (5)$$

где l_{01} , l_{02} – длины рабочего выступа и впадины прерывистого круга, м.

Безразмерное выражение $(1 + l_{02}/l_{01})$ определяет степень увеличения фактической линейной скорости съема материала $V_{дет0}$ рабочим выступом прерывистого круга в связи с отсутствием съема материала в период прохождения впадиной круга зоны шлифования. Из зависимостей (5) следует, что составляющие силы резания P_z и P_y тем больше, чем больше отношение (l_{02}/l_{01}) . Наименьшие значения P_z и P_y достигаются при $l_{02}=0$, т.е. в условиях обычного шлифования сплошным кругом. Однако, как показано выше, при обычном шлифовании сплошным кругом расчет составляющих силы резания P_z и P_y следует производить по зависимостям (1) и (2) с учетом вторых слагаемых, обусловленных трением связки круга с обрабатываемым материалом. Поэтому составляющие силы резания P_z и P_y при обычном шлифовании сплошным кругом будут всегда больше, чем при прерывистом шлифовании.

Кроме того, при прерывистом шлифовании уменьшается условное напряжение резания σ , что приводит к уменьшению P_z и P_y .

Исходя из зависимости (3), температура резания θ при шлифовании увеличивается с увеличением параметров σ , $V_{дет0}$, f_1 , c , $V_{кр}$, $V_{дет} - V_{дет0}$, τ и уменьшением F . Этим, в частности, объясняются сложности увеличения скоро-

сти круга $V_{кр}$ с целью повышения производительности и точности обработки, уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности.

Наибольшее влияние на температуру резания θ при шлифовании оказывает время обработки τ , которое приводит к ее непрерывному увеличению. В этих условиях процесс шлифования практически неосуществим, так как через некоторое время его необходимо прекращать из-за резкого увеличения температуры резания. Поэтому основным условием уменьшения температуры резания θ при шлифовании следует рассматривать исключение из зависимости (3) второго слагаемого за счет выполнения условия $V_{dem0} = V_{dem}$ путем обеспечения высокой режущей способности круга и снижения интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом. Этим можно объяснить возможность существенного уменьшения температуры резания θ при прерывистом шлифовании, что имеет место на практике. Причем, за счет уменьшения времени τ контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом можно дополнительно уменьшить температуру резания θ .

Уменьшение коэффициента трения f_1 также способствует снижению температуры резания θ , однако с увеличением времени обработки τ второе слагаемое в зависимости (3) будет непрерывно увеличиваться, вызывая интенсивное увеличение θ . Поэтому основным условием уменьшения температуры резания θ является обеспечение высокой режущей способности круга в процессе шлифования и выполнение условия $V_{dem0} = V_{dem}$.

Зависимость для определения температуры резания при прерывистом шлифовании имеет вид:

$$\theta = \frac{\sigma \cdot V_{dem0}}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{l_{02}}{l_{01}}\right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c_m \cdot \rho}}. \quad (6)$$

В этом случае время обработки τ в значительно меньшей мере влияет на температуру резания, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Причем, при условии полного охлаждения зоны шлифования за период прерывания процесса шлифования время обработки τ – это время контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемым материалом. Оно значительно меньше времени обработки, которое необходимо учитывать при определении температуры резания при обычном шлифовании сплошным кругом.

Основным направлением уменьшения $grad\theta$ является исключение второго слагаемого в зависимости (4) за счет выполнения условия $V_{dem0} = V_{dem}$. В противном случае с течением времени обработки на обрабатываемых поверхностях могут появиться прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты. Ограничения, накладываемые на $grad\theta$, требуют уменьшения скорости круга $V_{кр}$, что имеет место на практике и снижает эффективность применения процесса шлифования.

При прерывистом шлифовании, вследствие незначительности второго слагаемого в зависимости (4) и возможности его не учитывать в расчетах, градиент температуры $grad\theta$ выражается зависимостью:

$$grad\theta = \frac{\sigma \cdot V_{dem0}}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{l_{02}}{l_{01}}\right). \quad (7)$$

Сравнивая зависимости (4) и (7), видно, что при прерывистом шлифовании $grad\theta$ меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Поэтому меньше вероятность появления температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях, что подтверждается практикой шлифования [4]. Необходимо отметить, что при прерывистом шлифовании за счет уменьшения упругого перемещения $y = P_y / c$, возникающего в технологической системе

$$y = \frac{\sigma \cdot F \cdot V_{dem0}}{c \cdot V_{кр}} \cdot tg(\psi + \gamma) + (V_{dem} - V_{dem0}) \cdot \tau, \quad (8)$$

и в связи с уменьшением трения связки круга с обрабатываемым материалом (исключением второго слагаемого в зависимости) можно повысить точность обработки. Это в конечном итоге обеспечивает высококачественную обработку деталей, в особенности изготовленных из труднообрабатываемых материалов.

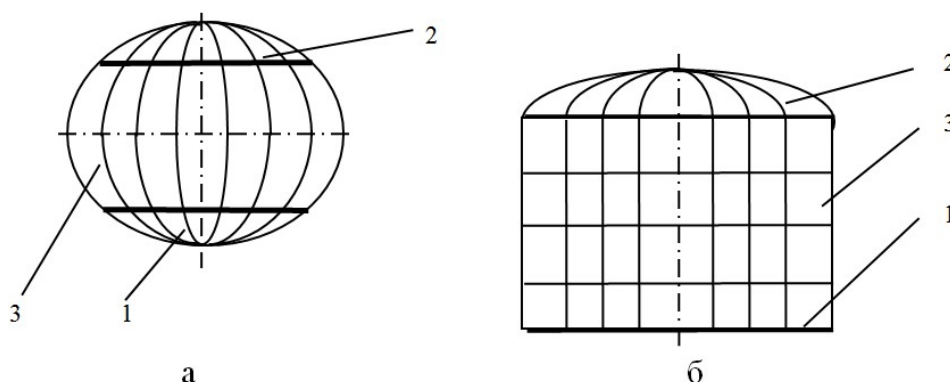
Таким образом, аналитически установлено, что сила и температура резания, а также градиент температуры при прерывистом шлифовании меньше, чем при обычном шлифовании сплошным кругом. Расчетами установлено, что при равенстве длин рабочего выступа и впадины прерывистого круга температура резания принимает минимальное значение и уменьшается с уменьшением длины рабочего выступа круга. Это указывает на эффективность создания на рабочей поверхности прерывистого круга большого количества выступов и впадин. Установлено также, что наибольший эффект снижения температуры резания при прерывистом шлифовании достигается в условиях глубинного шлифования вследствие увеличения отношения скоростей круга и детали и соответственно количества контактов рабочих выступов прерывистого круга с фиксированной точкой на обрабатываемой поверхности. Достоверность полученных теоретических решений подтверждена экспериментально и на этой основе разработаны и внедрены в машиностроительное производство практические рекомендации по повышению эффективности процессов обычного и прерывистого шлифования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новіков Ф. В. Фінішна обробка деталей різанням: монографія / Ф. В. Новіков, І. О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. – 270 с.
2. Рябенков И. А. Физические эффекты прерывистого шлифования / И.А. Рябенков // Перспективні технології та прилади: Збірник наукових праць. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – №11 (2). – С. 165–170.
3. Технологии производства: проблемы и решения: монография / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, С.А. Дитиненко и др. – Д.: ЛИРА, 2018. – 536 с.
4. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
5. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки: монография / Ф. В. Новиков. – Д. : ЛИРА, 2018. – 400 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОЙ ШТАМПОВКИ

Повышение эффективности использования современных промышленных комплексов с позиций ресурсо- и энергосбережения во многих случаях связаны с расширением области применения крупногабаритных сооружений, повышением качества крупногабаритных изделий и увеличением их номенклатуры (ассортимента). К этим изделиям относятся, прежде всего, сооружения и агрегаты, изготавливаемые для хранения, переработки и транспортировки продуктов, энергоносителей и сырья. Примеры таких конструкций – это цилиндрические и сферические резервуары диаметрами более 3–5 м (рис.1), однослойные или многослойные, а также другие металлоконструкции, изготавливаемые из цельных и штампосварных заготовок. Как правило, их изготовление чрезвычайно трудоемко из-за отсутствия эффективных методов изготовления наиболее сложных элементов конструкции, таких, как сферические и эллиптические днища, крышки осесимметричной и неосесимметричной формы в плане.



*Рисунок 1. – Типовые сооружения, изготавливаемые с использованием методов штамповки: сферический (а) и цилиндрический (б) резервуары:
1, 2 – нижнее и верхнее днище; 3 – пояс резервуар*

Приемлемых методов изготовления подобных изделий непосредственно в зоне сооружения или примыкающей к ней из-за их больших размеров, достигающих 20 – 50 и более метров, а также сложности управления качественными параметрами протяженных участков деталей, практически не существует [1–4]. Во многих случаях внутренняя поверхность в процессе эксплуатации подвергается разрушающему действию коррозии. Решение проблемных вопросов ремонта крупногабаритных изделий или их элементов непосредственно изготовлением в зоне их сооружения уменьшит в разы стоимость ремонтных работ и позволит повысить точность и качество. Минимизация затрат может и трудо-

емкости ремонтных работ может быть достигнута, с одной стороны, при использовании достаточно энергетически затратных технологий, например с использованием специального прессового оборудования [1, 2] либо более широкого внедрения методов штамповки взрывом и других методов беспрессовой штамповки [3]. Поэтому важнейшими задачами, стоящими перед технологией машиностроения, являются снижение непроизводительных затрат, обусловленных низкой точностью изготовления заготовок, улучшение эксплуатационных и прочностных свойств изделий. Особое значение приобретает совершенствование методов управления процессом формообразования штамповкой, в первую очередь, тонколистовых заготовок в зоне сооружения и эксплуатации крупногабаритных конструкций. Это требует решения вопросов предупреждения потери пластической устойчивости в виде гофров (бухтин) на поверхности и локальных утонений стенок, превышающих допустимые значения на различных стадиях их формоизменения (а не только на конечных).

Цель работы – разработка прогрессивного метода листовой штамповки полуфабрикатов и деталей для проведения ремонтных работ непосредственно в зоне эксплуатации крупногабаритных сооружений с искусственным регулированием технологических несовершенств, например, локальных штамповок или гофрирования на поверхности полуфабрикатов, регулирования размеров зон пластической устойчивости. Изготовление крупногабаритных изделий в зоне сооружения конструкций больших габаритов осуществляют специальные строительные-монтажные организации и управления. Большинство методов изготовления изделий предполагает их предварительную поэлементную штамповку на предприятии, как правило, удаленном на значительное расстояние от места сооружения, затем последующее рулонирование отштампованных полуфабрикатов для придания им приемлемых для транспортировки размеров, транспортировку, разворачивание рулона в месте сооружения крупногабаритной конструкции с использованием специальной техники (грузоподъемной и транспортной) и трудоемкую сборку. Находят также применение и методы последовательного по локальным участкам формообразования изделий из отдельных элементов типа лепестков с последующей их сборкой на монтажных площадках и использованием для повышения точности гидрораздува [3].

Меридиональные лепестки получают газопламенной, плазменной резкой по копиру из листа, фрезерованием стопы листов на копировально-фрезерных станках и др. От точности изготовления меридиональных лепестков зависит, в конечном счете, качество (например, сферичность) оболочки и трудоемкость ее сооружения. В соответствии с этим способом после соединения стыков производят гидрораздув оболочки для придания ей окончательной формы. Предлагаемый способ изготовления тонкостенной сферической оболочки позволяет изготавливать их на монтажных площадках, используя подъемные и такелажные механизмы, что снижает трудозатраты на изготовление, транспортирование достаточно объемного полуфабриката к месту монтажа. Способ позволяет снизить сроки изготовления за счет исключения трудоемкого процесса сварки. В то же время возможно получение тонкостенной сфе-

рической оболочки, выдерживающей рабочее давление до 4 МПа. Вместе с тем, использование целого ряда прогрессивных методов штамповки, кроме трудностей, связанных с выбором оборудования и оснастки, ограничено при изготовлении тонкостенных крупногабаритных деталей возникновением гофров на поверхности изделий, способствующих возникновению чрезмерных локальных утонений, превышающих допустимые иногда в 1,5-2 раза.

Высокая трудоемкость, отсутствие прогрессивных технологий или специального оборудования обуславливает необходимость проведения дальнейших усовершенствований технологии изготовления такого типа изделий с использованием методов штамповки. Это обусловлено, как правило, необходимостью и сложностью доставки крупногабаритных деталей к месту монтажа, большими объемами сварочных и подготовительных работ, низкой точностью из-за сравнительно небольших размеров отдельных частей изделий.

При проектировании технологии штамповки с ориентацией на снижение объема сварочных работ и совершенствуя методы непосредственного использования штамповки в зоне сооружения крупногабаритных сооружений, необходимо учитывать такие параметры изделий: 1) гибкость (отношение ее диаметра или условного размера к толщине стенки) или относительную толщину детали (обратное гибкости значение); 2) относительную глубину штамповки, определяемую отношением глубины (высоты) детали к ее диаметру или условному размеру; 3) механические характеристики материала (пределы прочности, текучести, относительное удлинение); 4) требования к качеству изделий, определяемые величиной утонений, наличием и размерами гофров на поверхности.

Важно также и условие минимизации затрат на транспортировку заготовок и формообразование их до получения оболочки крупногабаритного сооружения – резервуара. К таким методам можно отнести и предлагаемый метод стендовой штамповки с использованием беспрессовых термофизических методов локального воздействия на плоскую или, в общем случае, пространственную заготовку (рис. 2, рис. 3).

Пространственная или плоская заготовка 2 в соответствии со способом фиксируется на основании 6 с помощью колец-прижимов 3. Термофизическое воздействие оказывается, используя специальной конструкции камеру для создания внешних воздействий (с термовоздействием, например, паром). При выборе технологических параметров локальной выштамповки на полуфабрикате можно использовать условие, сформулированного из энергетических соображений: $W_{дч} \leq W_{пз}$, где $W_{дч}$, $W_{пз}$ – работа пластической деформации соответственно купольной (донной, “несущей”) и периферийной (фланцевой) зон штампуемой заготовки. Работа пластической деформации в общем случае [3, 4]: $W = \xi(n) \sigma_b V_o l_i^{1+n}$, где $\xi(n)$, n – коэффициенты, зависящие от механических характеристик материала заготовки, $\xi(n) = 1,55$; $n \approx 0,10 \dots 0,65$; V_o – объем плоской заготовки (или ее части); для донной части осесимметричной заготовки: $V_{одч} = 0,785 \cdot \pi d^2$; для сопрягающейся с ней периферийной, фланцевой, части: $V_{опз} = 0,785 \cdot \pi d^2 (k^2 - 1)$; k – степень вытяжки, определяемая отношением диаметра заготовки к диаметру детали (отверстия матрицы); l_i – средняя интен-

сивность деформации соответствующего участка заготовки (фланца или донной части).

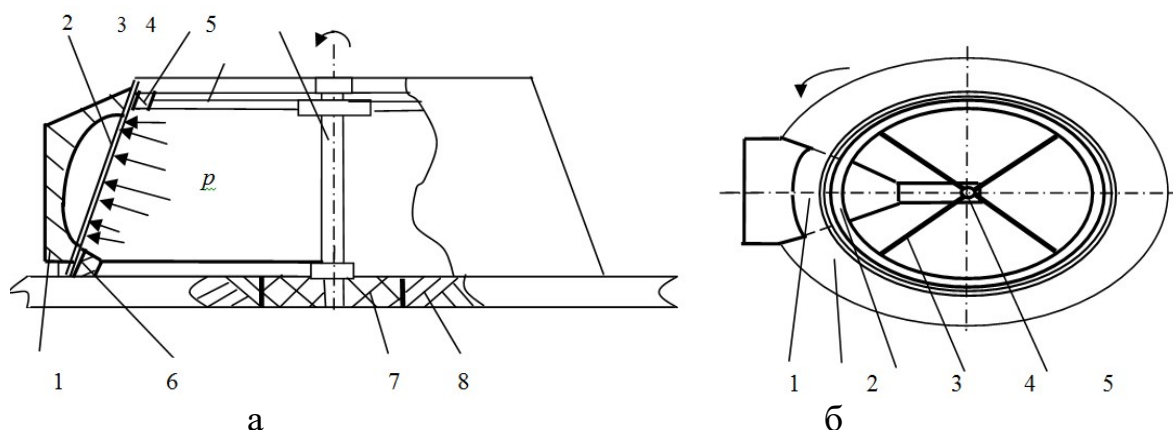


Рисунок 2. – Схема стандовой штамповки с использованием термофизических методов локальной штамповки: а, б – фронтальный и горизонтальный вид: 1 – матрица-сектор; 2 – пространственный полуфабрикат; 3 – прижим; 4 – упор; 5 – ось; 6 – основание; 7 – втулка

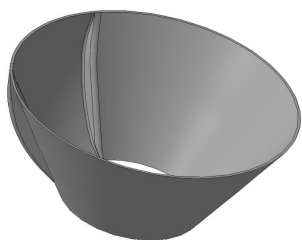


Рисунок 3. – Полуфабрикат, изготавливаемый стандовой штамповкой (3D-модель)

Используя приведенные зависимости, можно оценить степень деформации в опасном сечении (размещенного при штамповке гидроэластичным пуансоном, как правило, в куполе донной части детали) в зависимости от размеров фланца заготовки и его деформации. Дополнительным преимуществом можно считать и вытекающий из условия вывод о возможности использования при интенсификации процесса вытяжки методов искусственного регули-

рования размеров зон деформации [2]. Использование разработанных технологий (А.С. № 1540121, 1573631, 1575418, 1658477 и др.) позволяет существенно (в 10 и более раз) снизить сроки и стоимость ремонтных работ крупногабаритных сооружений, например, резервуаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мошнин Е.Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей / Е.Н. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1973. – 240 с.
2. Способ изготовления сферических оболочек / М. Г. Скакунов, К.К. Липодат и др. // А.С. СССР № 755388 В 21D 51/08, Е 04Н 07/14 от 27.09.77 г.
3. Степанов В. Г. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций / В. Г. Степанов, П. М. Сипилин и др. – Л.: Судостроение, 1966.–292 с.
4. Савченко Н. Ф. О проектировании техпроцессов гидровзрывной тонколистовой штамповки-вытяжки крупногабаритных деталей типа днищ / Н. Ф. Савченко // Импульсная обработка металлов давлением: сб. статей под ред. канд. техн. наук В.К. Борисевича. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 51–56.

Савченко Н. Ф.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

Третьяк В. В.

Национальный аэрокосмический университет
им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков, Украина

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПНЕВМОЗАРЯДОВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА

Ледяные заторы на реках, водохранилищах и морских акваториях могут быть причиной многих экологических бедствий, обусловленных замерзанием или таянием льда (мор рыбы, преждевременное замерзание реки и прекращение судоходства, исключение нежелательных последствий из-за использования мощных источников энергии типа метаемых с летательного аппарата бомб или ракет, подледного взрыва больших масс зарядов взрывчатых веществ).

Известно достаточно большое количество разнообразных методов локального разрушения льда в водоемах, относимых как мероприятия к предупредительным или к активным [1].

Предупредительные методы предусматривают ослабление льда в процессе всего времени его образования и последующее механическое разрушение льда с использованием активных мероприятий (при возникновении опасности). Примерами предупредительных мероприятий могут быть такие способы ослабления льда как: покрытие солью его поверхности (поваренной солью и хлористым калием) для снижения температуры плавления льда; использование порошкообразных зачерняющих материалов, например, каменноугольной золы, угольной пыли и т. д., разбрасываемых на лед с наземного транспорта или с самолета для усиления поглощения поверхностью льда солнечной радиацией (погложительная способность льда увеличивается на 10...95 %) [1-3]. К подобного типа решениям можно также отнести и использование теплоизолирующих покрытий (пенольда (замерзшей пены, применяемой при тушении пожара), опилок и др. материалов) для искусственного снижения толщины льда в зонах размещения покрытий и предупреждения формирования мощных заторов льда. Применяются также и различные модификаторы (химические вещества, изменяющие характер и процесс кристаллизации и, следовательно, прочностные характеристики льда).

Однако при выборе методов предупреждения экологических бедствий необходимо, зачастую, учитывать факторы времени, необходимость быстрого осуществления природоохранных мероприятий, а также возможность наиболее эффективного решения вопросов безопасности для окружающей среды и фауны. Именно с этих позиций могут быть более предпочтительны активные методы локального разрушения льда в водоемах. К ним относят такие методы, как струйные технологии (применение энергии водяной струи (давление

до 100 МПа)), а также искусственное создание подо льдом локальных воздушных полостей (с помощью эластичных наполненных воздухом оболочек) и импульсные воздействия с использованием энергии взрыва бризантных и газовых взрывчатых веществ.

Проведенный анализ возможностей и преимуществ известных активных методов локального разрушения льда с позиций экологической безопасности свидетельствует о перспективности газовзрывных методов локального разрушения льда. При их выборе следует исходить из того, что технология и технологическое оснащение должно быть мобильным, автономным и простым при освоении производства (реализации процесса). Газовзрывной метод разрушения льда отвечает этим требованиям в наибольшей степени. Одним из таких способов может быть и разработанный в ХНЭУ им. С. Кузнеця метод (патент Украины № 97667) локального разрушения льда 1 с использованием смесей 6 горючего газа и окислителя, заполняющих легкоразрушаемые емкости 4, размещаемые предварительно в свернутом виде под ледяным покровом (рис. 1 а, б). Размещение емкостей может производиться с использованием поплавковых элементов для всплытия емкостей в требуемое время.

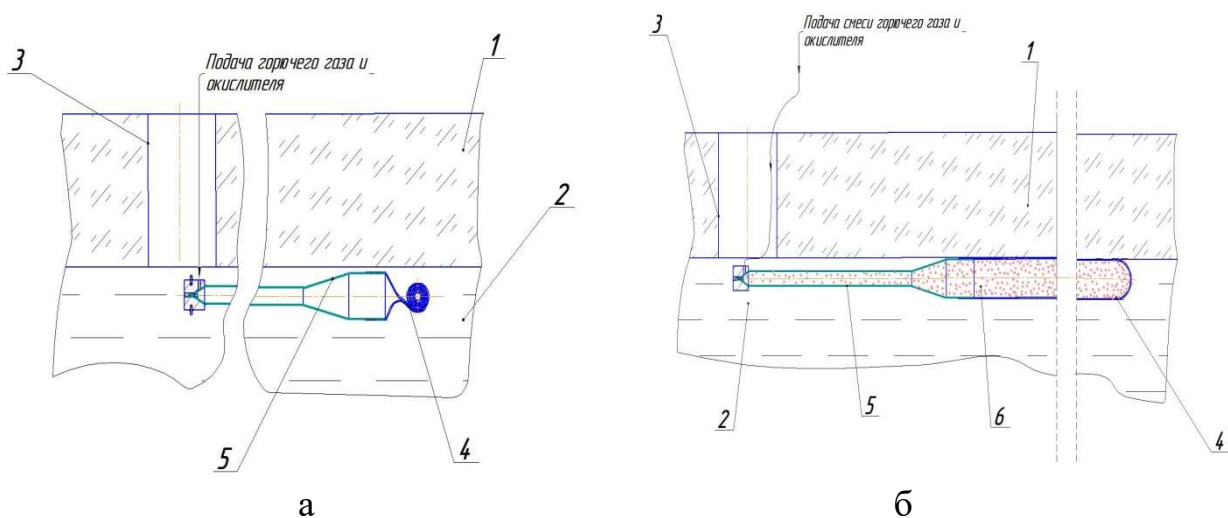


Рисунок 1. – Схема способа локального разрушения льда (патент Украины №97667): а – до подачи взрывчатой смеси; б – после подачи

Способ локального разрушения льда в водоеме осуществляется следующим образом. Непосредственно подо льдом 1 (рис. 1) в водоеме через отверстие 3 размещают в воде 2 эластичную оболочку 4, которая выполнена из водонепроницаемого материала, например полиэтилена, для создания газового заряда (пневмозаряда). В качестве взрывчатого вещества используют газовую стехиометрическую смесь, например, пропана и кислорода, ацетилена и кислорода (или воздуха), водорода и кислорода (что экологически безупречно, но более дорогостоящее в подготовке и проведении подрыва).

Смеси создаются непосредственно перед осуществлением взрыва или взрывов подачей каждого газа из отдельного баллона в смеситель (условно не показаны) или в специальном газогенераторе (в газодетонационном устройстве,

например, в соответствии с патентом Украины № 72357). При необходимости (значительная толщина льда, больше чем 0,5 м, или повышение производительности труда и допустимости для фауны) подо льдом могут размещать дополнительный заряд газового взрывчатого вещества (условно не показан) или повышать давление в полости оболочки или оболочек (с одновременным или раздельным взрывом пневмозарядов).

Диаметр эластичной оболочки для газового заряда выбирают по энергетическим соображениям (примерно 0,2 ... 0,5 средней толщины льда, но не менее 80...100 мм). Длина развертывающейся оболочки соответствует необходимой длине участка локального разрушения льда после взрыва. Величина диаметра зависит от прочности, толщины оболочки и начального давления газовой смеси, из условия обеспечения стабильной детонации газовой смеси для создания интенсивных потоков воды и колебаний льда. Продольные размеры оболочки для газового заряда могут, как показывают расчеты и опыты, более чем в 100...400 раз превосходить толщину льда. Их размеры и давление газа в полости могут определяться, в первом приближении, при условии, что возникновение трещин на верхней или нижней части льда при достижении разрушающего напряжения:

$$\sigma \leq k \frac{M}{W} \leq [\sigma] \approx E \cdot \delta_m,$$

где соответственно, k – коэффициент, который зависит от состояния льда (может меняться примерно по опытным оценкам от 1 до 2), M – изгибающий момент и W – момент сопротивления при изгибании балки (ширина равна толщине льда), E и δ_m – соответственно модуль упругости льда и его упругая деформация.

Разрабатываемая технология обеспечит возможность разрушения ледяных заторов и панцирей на реках и крупных водоемах, где привлечение ледоколов невозможно либо нерационально, а самолетов для бомбометания опасно для окружающей природной среды и населенных пунктов.

Затраты на выполнение соединения по новой технологии будут снижены в 50...1000 раз по сравнению с существующими вариантами разрушения ледяного покрова, а интенсивность опасных воздействий на фауну – минимальна.

Таким образом, в работе предложен способ разрушения льда на водоемах с использованием энергии горючих газовых смесей. Это позволит уменьшить риски экологических бедствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богородский В. В. Разрушение льда. Методы, технические средства / В. В. Богородский, В. П. Гавриил, А. А. Недошивин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 232 с.
2. Производство взрывных работ по предупреждению и ликвидации ледовых заторов: методическое пособие. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1999. – 120 с.
3. Тавризов В. М. Взрывание льда / В. М. Тавризов. – М.: Недра, 1986. – 135 с.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЬБОВЫХ РЕЗЦОВ ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ПЕРЕТОЧЕК

Одним из наиболее перспективных методов поверхностного упрочнения металлорежущего инструмента является плазменное поверхностное модифицирование [1]. Данный метод одинаково эффективен как для инструмента из быстрорежущих сталей, так и для инструмента из спеченных твердых сплавов [2-4], в том числе - резбонарезного [5].

Выбор оптимальных значений параметров режима плазменной обработки профильных резбовых резцов осуществляется на основании моделирования и анализа температурных полей при поверхностном концентрированном нагреве вдоль режущей кромки образца, имеющего форму клина. Предварительными расчетами с использованием рекомендаций [1] установлено, что наиболее высокие значения температуры нагрева и скорости охлаждения достигаются в точках, близких к вершине резца и боковым режущим кромкам. При удалении от вершины, как вдоль передней поверхности, так и в глубину, максимальная температура нагрева снижается. В таких условиях в различных участках модифицированной зоны могут проходить фазовые и структурные превращения, отличающиеся между собой.

Наиболее высокие значения твердости сплавов типа ВК и ТК достигаются при плазменной обработке без расплавления связки - при нагреве до температур $\approx 1300-1500^{\circ}\text{C}$. При плазменной обработке резбовых резцов, имеющих форму клина, при оптимальных параметрах режима нагрева такая температура достигается в участках, близких к режущим кромкам. В этих участках образуется наиболее дисперсная структура модифицированной зоны и достигается наиболее высокая твердость.

На рис. 1,а показан характер изменения твердости на передней поверхности резца в модифицированной зоне от режущей кромки вдоль центральной оси X .

Согласно [6], если восстановление режущих свойств инструмента происходит посредством повторных переточек, то нормой износа инструмента является нормированная толщина стачиваемого слоя H , рассчитанная исходя из требования полного удаления следов износа, а также дополнительного слоя, в пределах которого возможно снижение механических свойств вследствие нагрева до высоких температур в процессе резания $\Delta h_3 = 0,1 \dots 0,2$ мм.

Тогда (рис. 2):

$$H = (h_{3\max} + \Delta h_3) \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

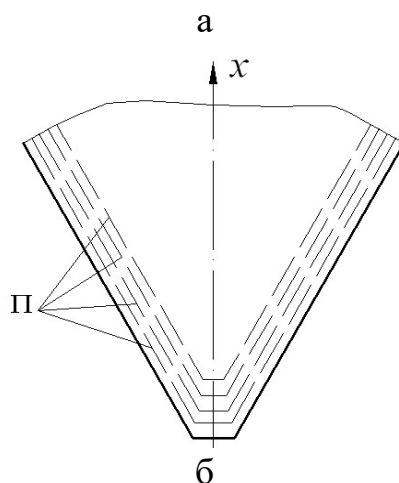
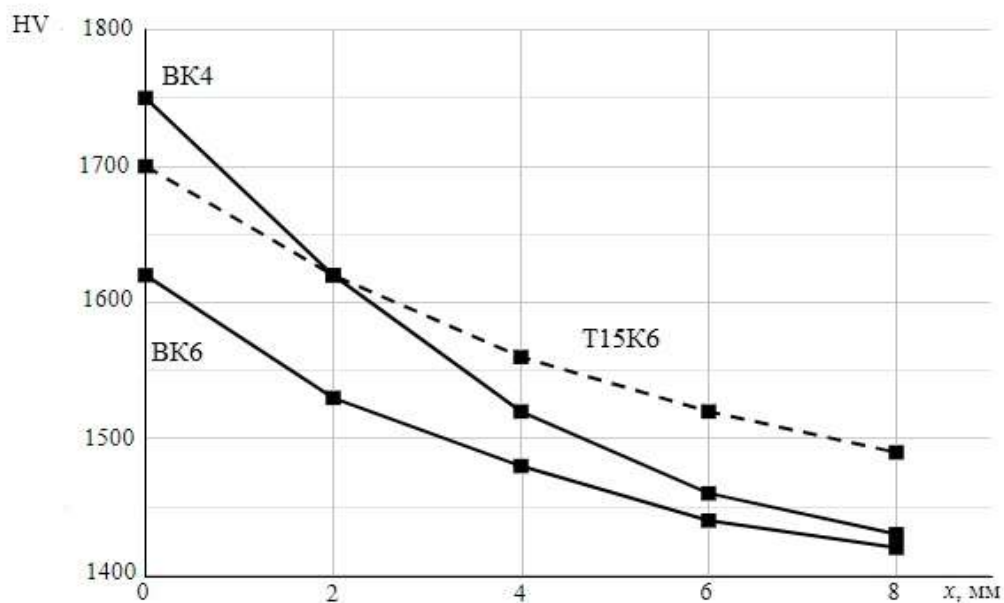


Рисунок 1. – Характер изменения твердости на передней поверхности (а) и схема выполнения переточек профильного резбового резца (б)

Установив величину H по нормативным требованиям $h_{3\max}$ для заданного типа твердого сплава, условий и режима резания, и зная характер изменения твердости модифицированной зоны (рис. 3, а), можно прогнозировать как величину твердости режущей кромки, так и в зависимости от нее - величину стойкости резцов с модифицированной зоной после переточек

В свою очередь, в качестве нормируемого показателя $h_{3\max}$ в формуле (1) для резбовых профильных резцов целесообразно использовать критерии равного износа h_3^P или оптимального износа $h_3^{\text{опт}}$, определяемые графически по кривым износа [6], полученным экспериментально при нарезании резьбы резцами с модифицированной зоной после переточек. В качестве примера на рис. 5 показаны кривые износа, построенные при нарезании метрической резьбы М16 на заготовках из стали 20 черновыми резцами с напаянными пластинами из сплава ВК4, подвергнутыми плазменному модифицированию на оптимальных режимах (согласно [2]). Скорость резания выбиралась по рекомендациям [7].

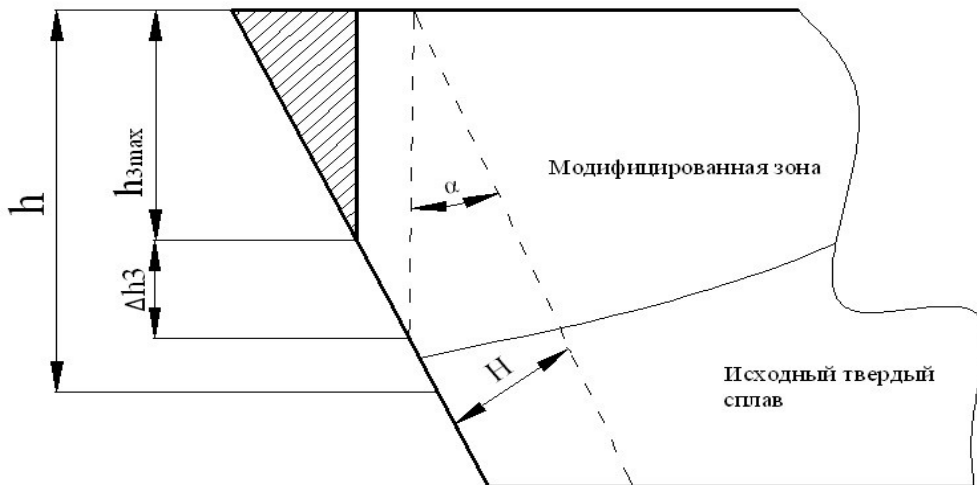


Рисунок 2. – Схема определения нормы износа профильных резцов с модифицированной зоной (согласно [6])

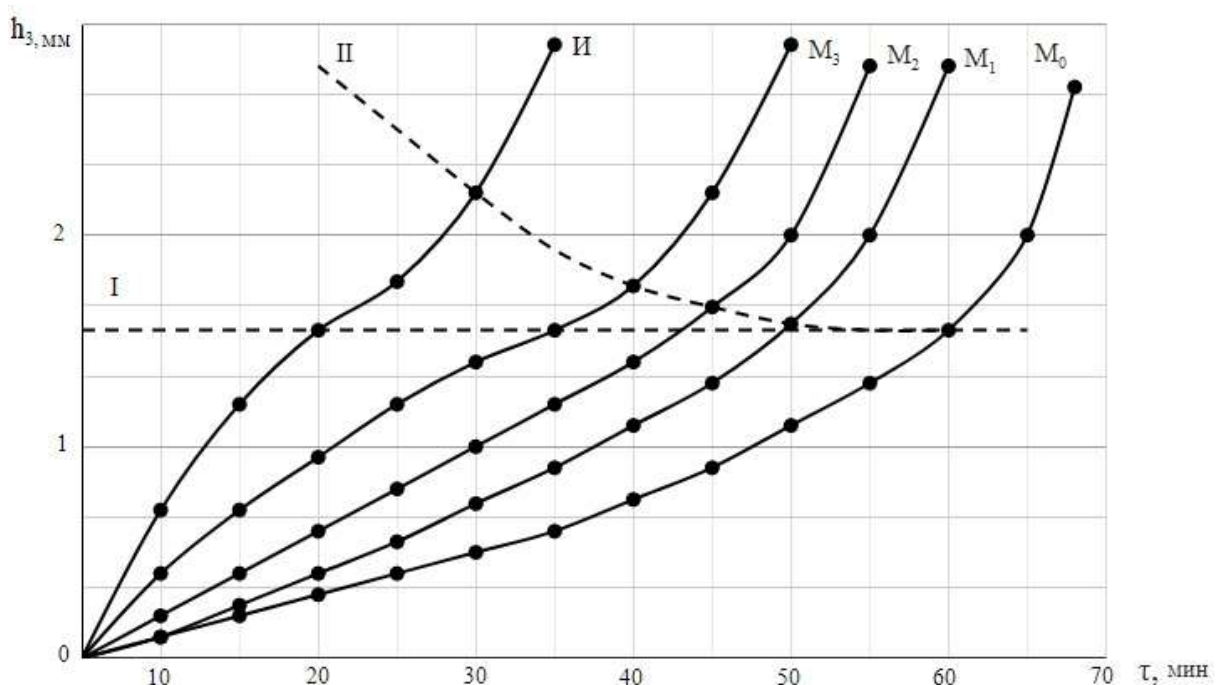


Рисунок 3. – Зависимость величины износа h_3 от времени работы профильных резбовых резцов с пластинами из сплава ВК4: И - резец в исходном состоянии; M_0 - резец после плазменного модифицирования; M_1, M_2, M_3 - резцы после плазменного модифицирования и соответствующих переточек (индексы 1, 2, 3 - количество переточек); I - линия равного износа; II - линия оптимального износа

Результаты испытаний (рис. 3) показали, что плазменное поверхностное модифицирование профильных резбовых резцов с напаянными пластинами из сплава ВК4 приводит к значительному повышению их износостойкости - как непосредственно после плазменной обработки, так и после последующих переточек. Степень повышения работоспособности резцов можно выразить зависимостью:

$$K_{ст} = \tau_m / \tau_n, \quad (2)$$

где τ_m и τ_n – соответственно, время обработки резцами после модифицирования и исходными для достижения заданной величины износа по задней поверхности h_3 , определяемой [7], согласно по критерию равного износа (рис. 3 - линия I для сплава ВК4: $h_3 = 1,4$ мм) или по критерию оптимального износа (рис. 3 - линия II).

Таким образом, эффективным методом повышения стойкости резбовых профильных резцов с напаянными твердосплавными пластинами является плазменное поверхностное модифицирование. После плазменной обработки на оптимальных режимах на режущей кромке резца образуется модифицированная зона с ультрадисперсной структурой и повышенной твердостью. Размеры модифицированной зоны (ширина 10 мм, глубина - до 3 мм) позволяет выполнять несколько переточек без повторного упрочнения.

Стойкостными испытаниями установлено повышение стойкости резцов с модифицированной зоной в 2,15 - 2,75 раза (соответственно по критериям равного и оптимального износа). После переточек стойкость резцов снижается (что связано со снижением твердости режущих кромок), оставаясь более высокой по сравнению с исходным состоянием.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Самотугин С. С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С. С. Самотугин, Л.К. Лещинский. – Донецк: Новый мир, 2003. – 338 с.
2. Самотугин С. С. Влияние технологии плазменного поверхностного модифицирования на структуру и фазовый состав инструментальных твердых сплавов / С. С. Самотугин, В. И. Лавриненко, Е. В. Кудинова, С. С. Самотугина // Сверхтвердые материалы. – 2011. – № 3. – С. 74-84.
3. Самотугин С. С. Свойства и работоспособность инструментальных твердых сплавов после плазменного поверхностного модифицирования / С. С. Самотугин, В. И. Лавриненко, Е. В. Кудинова, С. С. Самотугина // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – № 5. – С. 25-32.
4. Самотугин С. С. Основы синтеза модифицированных слоев на инструментальных твердых сплавах / С. С. Самотугин, В. И. Лавриненко, Е. В. Кудинова, С.С. Самотугина // Сверхтвердые материалы. – 2017. – № 3. – С. 78-84.
5. Самотугин С. С. Технологические основы плазменного поверхностного модифицирования резбонарезного инструмента / С. С. Самотугин, О. А. Христенко // Наука та виробництво Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2016. – Вип. 1. – С. 62-66.
6. Грановский Г. И. Резание металлов. / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. –304 с.
7. Самотугин С.С. Особенности расчетов режима резания твердосплавными резбонарезными резцами с модифицированным слоем / С. С. Самотугин, О. А. Христенко, Е. В. Кудинова, Ю. Г. Касаткин // Наука та виробництво Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2018. – Вип. 18. – С. 43-46.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО cBN

Введение. Достижение высоких физико-механических и эксплуатационных характеристик поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (cBN) при минимальных параметрах синтеза является актуальной научно-технической и производственной задачей. Подобные материалы получают с использованием дорогостоящей оснастки при высоких давлениях и температурах, поэтому представляется необходимым поиск оптимальных условий синтеза ПСТМ, обеспечивающих минимальную себестоимость материала при заданных характеристиках изделия на его основе.

В работе проводили оптимизацию процесса получения ПСТМ на основе cBN, синтезируемого за счет фазового превращения из модифицированного алюминием гексагонального нитрида бора hBN в условиях высоких давлений и температур [1]. Применение hBN, модифицированного алюминием, приводит к развитию фазового превращения hBN→cBN при давлении $P=2,5$ ГПа и общему снижению параметров синтеза с $P=7-8$ ГПа для традиционной технологии получения поликристаллов на основе cBN типа «Белбор» и «Эльбор» [2] до 5,5 ГПа при $T=2300$ °С с образованием в материале до 86 % cBN [1]. В то же время целенаправленных работ по оптимизации режимов получения ПСТМ по разработанному процессу не проводилось, что снижает эффективность применения данной технологии в производственных условиях и не позволяет минимизировать производственные затраты.

Цель работы – установление зависимости твердости H_V и трещиностойкости K_{Ic} поликристаллического cBN от технологических параметров синтеза материала и количества добавки алюминия.

Материалы и методики. Исходным сырьем для синтеза ПСТМ в работе служил порошок hBN производства Запорожского абразивного комбината (ТУ 2–036–1045–88). Для модифицирования hBN применяли порошок алюминиевой пудры (ГОСТ 5494–95). Модифицирование порошка hBN осуществляли методом химико-термической обработки в соответствии с методикой [3]. Для синтеза ПСТМ использовали поверхностно-модифицированные алюминием порошки hBN, содержащие алюминий в пределах 5–15 мас.%. Термобарическую обработку hBN после модифицирования выполняли в аппарате высокого давления типа «елочка», позволяющего достигать давлений 8–10 ГПа и температур до 2500°С.

Для моделирования процесса обоснованного выбора технологических режимов термобарического спекания ПСТМ, а также сокращения продолжи-

тельности и объема испытаний были использованы методы математического планирования эксперимента, изложенные в [4, 5].

Обсуждение результатов. Математическую модель уравнения отклика от независимых переменных, учитывающую эффекты их взаимодействий и ошибки эксперимента представляем в виде полинома второй степени

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

где y – параметр оптимизации; k – число факторов; i, l – номера факторов, $i \neq l$; x_i, x_l – варьируемые факторы; b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметр оптимизации.

На основе априорных данных выбирали уровни и интервалы варьирования факторов. В соответствии с условиями опытов осуществляли синтез образцов ПСТМ в условиях высоких давлений и температур и измеряли значения их твердости и коэффициента трещиностойкости. Из экспериментов, проведенных в соответствии с матрицей планирования, получена модель, характеризующая зависимость Y_{HV} от исследуемых факторов процесса синтеза:

$$Y_{HV} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 \quad (2)$$

После проверки значимости коэффициентов и с учетом перехода к натуральным значениям факторов уравнение (2) преобразуем к виду:

$$Y_{HV} = -51,64 + 0,0156 \cdot T + 4,13 \cdot P + 1,736 \cdot C_{Al} + 0,016 \cdot T \cdot P - 0,00002 \cdot T^2 - 2,46 \cdot P^2 - 0,1112 \cdot C_{Al}^2 \quad (3)$$

Аналогично получаем уравнение регрессии для Y_{K1c} :

$$Y_{K1c} = 28,0617155 + 0,0000048 \cdot T^2 - 0,297778 \cdot P^2 - 0,0248 \cdot C_{Al}^2 + 0,005167 \cdot T \cdot P - 0,001024 \cdot T \cdot C_{Al} - 0,0304785 \cdot T - 4,933442 \cdot P + 2,366 \cdot C_{Al} \quad (4)$$

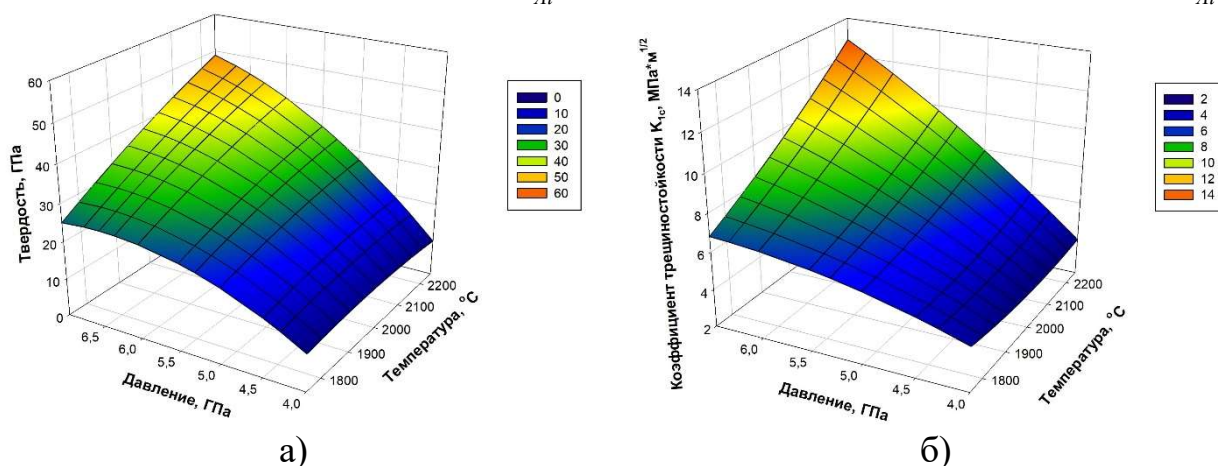


Рисунок 1. – Зависимости твердости Y_{HV} (а) и трещиностойкости Y_{K1c} (б) от давления и температуры при постоянной концентрации добавки алюминия ($C_{Al} = 10$ мас.%)

Уравнения регрессии (3) и (4) можно использовать для выбора технологических режимов спекания поликристаллических материалов, обеспечивающих оптимальные значения твердости и коэффициента трещиностойкости в за-

висимости от исследуемых факторов. На рис. 1 представлены полученные с помощью уравнений (3) и (4) графические зависимости твердости и коэффициента трещиностойкости от температуры и давления.

Из рис. 1, видно, что с увеличением давления P от 4 до 7 ГПа и температуры синтеза T от 1600 до 2200 °С при постоянной концентрации $C_{Al} = 10$ мас. % повышает твердость материала H_V за счет увеличения как термодинамического стимула, так и снижения активационного барьера превращения $hBN \rightarrow cBN$ [6].

Повышение P и T синтеза также приводит к росту K_{Ic} за счет формирования в данном диапазоне давлений и температур наноструктурного cBN , а также вюрцитного BN [1].

Заключение. Проведена оптимизация процесса получения ПСТМ на основе cBN из модифицированного гексагонального BN , позволяющая определить граничные P , T – параметры синтеза материала с заданным уровнем микротвердости и трещиностойкости. Разработанная модель учитывает влияние концентрации модифицирующей добавки алюминия, активирующей фазовое превращение $hBN \rightarrow cBN$, на свойства материала. Практическая проверка модели показала ее адекватность в пределах выбранных интервалов варьирования технологических параметров. Проведенная оптимизация технологического процесса позволяет получать ПСТМ с микротвердостью H_V 32,5–35,5 ГПа и трещиностойкостью K_{Ic} в пределах 8,4–11,3 МПа·м^{1/2} при экономически оправданных режимах синтеза. Материал с указанным уровнем свойств может применяться в инструменте для высокоскоростного точения закаленных сталей [7].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Синтез поликристаллов кубического нитрида бора из механоактивированного и модифицированного алюминием гексагонального нитрида бора / В. Т. Сенють, П. А. Витязь, С. А. Ковалева, Е.Н. Мосунов, И. В. Валькович, Т.В. Гамзелева // *Материаловедение*, 2015. – № 7. – С. 29-33.
2. Инструменты из сверхтвердых материалов / Г. П. Богатырева [и др.]; под ред. Н. В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.
3. Производство наноструктурных инструментальных материалов на основе кубического нитрида бора [Текст] / П. А. Витязь, В. Т. Сенють, М.Л. Хейфец, А.Н. Москаленко, В.В. Закоржевский // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017, № 2(80) – С.34-38.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
5. Хейфец М. Л. Математическое моделирование технологических процессов / М. Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 104 с.
6. Голубев А. С. Нитрид бора. Структура, свойства, получение / А.С. Голубев, А.В. Курдюмов, А.Н. Пилянкевич. – Киев: Наук. думка, 1987. – 200 с.
7. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижика, М.Л. Хейфеца. – Минск: Беларуская. навука, 2017. – 376 с.

Степанов М. С., Клочко А. А., Анцыферова О. О.
Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина
Новиков Ф. В.
Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнецца, г. Харьков, Украина
Палашек С. Ю.
Донбасская государственная машиностроительная академия,
г. Краматорск, Украина

УСЛОВИЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

Одним из основополагающих факторов обеспечения высокой долговечности закаленных зубчатых колес является изучение состояния напряжений в поверхностном слое, которое определяется видом и условиями технологического воздействия в процессе зубошлифования. Поэтому в работе рассмотрено влияние остаточных напряжений на прочность зубчатых колес в зависимости от тепла, возникающего в зоне резания и приводящего к образованию растягивающих напряжений, изменению твердости и структуры. Причиной появления структурных напряжений являются изменения объема по сечению материала, вызванные превращением аустенита меньшего удельного объема в структуре большего удельного объема.

Состояние напряжений в поверхностном слое определяется видом и условиями технологического воздействия на эвольвентную поверхность зубчатого колеса в процессе зубошлифования. Изменение состояния поверхностного слоя происходят в результате внесения в него энергии, необходимой для удаления материала в процессе зубошлифования.

Увеличение глубины резания сопровождается ростом сил резания, что способствует уменьшению величины растягивающих напряжений в поверхностном слое шлифованной поверхности зубьев зубчатого колеса.

Как отмечалось, остаточные напряжения влияют на прочность зубчатых колес и зависят от тепла, возникающего в зоне резания, что приводит к образованию растягивающих напряжений, изменению твердости и структуры. В связи с этим возникает необходимость разработки математического моделирования описания степени влияния сил резания на процесс образования остаточных напряжений. Установлено, что причиной структурных напряжений являются изменения объема по сечению материала, вызванные превращением аустенита меньшего удельного объема в структуре большего удельного объема (мартенсит, бейнит, перлит, феррит) [1, 2, 3]. Структурные остаточные напряжения в поверхностном слое зубчатых колес при различных схемах зубошлифования появляются всегда совместно с тепловыми напряжениями и вызывают возникновение растягивающих напряжений, а в сердцевине - напряжений сжатия. Анализируя распределение микротвердости в поверхностном слое, можно сде-

лать вывод, что на структурные изменения верхнего слоя решающим образом влияет распределение тепла, так как в верхней части верхнего слоя могут появляться температуры, которые являются достаточными для создания мартенситных структур [2, 3]. Влияние температуры и воздействие трения уменьшается с достижением более глубоких зон поверхностного слоя.

Воздействие тепла во время зубошлифования может привести к возникновению новой закаленной зоны и находящегося под ней «мягкого» слоя [2, 3]. Этот процесс может сопровождаться преобразованием напряжений в поверхностном слое. Если в процессе технологического воздействия не происходят разовые и структурные изменения в материале, то преобладающее термическое влияние вызовет появление растягивающих напряжений, а механическое воздействие в случае растягивающих деформаций вызовет появление остаточных напряжений сжатия. В процессе шлифования изменяются условия резания в зоне соприкосновения шлифовального круга с обрабатываемым зубом зубчатого колеса.

При использовании нерациональных параметров шлифования на шлифуемой поверхности зубчатого колеса появляется белый слой вторичной закалки, отпущенный мартенсит и остаточный аустенит [1, 2, 3]. Поэтому условия обработки имеют важное значение в процессе шлифования, а их несоответствующий подбор может привести к росту сил резания, увеличенному износу шлифовального круга, засаливаемости круга, росту температуры шлифования и увеличению остаточных напряжений в поверхностном слое обработанной поверхности, к появлению трещин и росту количества остаточного аустенита. Трещины возникают в результате отпуска мартенситной структуры, что прямо связано с образованием остаточных напряжений [2, 3].

При построении теоретической модели необходимо учитывать одновременное влияние трения, температуры в зоне контакта и сил резания, что позволит установить зависимость глубины резания на засаливаемость шлифовального круга. Корундовый шлифовальный круг приводит к образованию в зоне резания в два раза большей температуры, чем при применении боразонового шлифовального круга.

Очень важным моментом при зубошлифовании является обеспечение уменьшения температуры в зоне контактирования абразивного круга и обрабатываемой эвольвентной поверхности зубчатого колеса, сил резания с одновременным увеличением объема снимаемого металла и уменьшением степени засаливаемости круга.

Силы резания и температура зависят от характеристики шлифовального круга и способа шлифования, тем более что шлифование эвольвентных поверхностей зубьев зубчатых колес отличается некоторой спецификой протекания тепла [1] с неравномерными силами шлифования [2]. Поэтому процесс зубошлифования трудно поддается моделированию по сравнению с другими способами шлифования [3].

Важное значение в процессе зубошлифования играет также смазочно-охлаждающая жидкость [2]. Расход СОЖ влияет на величину температуры.

С увеличением расхода СОЖ температура во время шлифования понижается. Структурные напряжения вызываются изменением объема (мартенситно – аустенитных превращений [2]) при переходе через интервал критических температур (например, в аустенит, перлит, мартенсит, бейнит). Поэтому усиление диффузии наблюдается только в некотором интервале средних температур [3], а в высоких температурах преобладают эффекты, вызванные тепловыми колебаниями. Во время шлифования обнаружено возникновение очень высоких растягивающих начальных напряжений в поверхностном слое зубчатых колес [3], достигающих 1000 [МПа].

Возникающее в поверхностном слое тепло, на глубине свыше 10 мкм, приводит к значительному приращению остаточных растягивающих напряжений, и только на больших глубинах – к напряжениям сжатия [3]. Таким образом, связь тепла с остаточными напряжениями является очевидной. Однако характер этой связи требует проведения дальнейших исследований, связанных с изменением свойств поверхностного слоя, особенно при шлифовании зубьев зубчатых колес.

Воздействие тепла при зубошлифовании приводит к возникновению новой закаленной зоны и находящегося под ней «мягкого» слоя. Этот процесс сопровождается преобразованием напряжений в поверхностном слое. В общем случае остаточные напряжения оказывают влияние на механические, физические и химические свойства обрабатываемого материала зубчатых колес. Во время зубошлифования изменяются условия резания в зоне соприкосновения шлифовального круга с обрабатываемым зубом зубчатого колеса. При использовании нерациональных параметров зубошлифования на шлифуемой поверхности зубчатого колеса появляется белый слой вторичной закалки, отпущенный мартенсит и остаточный аустенит. Трещины возникают в результате отпуска мартенситной структуры, что прямо связано с образованием остаточных напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Якимов А. А. Технологические основы обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колес / А. А. Якимов. – Одесса: Астропринт. 2003. – 453 с.
3. Шелковой А. Н. Общие принципы моделирования оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес / А. Н. Шелковой, Е. В. Мироненко, А. А. Ключко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – Севастополь, 2013. – Вип. 140. – С. 203–210.

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРИТТІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ АК6 І Д16Т ПІСЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ

Для проведення досліджень по формуванню електроізоляційних покриттів методом мікродугового оксидування (МДО) були вибрані два промислові алюмінієві сплави – Д16Т і АК6 (ГОСТ 4784-97), широко відомих у виготовленні корпусів шліфувальних кругів з алмазно-металевою композицією робочої частини для електрофізикохімічної алмазно-абразивної обробки, зокрема алмазно-іскрового шліфування.

Реалізацію процесу МДО здійснювали на в режимах довільно падаючої потужності (ДПП) і гальваностатичному (ГС). Вплив режиму ДПП на основні показники діелектричної якості покриттів – питомий об'ємний електричний опір (ρ_v) та електричну міцність (E). – вивчали при тривалості процесу МДО 1 і 2 год., а ГС – керуючись принципом перебігу однакової кількості електрики в кожному із експериментів за умов різних значень густини струму, а саме 5; 7,5; 10; 15 А/дм².

Досліджували 3 типи розчинів – 1-й – власне силікатний, 12 г/л РС (РС – технічний розчин натрієвого рідкого скла, з густиною 1,4 г/л), в згадуваннях надалі також скорочуємо – електроліт 0 : 12; 2-й – лужно-силікатний – 2 г/л КОН + 12 г/л РС, надалі – електроліт 2 : 12; 3-й – більш розбавлений лужно-силікатний – 1 г/л КОН + 6 г/л РС (надалі – електроліт 1 : 6).

Аналізуючи результати виміру об'ємного електричного опору та відповідно розрахованого питомого об'ємного електричного опору покриттів, які були сформовані в режимі ДПП на змінному струмі (ρ_v , табл. 1), можна однозначно стверджувати, що ρ_v зменшується з ростом товщини на обох сплавах в усіх досліджуваних електролітах. Більш суттєво це погіршення проявляється на сплаві АК6 – в 4...5 разів.

Даний факт загальновідомий і пояснюється як неоднорідністю структури самого покриття, що збільшується з його ростом, так і ефектом «захоплення» струмопровідних іонів електроліту оксидним шаром.

Найкращі – максимальні – показники ρ_v забезпечують покриття на обох сплавах, сформовані в лужно-силікатному електроліті 1 : 6 (1 г/л КОН + 6 г/л РС), найгірші – в розчині 2 : 12 (2 г/л КОН + 12 г/л РС).

Для пояснення одержаних результатів необхідно додатково провести рентгеноструктурний аналіз покриттів, але можна припустити, що це пов'язано з підвищеною пористістю, шорсткістю, а також відносно максимальною товщиною покриттів, сформованих в електроліті 2 : 12.

Аналіз значень ρ_v покриттів, сформованих в ГС режимі, дозволяє зробити висновок, що в діапазоні досліджуваних величин (5...15 А/дм²) питомий об'ємний електричний опір майже не залежить від густини струму. Незначна тенденція його зменшення з ростом j , скоріше за все пов'язана зі збільшенням пор, що характерно для ГС режиму.

Більш виразно проявляється різниця між ρ_v покриттів, сформованих в різних електролітах. Максимальне його значення зафіксовано для розчину РС 0 : 12, мінімальне – для 2 : 12.

Таблиця 1 – Товщина (h), питомий об'ємний електричний опір (ρ_v) і електрична міцність (E) покриттів МДО, сформованих в режимі ДПП з різною тривалістю процесу (τ)

Марка сплаву	Електроліт (КОН : РС)	τ , час.	h , мкм	$\rho_v \cdot 10^9$, Ом·м	E , В/мкм
АК6	0 : 12	1	60	7,4	3,2
		2	120	1,5	1,3
	2 : 12	1	55	5,2	1,0
		2	120	0,9	0,4
	1 : 6	1	40	8,9	4,3
		2	90	2,1	2,3
Д16Т	0 : 12	1	80	12,7	10,2
		2	150	7,8	7,1
	2 : 12	1	100	13,1	10,0
		2	210	8,3	6,3
	1 : 6	1	70	13,8	13,1
		2	170	10,1	9,6

Дані результати якісно корелюють зі значенням кінцевої напруги формування МДО (U_k), що встановлювалась в заключній фазі процесу МДО в кожному розчині незалежно від густини струму. Відповідно найбільше значення U_k було в чисто силікатному розчині 0 : 12 – 560 В, найменше – в лужно-силікатному 2:12, і складало 520 В.

Менш виразно ця кореляція спостерігається на сплаві Д16Т, але в загальному випадку зберігається основний висновок щодо ρ_v , значення якого в більшій мірі залежить від складу електроліту, а не від густини струму. Зокрема, як і на сплаві АК6, а також на обох сплавах, оброблених змінним струмом, найменшим електричним опором характеризувались покриття, сформовані в розчині 2 : 12. Однією із вірогідних причин такого результату може бути травильна дія розчину за рахунок підвищеної концентрації гідроксиду калію. З одного боку це призводить до збільшення загальної пористості покриття, а з іншого – до збагачення його якісного складу іонами лужних металів, що разом сприяє погіршенню електричного опору.

Результати досліджень електричної міцності покриттів МДО, сформованих змінним струмом в режимі ДПП (табл. 1), показують, що як і показник пи-

того об'ємного електричного опору, вона однозначно зменшується з ростом товщини, хоча загальна напруга пробою при цьому збільшується. Останнє пов'язується зі зниженням відкритої пористості та наскрізних дефектів, які, зазвичай, виступають «слабким місцем», оскільки електрична міцність повітря в них складає ~ 3 В/мкм.

Причина погіршення електричної міцності E з ростом товщини покриття h ті ж самі, що спричиняють погіршення об'ємного електричного опору – неоднорідність структури, покращення умов для міграції та дифузії іонів лужних металів (K і Na) під дією температури, «захоплення» струмопровідних іонів.

Показник E в меншій мірі, ніж ρ_v , залежить від марки сплаву та складу електроліту, але констатуємо, що незначну перевагу по ньому, на 10...30%, мають покриття МДО, сформовані в режимі ДПП в електроліті 1 : 6.

Аналіз характеру зміни електричної міцності від досліджуваних чинників для покриттів, які сформовані в ГС режимі показує, що він очікувано схожий на залежність питомого об'ємного електричного опору від них.

Зокрема, спостерігається мінімальний вплив густини струму, а більш відчутно показник E реагує на якісний та кількісний склад електроліту. Так, максимальна напруга пробою i , відповідно, електрична міцність спостерігаються на покриттях МДО сплава АК6, що сформовані в розчинах 0 : 12 і 1 : 6, найменші значення цих показників зафіксовані в розчині 2 : 12 (\sim в 1,5-1,7 рази).

Напруга пробою покриттів на сплаві Д16Т дещо вища, ніж на сплаві АК6. Але за рахунок того, що товщина покриттів на сплаві Д16Т теж більша, електрична міцність на обох сплавах виявилась майже співмірною. Як і для сплава АК6, кращі показники забезпечили силікатний (0 : 12) та розведений лужньо-силікатний (1 : 6) розчини, відносно гірші – більш концентрований електроліт 2 : 12.

В цілому, якщо порівнювати електрофізичні показники ρ_v і E покриттів МДО, сформованих за двома електричними режимами – ГС і ППД, можна говорити про кореляцію одержаних результатів досліджень і висновків щодо вибору найбільш придатного для процесу МДО електроліту. В обох випадках стійку перевагу мають розчини 1 : 6 і 0 : 12.

В той же час за абсолютними значеннями показники ρ_v і E покриттів МДО, сформованих в ГС режимі, при співмірних товщинах дещо поступаються показникам, що характеризують покриття, одержані оксидуванням змінним струмом в режимі ДПП. В залежності від сплаву і складу розчину ρ_v може бути меншим в 1,5...2,5 рази, а E – в 1,4...2,1 рази.

Одержані результати не випадають із загально прийнятого розуміння цього факту, оскільки за іншими досліджуваними ознаками якості покриттів встановлено, що оксидні шари, одержані на змінному струмі, відрізняються відносно більшою однорідністю, меншою дефектністю і, вірогідно, саме ці показники позитивно впливають на визначеність електрофізичних критеріїв.

Результати проведених досліджень в цілому підтримують технічну ідею покриттів по методу МДО в якості електроізоляційних на алюмінієвих корпусах інструментів алмазно-іскрового шліфування на універсальних верстатах без додаткових засобів струмозахисту їх шпиндельних вузлів.

ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЗАСАЛЕННОГО СЛОЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Определенный вклад в образование засаленного слоя шлифовального инструмента вносит диффузия. В некоторых случаях диффузионные процессы могут привести к хрупким соединениям, что не способствует засаливанию круга, т.к. данные образования могут разрушиться и удалиться из круга при шлифовании. Образование прочных соединений, согласно диффузионной гипотезе, возможно в результате нормальных металлических связей в результате деформаций, особенно при повышенной температуре и сближении контактных поверхностей. С позиции данной гипотезы, возможно растворение в тонком слое металлов и других элементов, которые в обычных условиях не растворяются друг в друге.

В основе механизма диффузии лежат процессы миграции дефектов кристаллической решетки: перескок атомов через междоузлия в соседнюю решетку, переход атомов в междоузельное пространство или переход атома из структурного местоположения в узле в места свободных вакансий. Чтобы выяснить роль диффузии в процессе засаливания, рассмотрена задача о диффузионном взаимодействии материала частицы, прилипшей к поверхности шлифовального круга (по не определенным пока причинам) и его связки. Уравнение диффузии в трехмерном случае имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \Delta(u(r, t)) + f(x, t), \quad (1)$$

где u – концентрация (доля) диффундирующего вещества в общей массе изучаемой среды; r – радиус инструмента, м; t – время, с; D – коэффициент диффузии, м²/с; x – координата, отсчитываемая от поверхности контакта в глубину того тела, в материал которого происходит диффузия; $f(x, t)$ – функция, описывающая источник вещества.

Для оценки количества прореагировавшего вещества, достаточно рассмотреть одномерный случай задачи.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x, t), \quad (2)$$

Рассмотрим уравнение процесса диффузии без учета $f(x, t)$. Данное допущение справедливо в связи с тем, что прилипшая срезанная частица является источником вещества только в момент взаимодействия. Но в процессе обработки она может быть разрушена контактирующими поверхностями. Поэтому учитывать ее вклад в диффузию как источника вещества, нет смысла.

При этом важно, что в случае шлифования с использованием электрохимических процессов фазовый и химический состав срезанной частицы может

изменяться, что не дает возможности адекватно оценить $f(x, t)$. Считается, что диффузия от прилипшей частицы в материал связки круга, происходит точно так же, как она происходит в полубесконечное сплошное тело, ограниченное плоскостью.

Учитывая вышесказанное, решение уравнения (2) может быть получено в виде функции:

$$u(x, t) = \operatorname{Erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} e^{-z^2} dz = 1 - \Phi(\eta) = u(\eta), \quad (3)$$

где $\eta = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$ – значение верхнего предела интегрирования; $u = u(\eta)$ – значение концентрации.

Решение уравнения диффузии, полученное в виде функции (3) включает в себя функцию Лапласа $\Phi(x, t)$, имеющую вероятностный смысл как функцию нормально распределенной случайной величины. Тогда плотность вероятности того, что одна частица через время взаимодействия $t_{\text{вз}}$ попадет в координату x , может быть определена по формуле:

$$c(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt_{\text{вз}}}} e^{-\frac{x^2}{4\pi Dt_{\text{вз}}}}. \quad (4)$$

Анализируя формулу (4), можно сделать вывод о том, что вероятность диффузии частицы вещества растет с ростом времени $t_{\text{вз}}$ и уменьшается с ростом глубины проникновения x .

Учитываем, что время плотного гарантированного контакта имеет значения порядка от 10^{-5} до 10^{-4} с.

Таким образом, диффузию не следует считать первоосновой образования засаженного слоя. Однако это не означает, что она не играет никакой роли в этом процессе. Условия для протекания диффузионных процессов, создаются в том случае, когда вещество, попавшее на поверхность шлифовального инструмента, создает прочное соединение, как со связкой круга, так и с алмазным зерном и остается таковым в течение всего процесса шлифования.

Пленочная теория о соединении материалов в твердой фазе основана на предположении, что при сближении поверхностей на межатомное расстояние при условии, что поверхности будут ювенильными, обязательно произойдет взаимодействие этих поверхностей.

Приведенные рассуждения позволяют сделать вывод о том, что образования такого рода будут являться результатом бездиффузионного процесса объединения кристаллических решеток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Узунян М. Д. Шлифование наноструктурных твердых сплавов: учебное пособие / М. Д. Узунян, Р. М. Стрельчук. – Х.: Изд-во «Підручник НТУ «ХП», 2015. – 182 с.

РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Однією з складових сумарної похибки обробки деталі на металорізальному верстаті є похибка встановлення заготовки у верстатному пристрої. Похибка встановлення заготовки складається з похибки базування, закріплення та похибки положення заготовки (похибки неточності пристрою). Похибка базування має найбільший питомий вплив на похибку встановлення. Ця похибка знаходиться як різниця між найбільшими та найменшими величинами проекцій зміщення вимірювальної бази на напрямок розміру, що виконується.

Визначається похибка базування (випадкова величина) методом аналітичного розрахунку. З цією метою складається розрахункова схема де наводиться два крайніх положення заготовки при встановленні у пристрої – заготовка має найбільший розмір та заготовка має найменший розмір за полем допуску. Похибка базування визначається із геометричних розрахунків, як величина відрізка. Якщо на похибку базування впливають поля допусків на попередніх операціях, то застосування методу геометричного розрахунку викликає труднощі. У цьому випадку застосовують універсальний метод розмірних ланцюгів.

Метод розмірних ланцюгів відображає об'єктивні розмірні зв'язки в конструкції машини при складанні, в технологічних процесах обробки або вимірювання деталі. Розмірні ланцюги дозволяють скласти метричну модель виробу і оптимізувати вимоги до точності геометричних параметрів з метою забезпечення показників якості функціонування в заданих межах при встановлених витратах на виробництво.

Розмірний ланцюг – сукупність взаємозв'язаних розмірів, що утворюють замкнутий контур і безпосередньо беруть участь в рішенні поставленої задачі.

Усі розрахункові схеми з використанням вказаного методу класифікуються на дві групи: встановлення заготовки з зазором; встановлення заготовки без зазору. Використання методу розмірних ланцюгів дозволяє розрахувати похибку базування для будь-якої схеми встановлення заготовки, врахувавши вплив попередніх операцій. Застосування цієї методики дозволяє визначити не тільки похибку базування, але також виконати аналіз технологічних розмірів. На основі цієї методики можливо виконати розрахунки похибки базування для можливих схем базування в загальному вигляді та широко застосовувати їх в інженерних розрахунках. Методику розрахунку похибки базування за допомогою розмірних ланцюгів можна також використовувати не тільки для простих схем базування, а також для складних просторих схем базування деталей.

Третьяк В. В., Онопченко А. В., Невешкин Ю. А.
Национальный аэрокосмический университет
им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, г. Харьков, Украина
Савченко Н. Ф.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

ВОЗМОЖНОСТИ ШТАМПОВКИ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ИМПУЛЬСНОМ ПРЕССЕ

Разработанный в Национальном аэрокосмическом университете имени Н. Е. Жуковского “ХАИ” универсальный импульсный пресс ВП-02М (рис. 1) – механизированное оборудование для импульсной штамповки деталей из плоских, трубчатых и объемных заготовок в замкнутой взрывной камере, использующий в качестве источника энергии бризантное взрывчатое вещество [1–3].

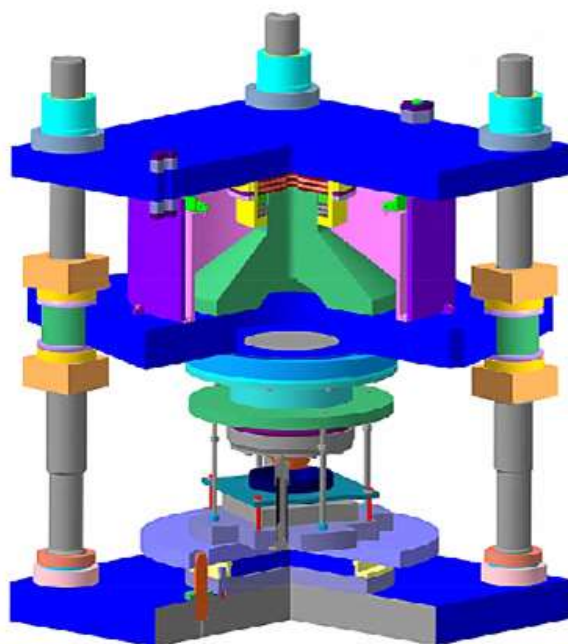


Рисунок 1. – Общий вид импульсного прессы

Взрывной пресс предназначен для выполнения следующих технологических операций:

- раздачи, формовки и калибровки деталей из трубчатых заготовок;
- получения объемных поковок;
- рельефной формовки оболочек и обечаек;
- листовой штамповки деталей сложных форм: вытяжки с калибровкой, формовкой донных и боковых рельефов, поднутренний, подсечек и других элементов с переходными радиусами, соизмеримыми с толщиной заготовки;
- групповой пробивки близкорасположенных отверстий.

Взрывной пресс ВП-02М является полуавтоматической установкой. Перемещение рабочих органов пресса, сборка и разборка технологического узла пресса осуществляется в ручном и полуавтоматическом режимах.

Пресс оснащен устройствами блокировки, обеспечивающими полную безопасность его эксплуатации.

Первоначально импульсную штамповку рассматривали как метод получения литовых заготовок, затем объемных точных поковок преимущественно в закрытых штампах. Однако со временем область применения этого процесса стали представлять значительно шире, что объяснялось результатом накопления технологического опыта.

Область применения и перспективность развития и совершенствования любого процесса на определенный период времени можно охарактеризовать факторами:

номенклатурой деталей, поковки для которых целесообразно изготавливать данным методом;

наличием материалов, обработка которых известными способами представляет трудности;

технологическими возможностями оборудования; производительностью оборудования, степенью его универсальности и надежности, а также возможностями совершенствования;

стойкостью штамповой оснастки; экономическими показателями производства;

степенью разработанности технологического процесса и опытом его применения в промышленности.

В номенклатуре деталей машин различного назначения заметную долю составляют детали сложных для изготовления штамповкой конфигураций.

Таковы тонкостенные стаканы, различного вида, оребренные детали, лопатки турбин, диски с тонкими полотнами, детали типа тонких стержней с утолщениями и т. п.

Получение точных заготовок для них осложняется еще тем обстоятельством, что для современного машиностроения постоянно осваиваются новые материалы.

Эти материалы, обладая высокими эксплуатационными характеристиками, часто характеризуются пониженной технологичностью при обработке давлением: требуют повышенных удельных усилий, менее пластичны и имеют узкий температурный интервал штамповки, который для некоторых материалов сдвинут (относительно сталей) в область низких температур на 150...300° С, для других, напротив, – в сторону высоких температур на 200...400° С.

Таковы жаропрочные материалы, сплавы титана, тугоплавкие металлы.

Пониженными технологическими характеристиками обладают также некоторые высокопрочные алюминиевые сплавы.

Следовательно, экономически эффективное изготовление точных поковок для деталей сложных конфигураций из различных металлов и сплавов встре-

чает серьезные технические затруднения, связанные с технологическими возможностями имеющегося кузнечно-штамповочного оборудования и стойкостью штампов.

Штамповка особосложных конфигураций иногда вовсе невозможна; изготовление таких деталей ведется либо из прутка, либо из поковок, полученных ковкой [4]. Как показала практика, высокоскоростное деформирование является одним из путей повышения точности поковок.

Технологические возможности высокоскоростной штамповки основываются на ряде особенностей процесса и оборудования, наиболее существенные из которых следующие: повышенная (8...20 м/с) скорость деформирования, позволяющая сократить длительность процесса штамповки, выполнять его практически без теплообмена, что создает условия для изготовления особо сложных и точных поковок с тонкими элементами (ребрами, лопатками, полотнами и т. д.), которые трудно получить на обычных молотах и прессах; наличие нижнего (а на некоторых моделях молотов и верхнего) выталкивателя с большим ходом и значительным усилием, что позволяет получать поковки с минимальным штамповочным уклоном или без уклона. Импульсная штамповка позволяет обрабатывать различные металлы и сплавы. Возможна штамповка не только осесимметричных поковок, но и деталей произвольных форм.

На кафедре технологий производства авиационных двигателей в Национальном аэрокосмическом университете им. Н. Е. Жуковского “ХАИ” разработан программный комплекс, позволяющий производить расчеты для конструирования штамповой оснастки и параметров нагрузки для листовых и объемных деталей сложной конфигурации, который используется в курсовом и дипломном проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология производства авиационных двигателей. Ч. 2. Основы проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей и технологическая подготовка производства / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, А. И. Долматов, В. Ф. Мозговой, Е. Я. Корневский. – Запорожье : Изд-во ОАО «Мотор-Сич», 2007. – 557 с.

2. Борисевич В. К. К вопросу моделирования импульсных процессов в замкнутой камере для взрывных процессов / В. К. Борисевич, В. В. Третьяк, И. В. Скорченко // Вестник двигателестроения. – Вып. 2. – Запорожье : Изд-во ОАО «Мотор-Сич», 2010. – С. 166 – 171.

3. Борисевич В. К. Проектирование поковок, оснастки и технологических процессов горячей объемной штамповки / В. К. Борисевич, Ю. И. Чебанов. – Х. : ХАИ, 1992. – 67 с.

4. Согришин, Ю. П. Штамповка на высокоскоростных молотах / Ю. П. Согришин, Л. Г. Гришин, В. М. Воробьев. – М.: Машиностроение, 1978. – 165 с.

КАЧЕСТВО ПРОФИЛИРОВАННЫХ НАСТИЛОВ И ПАНЕЛЕЙ ИЗ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ И ПУТИ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ

В последние годы в связи с внедрением современных промышленных методов строительства при сооружении объектов производственного назначения все шире применяются облегченные стальные конструкции, в частности, конструкции для перекрытий и облицовки стен из гофрированных гнутых оцинкованных профилей.

Высокими требованиями к качеству оцинкованной поверхности обусловлен особый подход к выбору режимов профилирования, системы калибровки валков, конструкций рабочих калибров и других технологических параметров.

Например, для профилирования пятигофрового оцинкованного настила размерами 660x80x1 мм используют 28 клеток профилегибочного стана. Благодаря применению «мягкого», с небольшими углами подгибки по переходам, режима формовки предупреждаются искажения прямолинейности готового профиля и создаются оптимальные условия деформирования стали с цинковым покрытием. Другие типы настилов и стеновые панели из оцинкованного листа также формуются в большом числе клеток. Проектировать технологию производства таких профилей рекомендуется с использованием последовательной системы калибровок валков, т.е. формовку начинать со среднего гофра, а затем попарно формовать симметрично расположенные гофры.

С целью уменьшения истирания цинкового покрытия при профилировании все формующие элементы валков следует выполнять цилиндрическими, благодаря чему боковые наклонные участки профиля не будут соприкасаться с рабочими валками. В результате качество и толщина покрытия на этих участках готового профиля остаются практически такими же, как на исходной заготовке. Рабочие поверхности формующих элементов желательно выполнять не прямолинейными, как обычно, а вогнутыми, профилируемая полоса при этом соприкасается с валками только в местах изгиба.

Поэтому на горизонтальных участках профиля качество и толщина покрытия также практически не изменится по сравнению с исходными. Кроме того, для предотвращения механических повреждений оцинкованной полосы при её прохождении через машины к механизмам профилегибочного агрегата направляющие и транспортирующие средства следует изготавливать из текстолита или из обрезиненных материалов.

Указанными способами обеспечивается сохранность цинкового покрытия на прямолинейных участках профиля. В местах же изгиба утоняется как деформируемый металл, так и покрытие. С целью определения толщины покрытия на этих участках была проведена проверка качества цинкового слоя на

образцах из мест изгиба готовых профилей настила 600x80x1 мм. Замеры проводились капельным методом.

Установлено, что при выбранных: системе калибровки валков и режиме формовки наибольшее утонение цинкового слоя в местах изгиба составило всего 20 – 25 % первоначальной толщины покрытия. Эти же исследования подтвердили равноценность покрытия на прямолинейных участках готового профиля и на исходной заготовке. Полученные результаты могут быть использованы при установлении эксплуатационных норм и сроков долговечности строительных конструкций. Качество поверхности оцинкованных профилей может определяться также химическими, механическими и другими воздействиями.

Характерный дефект оцинкованной поверхности – «белая ржавчина», возникающая при попадании влаги между витками рулона или между профилями в пачке. Сначала на оцинкованной поверхности появляется белый налёт, затем цинк покрытия превращается в белый порошок и покрытие уничтожается до основного металла. Для предотвращения появления «белой ржавчины» заготовку или профили перед хранением необходимо промасливать.

На оцинкованной поверхности заготовок часто встречаются наплывы цинка, которые сохраняются и на готовом профиле. Сохраняется также некачественный сварной шов после сварки концов полос перед горячим цинкованием в агрегатах непрерывного действия.

Одним из дефектов профилей настила из оцинкованной стали толщиной 0,75 – 1,0 мм являются вмятины – местные углубления различной величины и формы. Причины их образования – низкое качество заготовки и выкрашивание металла на рабочей поверхности валков. При профилировании коробоватой заготовки, а также при неправильной установке рабочих валков, когда имеет место «биение» формирующих элементов, возникает волнистость кромок настила.

Изгибом по малым радиусам при недостаточной пластичности формируемого металла и переформовкой участков изгиба обуславливается появление продольных трещин в местах сопряжения прямолинейных участков профиля. Они могут возникать и на готовых настилах при их порезке затупленными или неправильно настроенными ножами автоматических пресс-ножниц. В этом случае возможны также механические повреждения оцинкованной поверхности и смятие переднего конца настила. Поэтому необходимо соблюдать синхронность движений ножей пресс-ножниц и профиля.

Перечисленные явления можно классифицировать как дефекты исходной заготовки и дефекты производства. При непрерывном процессе профилирования первые можно устранять лишь после отформовки готового профиля – путем вырезки дефектных участков пресс-ножницами, что связано с нарушением рабочего ритма профилирования. Дефекты производства следует предотвращать строгим соблюдением технологических инструкций, тем более что их устранение не всегда возможно, так как схемой технологического процесса не предусматриваются дополнительные операции правки профилей.

МАС УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Управление машиностроительным предприятием – многофункциональная и многокритериальная задача, имеющая в каждом конкретном случае особенности. Для решения подобных задач наибольшую эффективность показали системы искусственного интеллекта, построенные на основе мульти-агентного подхода. Мультиагентные системы (МАС) уже доказали свою работоспособность в условиях реального времени [1–7]. Особенностью успешного применения МАС является децентрализация управления, где индивидуальная оптимизация действий каждого агента приводит к глобальному оптимуму задачи управления в целом. Этот эффект возникает в результате взаимодействия агентов, основанного на принципах аукциона, с помощью которого и определяется оптимальное решение в каждой конкретной ситуации [4–10].

В настоящей работе, которая является продолжением предыдущих разработок [8–10], направленных на развитие системы управления машиностроительным предприятием, предложена структура мультиагентной системы (МАС), которая позволяет учитывать особенности технологических процессов предприятий и в условиях имитационной модели с помощью различных аукционов обеспечивает оптимальность изготовления партий изделий в режиме реального (модельного) времени.

В рассматриваемой структуре МАС машиностроительного предприятия за каждым объектом и компонентой, участвующей в процессе производства, закрепляется свой программный агент (рис.). Процессы взаимодействия агентов на рис. показаны стрелками и соответствующими номерами.

Первым в системе управления начинают работу агенты заказчиков, которые передают информацию (связь 1) агентам заказов для формирования заявки на изготовление партий изделий агентам предприятия и для документального и технического согласования номенклатуры партий изделий (связь 2). После чего во взаимодействие вступают агенты управления изготовлением изделия (связь 3), которые контролируют процесс изготовления одного изделия.

Затем агенты изделия, исходя из базового для предприятия технологического процесса (ТП) формируют запросы (связь 4) к агентам оборудования о возможности выполнения ими операции ТП. Если операция возможна, агенты оборудования формируют запрос (связь 5) к агентам управления запасами заготовок, которые определяют необходимую заготовку. Затем агенты оборудования передают (связь 6) агентам транспортных роботов заявку на доставку заготовки. Более детально об оптимальной загрузке оборудования показано в [8–9], а механизм обработки заявок на доставку рассмотрен в [10].

После выполнения текущей операции ТП посылается сообщение агенту

соответствующего изделия об окончании операции для принятия решения о выполнении следующей операции ТП (связь 4) или консервации (связь 7) и упаковке изделия (связь 8). Агенты упаковки изделия посылают агентам сбыта (связь 9) и агентам предприятия (связь 10) сообщения о выполнении партии изделий. Аналогично упомянутые выше механизмы применяются для выбора инструмента (связь 11), приспособлений (связь 12) или смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) (связь 13). Кроме того, агенты управления запасами инициируют переговоры с агентами поставщиков инструмента (связь 14), приспособлений (связь 15) или СОТС (связь 16) и заготовок (связь 17).

Агенты управления изготовлением изделия инициируют создание агентов утилизации отходов производства (связь 18). Агенты сбыта сообщают агентам заказчика (связь 19) информацию о выполнении партии изделий.

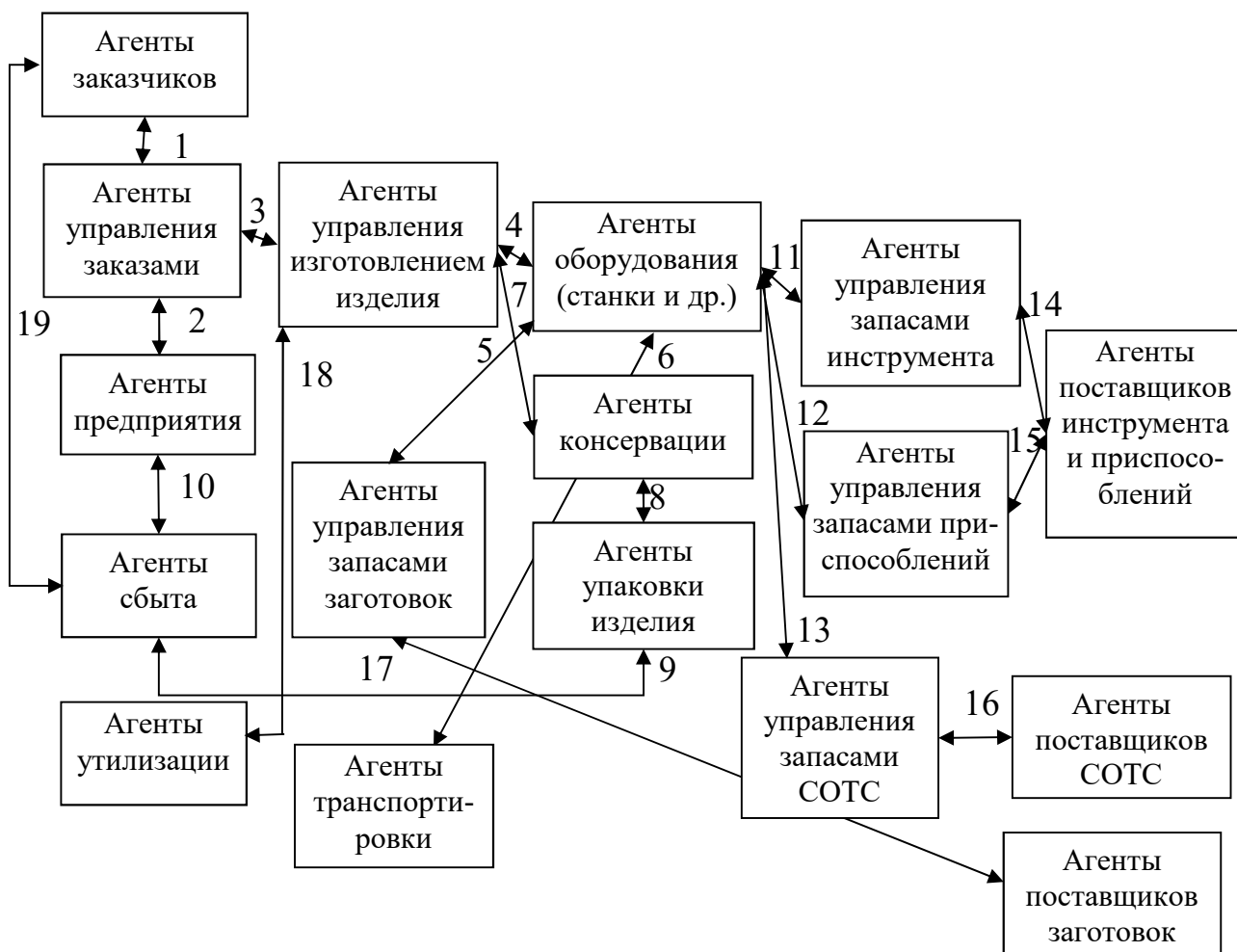


Рисунок 1. – МАС управления машиностроительным предприятием

Компьютерная модель системы, создание которой основывалось на приложении Jade, языке Java и при создании онтологий, редактор Protégé, показала гибкость, т.к. динамично реагирует на изменения в системе, улучшает решения в реальном (модельном) времени. Реальная, техническая реализация такой системы возможна в принципе для любого предприятия, т.к. программного агента можно создавать на любом вычислительном устройстве – компьютере, ЧПУ, планшете, мобильном телефоне и создавать гибридные системы управления.

Анализ полученных результатов позволил сделать ряд важных выводов: – NP сложную задачу можно успешно решать методом декомпозиции, а в случае MAC, где взаимодействуют логически связанные TP агенты, можно осуществить процесс декомпозиции на основе этих связей и рассматривать поэтапно взаимодействие только непосредственных участников процесса.

Предложенная структура управления учитывает не только особенности TP предприятия по изготовлению изделий, но и осуществляет управленческий учет (контроль запасов, связь с поставщиками). Планируется добавление управления людскими ресурсами.

При взаимодействии агентов на каждом этапе управления применяются комбинаторные аукционы, основанные на децентрализованном управлении, что обеспечивает оптимальное решение задачи распределения для значительного числа заданий за приемлемое время в условиях производства. Недостатком применяемого подхода является сложность практической программной реализации системы, т.к. огромное количество входной информации необходимо преобразовать в соответствующие базы знаний системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование технологических процессов лезвийной обработки методами искусственного интеллекта: монография / В. Д. Дмитриенко, И. П. Хавина и др. – Харьков: НТМТ, 2009. – 224 с.

2. Denkena B., Battino A., Woelk P.-O. Intelligent software agents as a basis for collaborative manufacturing systems. *Intelligent Production Machines and Systems*, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005. – Elsevier – 2005. – p. 17-22.

3. Integracion de modelos Bionicos, Holonicos y Fractales para Fabricacion Distribuida / Carrilero, M.S., Aguayo, F., Lama J.R., Ares J.E., Marcos M. // *XVI Congreso Nacional de Ingenieria Mecanica*, Leon (Spain), 2004.

4. Teti R. Agent-based multiple supplier tool management system. *Intelligent Production Machines and Systems*, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005, – Elsevier – 2005, – p. 579-584.

5. Cramton P., Shoham Y., Steinberg R., editors. *Combinatorial Auctions*. MIT Press – 2006. – 1179 p.

6. Vorobeychik Y. A game theoretic bidding agent for the ad auction game // *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, – 2010, – pp. 6-12.

7. Vokřínek J., Pavlíček D., Šmerák R. Simulation of manufacturing processes using multi-agent technology. *Intelligent Production Machines and Systems*, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005, – Elsevier – 2005. – p. 461-466.

8. Хавина И. П. MAC управления загрузкой оборудования цеха / И. П. Хавина, Г. И. Молчанов // *Фізичні та комп'ютерні технології: матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції, 21–22 грудня 2017, м. Харків*. – Одеса: ОНПУ, 2018. – С. 137–140.

9. Лимаренко В. В. Мультиагентная система управления работой механообработывающего цеха / В. В. Лимаренко, И. П. Хавина // *Системы управления, навигации и связи*. Полтава: Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка. – 2016 г. – Вып. 4 (40). – С. 29–36.

10. Хавина И. П. Мультиагентная система оптимального управления коалицией роботов / И. П. Хавина, Г. И. Молчанов // *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – № 17 (1239). – С. 5–9.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТАМИ РАЗНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ЗАТАЧИВАНИЯ

Сверление полимерных композитов на основе стеклянных и углеродных волокон сопровождается интенсивным износом инструмента. Высокая абразивная способность материалов приводит к быстрому изнашиванию режущих кромок инструмента и нарушению его первоначально выбранной геометрии. Последнее обстоятельство становится причиной ухудшения качества просверленных отверстий, появлению прижогов и сколов. Определение оптимальной геометрии инструмента в каждом конкретном случае должно включать в себя учет закономерностей износа инструмента. Кроме того использование тех или иных типов инструментов или модификаций инструмента путем характерного затачивания или подтачивания должно учитывать также его будущее изнашивание в процессе сверления.

Изнашивание сверл в процессе обработки композитов напрямую определяет стоимость операции сверления. Гарантированное качество обработки требует рационального (лучше оптимального) выбора геометрии взятого типа инструмента и во многом определяет выбор режимных параметров обработки. По истечению гарантированной стойкости работы инструмент следует перетачивать. Стоимость операции затачивания во многом зависит от типа инструмента. Для многих специальных инструментов это крайне дорогая операция, выполняемая на специально разработанных для этого станках.

Характер и интенсивность изнашивания могут меняться в зависимости от вида наполнителя и связующего, а также типа армирования композиционного материала. К сожалению, в настоящее время практические рекомендации по учету этих факторов отсутствуют, и износ инструмента необходимо рассматривать чуть ли не в каждом конкретном случае.

Изнашивание сверла в процессе обработки отверстий приводит не только к ухудшению качества отверстий за счет появления сколов, расслоений и разломачиваний, но и к росту температуры в очаге деформаций, что, в свою очередь, приводит к деструкции связующего, его налипанию и даже выгоранию. Рост температуры вершины инструмента приводит к усилению эффекта его затупления, что стимулирует его еще более интенсивный износ. Поэтому определение характера изнашивания и критерия затупления являются важнейшими задачами проектирования операций сверления композитов.

Большинство проведенных экспериментов по определению закономерностей изнашивания при сверлении ПКМ основано на определении потери веса инструментом до и после работы. При этом изменение формы инструмента не

определяется. Несмотря на многочисленные данные о том, что в большинстве случаев наиболее интенсивный износ наблюдается по задней поверхности инструмента, значительные изменения формы наблюдаются по передней грани, в том числе и закругление режущей кромки. Создание математической модели распределения потери веса по режущим граням инструмента и предсказание интенсивности протекающих процессов является актуальной задачей и целью настоящего исследования.

В настоящее время накоплено значительное количество экспериментальных результатов, обработка которых дала возможность получить различные эмпирические соотношения. Метод искусственных нейронных сетей (ИНС) является наиболее подходящим для создания системы прогнозирования результатов обработки и выбора параметров сверления композиционных материалов. Главным преимуществом ИНС является высокая точность обобщения и возможность обучения во время ее использования при обработке результатов лабораторных исследований.

Цель настоящего исследования заключается в создании математического аппарата, алгоритмов и математического обеспечения искусственных нейронных сетей для оценки силовых факторов и качественного состояния обработанных отверстий при сверлении полимерных и «сэндвичевых» композитов сверлами различной конструкции и заточки. Главной причиной выбора ИНС является получение непрерывной окончательной функции приближения (сигмоиды) и возможность обучения (в смысле получения опыта) после выполнения приближения с помощью первых экспериментальных данных.

Используя ИНС, во время механической обработки полимерных композитов, были рассмотрены вопросы изнашивания инструмента. Рассматривается контроль износа инструмента, при котором сравнивается фактический и прогнозируемое значения износа, сигнализирующее о начале появления критических ухудшений качества отверстия, что, в свою очередь, предотвращает повреждение инструмента. В качестве исходных экспериментальных данных использовались результаты различных авторов, опубликованные в открытой печати.

Также содержанием исследования является изучение влияния различных типов и конфигураций сверл, их модификаций и размеров, технологических параметров процесса сверления на величину расслаивания на входе и выходе инструмента при сверлении композитов. ИНС используется для прогнозирования фактора расслаивания. Известные из литературы результаты показывают хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными.

Для разработки прогнозной модели ИНС расчета высоты и толщины заусенцев и разломачиваний предполагается использованием многослойной прямой нейронной сети. Также предполагается включить в модель прогнозирование таких выходных параметров, как осевое усилие и крутящий момент, шероховатость поверхности, анализ величины расслаивания при сверлении композитов инструментами принципиально различных типов конструкции или модифицированными видами классического спирального сверла.

ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ І КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Світовий досвід впровадження електричного розряду в практику інтегрованих технологій механооброблюючих виробництв машинобудування, їх заготовельного та інструментального забезпечення, надихає до пошуку поєднувальних сінергетичних підходів комплексної виробничої організації високоефективних наукоємних розробок в цьому напрямі певного приборкування та використання електричних фізичних ефектів у задачах інженерної механіки. Виконані останніми роками розробки наукової школи фізики процесів різання та інтегрованих технологій машинобудування НТУ «ХПІ» свідчать про технічну можливість та функціонально-експлуатаційну важливість реалізації стратегії створення, врахування та підтримки ефективної технологічної спадковості від етапа до етапу життєвого циклу машинобудівних виробів інтегрованих технологій електророзрядної природи та його супроводження у сервісних технічних системах.

Прикладом науково-практичного напрацювання за таким техніко-ідеологічним сценарієм є використання комплексу інтегрованих електророзрядних технологій (ЕРТ) системою отримання наноструктурної заготовки іскрово-плазмовим спіканням (ІПС), підготовки алмазного інструменту локальним електроізоляційним мікродуговим оксидуванням (МДО) корпусу і проведення процесу обробки алмазно-іскровим шліфуванням (АІШ) на універсальному шліфувальному верстаті.

Розроблювані за таким сценарієм підходи до удосконалення конструкцій алмазно-абразивних інструментів (ААІ) поєднують спрямованість на спрощену організацію АІШ на універсальних шліфувальних верстатах, без пов'язаних з механічною обробкою модернізаційних втручань у відповідальні за точність шліфування шпиндельні вузли, що особливо важливо в умовах звичайних підприємств-користувачів, які не є спеціалізованими верстатобудівельними. Водночас створюваною оригінальною системою технічних і технологічних рішень ААІ для розширення можливостей універсальних верстатів з алмазно-абразивної обробки закладені передумови початку нового системологічного напрямку в класифікації і виробництві алмазно-абразивних інструментів.

При виконанні МДО поверхонь робочих сполучень, посадкових в роз'ємних або в нероз'ємних складальних з'єднаннях, як це має місце, наприклад, в технічних рішеннях алмазних шліфувальних кругів з локальної токозащитою корпусу для їх розширеної адаптації до АІШ, розроблених в НТУ «ХПІ» на базі корпусних конструкцій відповідно конвенційного універсального типу [1] і спеціальної, ви-

конаної згідно з японським прототипом заодно зі шківом робочого приводу [2], важливо надійно прогнозувати розмірний результат цієї операції.

Відповідно стехіометричної трансформації металу поверхні об'єкта МДО в оксидну структуру це теоретично передбачуваний ріст. Однак різна експериментальна практика показує, що розрахунки, які базуються тільки на стехіометрії, лише відображають тенденцію, але не є достатніми для адекватних прогнозів лінійного збільшення матеріалу в ході МДО в напрямку формування покриття в порівнянні з вихідним станом. Відомий сторонній і власний [3] експериментальний досвід стосовно алюмінієвих і титанових сплавів, свідчить про суттєвий вплив на кінцевий розмірний ефект МДО не тільки електричних параметрів, часу та інших технологічних умов організації протікання процесу, особливо складу електроліту, а й марочного хімічного складу і відповідності йому об'єкта МДО, заготівельної технології та вихідної щільності останнього.

Зборка будь яких машинобудівних виробів, особливо складних, в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва, до чого з певною аналогією можна віднести не тільки установку шліфувального круга на верстаті, але і формування поверхневих функціональних покриттів, взагалі характеризується низьким рівнем достовірності технологічних рішень. Це, насамперед, пов'язано з неможливістю пошуку оптимальних варіантів технологічних процесів для заданих організаційно-технічних умов виробництва із-за штучності як об'єкту зборки, так і засобів, що при цьому застосовуються.

Для повноцінної роботи системи проектування складального процесу використовується конструкторська-технологічна модель виробу у вигляді його представлення графом, вузли якого утворюються сукупністю модулів поверхонь, а ребра – модулів з'єднання. Задачами моделювання є декомпозиція виробу на модулі поверхонь і модулі з'єднання, встановлення зв'язків між ними і безпосередньо побудова графа виробу. В результаті система проектування дрібносерійного складання машинобудівних виробів матиме можливість пізнавати виріб і деталі як об'єкти, що взаємодіють, а не як абсолютно знеособлені тіла.

Виходячи з досвіду [4] імітаційного моделювання процесу організаційно-технологічної підготовки механоскладального виробництва відносно підвищення якісного рівня експлуатаційної пристосованості розробки формування функціональних покриттів за методом МДО на посадочних щодо інструментального шпинделю верстату поверхнях ААІ в умовах споживачів інструменту, тобто в умовах машинобудівних підприємств, в сучасних економічних умовах зазвичай з одиничним або малосерійним характером виробництва, можна пропонувати експлуатаційно більш ефективну та технологічно більш гнучку реалізацію з прив'язкою приєднувальних розмірів ААІ після МДО в умовах підприємства-користувача до існуючого верстату наступного використання ААІ, тобто з визначенням потрібного розміру посадкового отвору ААІ після МДО його поверхні за фактичним розміром посадкової поверхні інструментального шпинделю верстату, що сполучається.

Використання інтегрованих ЕРТ в порошковій металургії і алмазно-абразивній механічній обробці забезпечує високі рівні продуктивності та якості

виробництва [5]. Організація енергетично менш ємних умов виникнення електричних розрядів як в придушенні пористості порошкових матеріалів, які консолідують під тиском з прямим струмовідводом в зону формування по методу ППС, так й в оновленні поверхні зв'язки алмазно-металевої композиції робочої частини ААІ по методу АІШ, врахування технологічної спадковості ППС при визначенні режимів АІШ, особливо в роботі з наноструктурними матеріалами, є важливими для ресурсозбереження у виробництві і функціональності у використанні кінцевих продуктів [6].

Застосування спрощеної організації АІШ на універсальних верстатах без електроізоляційного переділу шпindelних вузлів завдяки використанню ААІ із сформованими на їх корпусах методом МДО діелектричними покриттями розширює коло ефективних ЕРТ в системі технологічного забезпечення життєвого циклу виробів з матеріалів високої функціональності, особливо наноструктурних, отриманих за методом ППС, на етапах їх виробництва з фінішним застосуванням АІШ та відповідного сервісного супроводження інструментальним забезпеченням.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуцаленко, Ю.Г. Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 96568 Україна : МПК (2006.01) B24D 3/06 / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, І.І. Степанова; власник : Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № u 201409394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3.

2. Гуцаленко, Ю.Г. Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 117767 Україна : МПК (2006.01) B24D 5/16 / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, В.В. Білозеров, Г.І. Махатілова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u 2017 00074; заявл. 03.01.2017; опубл. 10.07.2017. Бюл. № 13.

3. Грабченко, А.І. Розробка конструкційно-технологічних основ і технічних рішень алмазних інструментів підвищеної функціональності в реалізації електрофізикохімічних методів шліфування : Звіт про НДР (проміжн.) / А.І. Грабченко, О.К. Севидова, О.М. Шелковий та ін.; кер. теми А.І. Грабченко, відп. вик. О.К. Севидова. – № держ. реєстрації 0117U004883; інв. № 0218U001286. – Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2017. – 256 с.

4. Шелковий, О.М. Математичне забезпечення імітаційного моделювання процесу технологічної підготовки / О.М. Шелковий, М.С. Мартинов // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2017) : матеріали тез доп. VII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 24-27 квітня 2017 р.) : у 2-х т. / Чернігів. нац. техн. ун-т. [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 149-150.

5. Узунян, М.Д. Шліфування наноструктурних твердих сплавів : навч. посібник / М.Д. Узунян, Р.М. Стрельчук. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – 182 с.

6. Гуцаленко, Ю.Г. Теория и практика оптимальной организации электро-разрядных технологий спекания под давлением и алмазного шлифования высокоплотных порошковых материалов / Ю.Г. Гуцаленко // Сучасні технології в машинобудуванні. – Вип. 9. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – С. 17-22.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗЕРКАЛ ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК

Анализ существующих технологических процессов изготовления зеркал лазерных установок показал, что улучшение физико-химических параметров поверхности при обработке свободным абразивом возможно за счет улучшения технологической среды, конструкций инструмента и полировальника, режимов обработки, а также автоматизации технологического цикла изготовления. Поэтому в работе предложены разработанные технологические решения, направленные на повышение отражательной способности металлических зеркал, связанные с проектированием технологии изготовления деталей с применением улучшенных технологических сред конструкций, инструментов и полировальников, а также оптимизацией процесса их обработки [1 – 3].

Улучшение технологических сред возможно путем применения в абразивных суспензиях всевозможных компонентов, которые в процессе обработки приводят к улучшению физико-химического состояния поверхностного слоя. Работа выхода электронов должна уменьшаться.

Для обработки зеркал из меди, алюминиевых сплавов и молибдена разработаны оптимальные технологические составы, обеспечивающие повышение их отражательной способности. Разработанные составы с полимерными добавками обеспечили повышение отражательной способности по сравнению с применявшимися ранее составами. Состав суспензии защищен авторским свидетельством [2]. В качестве полимерной добавки выбрана поливинилацетатная дисперсия (ГОСТ 18992-73), наличие которой в суспензии при оптимальном содержании 5 – 7 вес %, обеспечивает фиксацию абразивных зерен на полировальнике, а продукты механической деструкции поливинилацетата химически взаимодействуют с металлом обрабатываемой детали, с неровностями поверхностного слоя, сглаживая их. На поверхности образуется тончайшая, оптически прозрачная окисная пленка. При этом образуется ювенильная поверхность с благоприятным физико-химическим состоянием, с тончайшей пленкой окислов, которая практически не влияет на отражательную способность. Работа выхода электрона у такой поверхности гораздо меньше, чем у поверхностей, обработанных абразивной суспензией, например, с добавками поверхностно-активных веществ. Наличие полимерных добавок повышает в 2 раза съём металла по сравнению с применявшимися ранее добавками ПАВ и повышает производительность труда.

Кроме этого состава использовали состав на основе оксихинолиновых соединений при следующем соотношении компонентов (вес %): алмазный порошок 2 – 4; насыщенный раствор 8-оксихинолина – остальное. Введение ком-

плексообразующего компонента 8-оксихинолина обеспечивает увеличение производительности обработки за счет подавления сдвиговых деформаций и селективности воздействия на поверхностный слой обрабатываемого материала комплексообразующих компонентов (КК). Они взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью, и при этом вначале адсорбируются поверхностью, а затем координационные центры КК образуют комплексные образования (еще не ставшие комплексными соединениями) с наиболее активными центрами поверхности. В результате активные центры, представляющие собой узлы кристаллической решетки материала, все более вовлекаются в координационную сферу КК. При этом все более ослабевают связи, удерживающие ионы в узлах кристаллической решетки. Таким образом, существенно снижается энергетический порог отрыва ионов. Для этого достаточно небольших энергий сдвиговых деформаций в процессе полирования, то есть съем поверхностного слоя может происходить не только путем царапания абразивными частицами, но и за счет сдвиговых деформаций. В результате значительно увеличивается производительность обработки в процессе полирования с участием КК.

Другой особенностью является селективность воздействия на поверхностный слой обрабатываемого материала. Наиболее уязвимыми местами для комплексообразования являются дефектные области поверхности, особенно наклонные гребни выступов, а также впадины, в которые затруднено проникновение громоздких молекул комплексообразователей. За счет этого максимальное количество КК взаимодействует с наиболее доступными узлами дефектных зон (гребни выступов), обеспечивая максимальный съем этих участков. Одновременно происходит сглаживание рельефа поверхности выступов, уменьшается крутизна и высота профиля. Особенно важно, что поверхность в процессе обработки в среде КК 8-оксихинолина не изменяет своего состава. В результате этого работа выхода электрона такой поверхности минимальна.

В качестве состава для изготовления полировальника использовали полировальную смолу марки СП-18 ТУ (СТБ 47-71), изготавливаемую Красногорским оптико-механическим заводом, с введением добавки в виде износостойких мелкодисперсных частиц фторопласта-4. Частицы фторопласта-4, обладающие более высокой износостойкостью, способствуют сохранению заданной формы поверхности полировальника и повышению отражательной способности обрабатываемой детали. Применение такого полировальника благоприятно влияет на физико-химическую структуру поверхности – способствует меньшему шаржированию и окислению поверхности благодаря интенсивному съему материала. Это позволяет без предварительной подготовки (исключая операцию шлифования) получать качественную поверхность. Разработанные составы суспензии обеспечивают более ровный фон риска, благодаря чему поверхность приобретает высокую коррозионную стойкость во влажной атмосфере в течение длительного периода эксплуатации (порядка 1 года). На основании результатов испытаний для изготовления полировальника можно рекомендовать композиционный материал следующего состава (% , массовые доли): 90 – 95 пекоканифольной смолы; 5 – 10 мелкодисперсного порошка фторопласта-4.

По эксплуатационным характеристикам полировальники с этим составом превосходят ранее применявшиеся полировальники на основе пеко-канифольной смолы. Установлено, что производительность обработки с применением такого полировальника увеличилась на 20 – 25 %, износостойкость – на 23 – 26 % по сравнению с обработкой полировальником на основе пеко-канифольной смолы. Отражательная способность медных зеркал увеличилась с 98,8 % (достигаемой при использовании традиционной технологии) до 99,3 %.

Для дальнейшего повышения качества обработки поверхностей деталей из алюминия, меди и их сплавов (например, повышения отражательной способности зеркал) необходимо полировать или доводить детали технологическими средами на основе сферических абразивов с размером зерна 0,05 – 0,3 мкм.

Экспериментальные исследования показали, что при абразивном полировании шероховатость поверхности с течением времени обработки первоначально уменьшается, а затем стабилизируется. Это связано с уменьшением контактного давления на обрабатываемую поверхность. Установлено также, что с уменьшением зернистости абразивного порошка время до момента стабилизации шероховатости поверхности уменьшается. Для каждой зернистости абразива существует только ей присущая высота неровностей полированной поверхности (при равной шероховатости исходных поверхностей).

Установлено, что применяемые в промышленности процессы абразивной обработки и практические рекомендации по их эффективному использованию не обеспечивают требуемого сглаживания неровностей поверхности и достижения весьма малых значений высотных параметров шероховатости поверхности деталей с оптическими характеристиками. Поэтому перспективными направлениями дальнейшего развития абразивной обработки с целью достижения сверхгладких поверхностей деталей с оптическими характеристиками следует рассматривать метрологическое обеспечение контроля качества обработки, выбор соответствующей технологической среды и разработка системы управления процессом формообразования поверхностных слоев деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. 478067 СССР, М. Кл. С23В 5/68. Устройство для гальванической обработки изделий электроконтактным способом / П. Д. Дудко, Ю. Ф. Назаров, Д. А. Стороженко, В. Г. Шкурупий и др. (СССР). – № 1977546/22–1. Оpubл. 25.07.75. Бюл. № 27 // Открытия. Изобретения. – 1975. – № 27. – С. 80.

2. А. С. 905256 СССР, М.Кл³. С09КЗНЧ. Доводочный алмазно-абразивный состав / П. Д. Дудко, Ю. Ф. Назаров, В. Г. Шкурупий и др. (СССР). – № 2861281/23-26. Оpubл. 15.02.82. Бюл. № 6 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 6. – С. 121.

3. Шкурупий В. Г. Перспективы развития абразивной обработки поверхностей деталей в нанотехнологии / В. Г. Шкурупий // Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – Вип. 2 (17). – С. 469–474.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Андилахай А. А.</i> ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ	3
<i>Андилахай В. А.</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ШЛИ- ФОВАНИИ НАПЛАВЛЕННЫХ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНУСОВ И ЧАШ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ	7
<i>Анкуда С. Н., Хейфец И. М.</i> ИНТЕГРАЦИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ	10
<i>Артюх Г. В.</i> , <i>Иванов Е. И.</i> РАЗРАБОТКА УПРУГОГО ШАРНИРА И УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ДЛЯ КЛЕТЕЙ СТАНА 3000	12
<i>Беспалова А. В., Лебедев В. Г., Фроленкова О. В., Луговская Е. А.</i> РАЗРЕЗАНИЕ КАМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ АЛМАЗНЫМИ ДИСКАМИ	17
<i>Бурлаков В. И.</i> ВЛИЯНИЕ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ СВЕРХТВЕРДОЙ КЕРАМИКИ	20
<i>Бурлаков В. И.</i> ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ РСВН-ПЛАСТИН	21
<i>Вакуленко К. В.</i> МАГНИТНАЯ КОЭРЦИТИМЕТРИЯ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	22
<i>Вакуленко К. В.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ	23
<i>Васильев А. С., Клименко С. А., Премент Г. Б., Хейфец М. Л.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ГИЛЬЗЫ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ	25
<i>Гайдаш Р. П., Коваленко Ю. І., Медяник В. В., Бондаренко Ю. Ю.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ МІКРООБРОБКИ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	27

<i>Глембоцкая Л. Е., Балицкая Н. А., Полонский Л. Г., Китаев А. М.</i> ВЫСОКОПРОДУКТИВНАЯ ТОРЦЕВАЯ ФРЕЗА ДЛЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ	29
<i>Гусарев В. С.</i> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	31
<i>Гуцаленко Ю. Г.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ФИНИШНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ	38
<i>Гуцаленко Ю. Г.</i> ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛМАЗНО- АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО СО- ПОСТАВЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ РЕСУРСОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ	41
<i>Дервянченко А. Г.</i> НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИКРОСТРУКТУР МАТЕРИАЛОВ	44
<i>Дитиненко С. А.</i> ОПЫТ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПАСТАМИ И СУСПЕНЗИЯМИ	48
<i>Жовтобрюх В. А.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПАКТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ DNM 4000	52
<i>Жовтобрюх В. А.</i> СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ ИНСТРУМЕНТОМ ФИРМЫ TAEGUTEC	54
<i>Жовтобрюх В. А.</i> НОВЫЕ МОНОЛИТНЫЕ ФРЕЗЫ STARMILL ДЛЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ	58
<i>Жовтобрюх В. А.</i> CHASEMILL POWER – АЛЬТЕРНАТИВА ДОРОГОСТОЯЩЕМУ МОНОЛИТНОМУ ИНСТРУМЕНТУ	59
<i>Зяхор И. В., Завертанный М. С.</i> ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ	62
<i>Калюжный О. Б., Еремин В. С., Платков В. Я.</i> ПОЛИМЕРНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНОГО МЕТАНА	64
<i>Клименко С. А., Копейкина М. Ю., Мельнийчук Ю. А., Клименко С. Ан., Манохин А. С., Чумак А. О.</i> РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ОСНАЩЕННЫЕ СВЕРХТВЕРДЫМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА	67

<i>Клочко О. Ю., Шевченко Е. В.</i> МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ФАЗ	69
<i>Ковалевська О. С., Ковалевський С. В., Ємець В. В.</i> СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПОШУКУ РЕЗЕРВІВ ДІАГНОСТИКИ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ	72
<i>Ковалевський С. В., Ковалевська О. С., Кошевой А. О.</i> НОВИЙ ПРИНЦИП ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМО-ЕРС	75
<i>Коломиец В. В., Ридный Р. В., Фабричникова И. А., Шабалин Д. В., Vijay Kumar</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПИКОМЕТРИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА	77
<i>Коломісць В. В., Богданович С. А., Рідний Р. В., Свіргун О. А., Харченко С. О., Півень М. В.</i> НОВА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДОВЖИН ВАЛІВ ОДНОСТУПІНЧАСТИХ КОНІЧНИХ РЕДУКТОРІВ	79
<i>Кремнев Г. П., Наддачин В. Б., Бердичевский Е. Г.</i> УЧИТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЮ И КОНСТРУИРОВАНИЮ!	84
<i>Крюк А. Г.</i> ПРОГРЕССИВНЫЙ МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	86
<i>Лавріненко В. І.</i> ПУБЛІКАЦІЇ ОСТАННІХ РОКІВ З АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ У НАПРЯМКУ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»	88
<i>Ларшин В. П., Лиценко Н. В., Рябченко С. В.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ	93
<i>Лебедев В. Г., Чумаченко Т. В., Луговская Е. А., Беспалова А. В.</i> ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ШЛИФУЕМОЙ ДЕТАЛИ	96
<i>Лебедев В. Г., Клименко Н. Н., Луговская Е. А., Беспалова А. В.</i> НАПЛАВЛЕННЫЙ СЛОЙ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ЕГО СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ШЛИФОВАНИЕМ КРУГАМИ ИЗ КНБ	99
<i>Лиценко Н. В., Ларшин В. П.</i> НАУЧНЫЕ ГИПОТЕЗЫ В МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ	101
<i>Лиценко Н. В., Ларшин В. П., Ковальчук О. М., Нежебовський В. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОСТІ ПРИ ШЛІФУВАННІ	105

<i>Ляшенко Б. А., Сомотугина С. С.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО БЕЛОГО ЧУГУНА ПЛАЗМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ	108
<i>Малыхин В. В., Гайдаш Н. М., Артеменко Ю. А., Новиков Ф. В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИМИ НАПЛАВОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	111
<i>Марчук В. І., Марчук І. В., Олексин М. В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ	117
<i>Матвейчук В. В., Петков А. А.</i> РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ	121
<i>Новиков Г. В.</i> НОВЫЕ МОНОГРАФИИ О ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	123
<i>Новиков Д. Ф., Новиков Ф. В., Андилахай В. А., Андилахай А. А.</i> ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ ЦИЛИНДРОВ	127
<i>Новиков С. Г., Малыхин В. В.</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕМПФИРУЮЩИМ РЕЗЦОМ	129
<i>Новиков Ф. В., Полянский В. И.</i> НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ	133
<i>Онофрейчук Н. В.</i> ЯКІСТЬ – НАШЕ МАЙБУТНЄ	138
<i>Панов Д. О., Полянский В. И.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ОТ ЯПОНСКОЙ КОМПАНИИ SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.	143
<i>Пермяков О. А., Шепелев Д. К., Ищенко М. Г.</i> АНАЛІЗ КОМПОНОВОК ПОРТАТИВНОГО МОБІЛЬНОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	147
<i>Пижов І. М., Федорович В. О., Волошкіна І. В.</i> ДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ САМОЗАТОЧУВАННЯ АЛМАЗНИХ КРУГІВ ПРИ ШЛІФУВАННІ ПНТ	149
<i>Полянский В. И.</i> ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	152

<i>Романюк С. П., Стеценко С. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОКРЫТИЙ	156
<i>Рябенков И. А.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЫЧНОГО И ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СНИЖЕНИЯ СИЛОВОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ОБРАБОТКИ	159
<i>Савченко Н. Ф.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОЙ ШТАМПОВКИ	163
<i>Савченко Н. Ф., Третьяк В. В.</i> К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПНЕВМОЗАРЯДОВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА	167
<i>Самотугин С. С., Христенко О. А.</i> РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЬБОВЫХ РЕЗЦОВ ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ПЕРЕТОЧЕК	170
<i>Сенють В. Т., Парницкий А. М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СВН	174
<i>Степанов М. С., Ключко А. А., Анцыферова О. О., Новиков Ф. В., Палашек С. Ю.</i> УСЛОВИЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ	177
<i>Стрельницький В. Є., Гуцаленко Ю. Г., Севидова О. К., Степанова І. І.</i> ДИЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРИТТІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ АК6 І Д16Т ПІСЛЯ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ	180
<i>Стрельчук Р. М.</i> ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЗАСАЛЕННОГО СЛОЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА	183
<i>Ткаченко Б. О., Яровий Ю. В.</i> РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ	185
<i>Третьяк В. В., Онопченко А. В., Невешкин Ю. А., Савченко Н. Ф.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ШТАМПОВКИ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ИМПУЛЬСНОМ ПРЕССЕ	186
<i>Тришевский О. И., Бабаев И. А.</i> КАЧЕСТВО ПРОФИЛИРОВАННЫХ НАСТИЛОВ И ПАНЕЛЕЙ ИЗ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ И ПУТИ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ	189

<i>Хавина И. П., Молчанов Г. И.</i> МАС УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	191
<i>Хоу Чживень, Хавин Г. Л.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТАМИ РАЗНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ЗАТАЧИВАНИЯ	194
<i>Шелковий О. М., Степанов М. С., Гуцаленко Ю. Г.</i> ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ І КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНІХ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	196
<i>Шкурутий В. Г., Новиков Ф. В.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗЕРКАЛ ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК	199

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

(Материалы международной научно-технической
конференции, 26-29 сентября 2018 года, г. Одесса)

Редакторы: Новиков Ф. В.
Яровой Ю. В.

Подписано в печать 03.09.2018
Формат 60×84
Бумага типографская
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 13,0
Тираф 200 экз.

Одесский национальный политехнический университет
65044, г. Одесса, проспект Шевченко, 1