



# **Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении**

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

# **НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ**

*Материалы международной научно-технической  
конференции*

*22-24 сентября 2021 года*

Одесса – 2021

**Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении:** Материалы международной научно-технической конференции, 22-24 сентября 2021 г., г. Одесса. – Одесса: Государственный университет «Одесская политехника», 2021. – 222 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.
10. Новые технологии производственной безопасности.

Материалы представлены в авторской редакции.

## **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ ПО ГАЗИФІКОВАНИМ МОДЕЛЯМ**

Лиття за газифікованими моделями (ЛГМ) дозволяє отримати виливки високої якості. Незважаючи на те, що метод ЛГМ почали розробляти ще в 60-х роках минулого століття, для сьогодення він все ще є ефективним. Моделі для формування ливарної порожнини виготовляються з пінополістиролу, що повністю газифікується при заливанні рідкого металу у ливарну форму. У цьому випадку виливок максимально точно повторює форму конструкції моделі. Будь-які недоступні або приховані ділянки, розміри яких неможливо було б перевірити, повністю відсутні. Розширення сфери використання технології ЛГМ відбувається завдяки можливості використання широкого списку конструкційних матеріалів: сталі, чавуни, кольорові сплави.

Однією з переваг ЛГМ є нейтралізація газів при виливанні чорних металів, що є актуальним для сучасних вимог щодо екологічності виробництва. Адже процес виливання виробів зі сталей та чавунів вважається найбільш брудним і загазованим. Для даного способу виливання відсутня необхідність використання високоточних формувальних машин пресування, струшування, складання форм. Це скорочує виробничі витрати та підвищує продуктивність. Для покращення умов праці при виливанні за газифікованими моделями широко використовується автоматизація процесів, яка постійно удосконалюється.

Автоматизація складних процесів, зменшення часу робочого циклу, можливість використання формувального піску спричиняють зниження вартості виливків у порівнянні з іншими способами виливання. Значною перевагою для зазначеного способу є гнучкість відносно серійності виробництва. Спеціальні виробничі комплекси можуть виконувати як штучні партії так і замовлення масових обсягів.

Виробничий потенціал технології лиття ЛГМ для сьогодення є невичерпним. Вона дозволяє отримувати раніше нетехнологічні литі багатопористі, комірчасті і каркасні виливки, виливати не тільки метали і сплави, але й отримувати композити та армовані конструкції із покращеними характеристиками. При цьому в модель попередньо вставляють різні конструкції або матеріали, які формують композит або армовану конструкцію, а накладання газового тиску на рідкий метал збільшує стабільність просочення таких виробів зі вставками на довжину до 1 м.

Обладнання для процесу ЛГМ обирається відповідно до змісту та послідовності технологічних операцій. Умовно за призначенням обладнання ЛГМ можна поділити на дві групи: для роботи на ланці «Білий цех», та на ланці «Чо-

рний цех». «Білий цех» – це умовна назва технологічної ланки, де відбувається виготовлення пінополістирольних моделей, фарбування та сушіння модельних блоків. «Чорний цех» – технологічна ланка, де відбувається формовка та заливання модельних блоків, включаючи піскооборот.

Для початкового етапу, що пов'язаний зі спінюванням полістиролу, застосовують передспінювач полістиролу із сушильної камерою. Для виготовлення дрібних і середніх розмірів моделей з пінополістиролу використовують автоклави. Виготовлення моделей у ливарних автоклавах проводиться шляхом задувки спіненого полістиролу в металеву прес-форму і подачі пари під тиском. Пінополістирольні моделі можуть також виготовлятися на фрезерних верстатах із ЧПУ або на верстатах для прорізування моделей за заданою програмою. Різка блоків здійснюється нагрітою струною з нікель-хромового сплаву на поворотному столі.

Для виготовлення великих або серійних моделей з пінополістиролу застосовують модельні гідравлічні або гвинтові-механічні автомати. При цьому вторинне спінювання полістиролу відбувається в металевій або алюмінієвій прес-формі під тиском. Відмінність моделі з гідравлічним приводом від гвинтової полягає у більш швидкісному режимі роботи, який досягається за рахунок швидкого і плавного переміщення плит із прес формою.

Основним матеріалом, що формує порожнину ливарної форми є кварцовий пісок, для транспортування та охолодження якого зручно використовувати пневмопотік або найпростіші конвеєри. Автоматизація процесу ЛГМ на стадії наповнення опоки потребує постійного постачання сипучого наповнювача, у якості якого використовують пісок після попереднього процесу виливання. Для повторного використання пісок має бути очищеним, однорідним та охолодженим. При удосконаленні обладнання для автоматичних ліній найбільше нестандартних рішень вимагає проектування обладнання для обороту піску, що забезпечує охолодження, регенерацію, стабільну якість піску. До такого обладнання висуваються вимоги щодо компактності, простоти обслуговування та виготовлення, низької енергоємності, забезпечення безпечних умов праці щодо шумо- та пиловидалення.

Існує декілька розповсюджених схем улаштування обладнання безперервної дії. Один із них – спосіб охолодження у псевдозжиженому прошарку. При відповідних температурах і газових складових такий прошарок імітує теплопровідні, ізотермічні та дифузійні властивості рідин, створюючи умови для рівномірного охолодження теплообміном з повітряним потоком за рахунок примусової конвекції [1].

На лініях регенерації піску установкам охолодження передують вібросито, у якому відбувається одночасно з видаленням крупних включень вентилювання з видаленням пиловидної складової без попадання її зовні. Відпрацьоване повітря, що відходить від установок лінії охолодження піску, потребує очищення. Для цього застосовують осаджувачі.

Завдання створення високопродуктивних формувальних автоматів та удосконалення окремих застосовуваних при формуванні допоміжних механізмів

може бути вирішене тільки на основі автоматизації комплексу технологічних і транспортних операцій. З цією метою розробляються механізовані комплекси. Використання в процесі ЛГМ автоматизованих формуючих комплексів надає такі переваги: отримання великого тоннажу лиття на мінімальних площинах; система автоматичного управління дозволяє задіяти в роботі лінії одну людину; повністю позбавитись від «людського фактора» при формуванні; регулювання напрямку та інтенсивності вібрації на програмному вібростолі; розташування в опці кількох модельних блоків, що значно підвищує продуктивність обладнання; вакуумування опок.

Найбільшим попитом на ливарному ринку користуються малі механізовані комплекси, що призначені для невеликих обсягів виробництва. У таких комплексах відсутні механізми переміщення опок по лінії. Це дозволяє знизити вартість на 40 %. Для більших обсягів виливання можна використовувати конвеєрні автоматизовані лінії.

Роторно-конвеєрні комплекси (РКК) дозволяють забезпечити поєднання транспортних і технологічних операцій ливарних процесів. Конкуруючи із традиційними автоматичними формуючими лініями, РКК сприяють підвищенню продуктивності процесу ЛГМ. Застосування принципів проектування РКК для ЛГМ процесу дозволяє збільшити продуктивність, зменшити операційні запаси матеріалів, скоротити цехові площі, а також енергоємність, трудомісткість, собівартість лиття, капітальні витрати з прискоренням їх окупності.

Основні принципи побудови роторно-конвеєрної лінії найлегше здійснити в ланцюзі операцій, що виконуються з приблизно однаковою тривалістю на столах або каруселях, що синхронно обертаються. Вітчизняні різновиди ЛГМ процесів включають прискорене охолодження виливків у піщаних формах шляхом інтенсифікації конвекційного тепловідведення [2]. Це актуально для регулювання тривалості витримки виливка у формі при синхронізації операцій на роторно-конвеєрних лініях.

Перспективним напрямком удосконалення автоматизації процесу ЛГМ є поєднання модельних і ливарних ліній, на яких проводиться термообробка виливків для оптимізації механічних властивостей, поліпшення обробки різанням. В цілому, ідеальне рішення завдання представляється в отриманні готових до складання металевих заготовок із максимальним використанням можливостей РКЛ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дорошенко В. С. Оборудование непрерывного действия для литья по газифицируемым моделям [Електронний ресурс] / В. С. Дорошенко, И. О. Шинский, К. Х. Бердыев // Процессы литья. – 2009. – Вип. №2. – URL : <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/114125/11-Doroshenko.pdf?sequence=1> (дата звернення 30.08.2021 р.).

2. Концепция роторно-конвейерного комплекса для литья по газифицируемым моделям и термообработки отливок / В. С. Дорошенко // Металл и литье Украины. – 2019. – № 1–2 (308–309). – С. 31-40

## ВЛИЯНИЕ ЗЕРНИСТОСТИ ПАСТЫ ГОИ НА ПРОЦЕСС ДОВОДКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Обработка деталей из сталей, чугунов, цветных металлов методом доводки для получения высококачественных поверхностей по параметрам шероховатости и точности, осуществляется при использовании абразивных материалов. В процессе исследований было выявлено, что в большой степени на качество обработки и производительность, что очень важно для крупногабаритных деталей, к которым относится запорная арматура для магистральных трубопроводов, большое влияние оказывает абразивное зерно и все технические и физические характеристики, связанные с ним.

Из литературных источников [1, 2, 3], а также других, известно, что зернистую дробленую массу, для работ, связанных с доводкой прецизионных поверхностей, суть которой заключается в срезании гребешков (пиков) металла с поверхности, придавая ей необходимую шероховатость и размеры, используют жидкостные взвеси, пасты. Как свидетельствуют эти источники важнейшим параметром этих составов, является их шлифующая способность, которая во многом зависит от свойств абразивного зерна: его величины, формы, прочности, твердости, хрупкости, теплостойкости, износостойкости.

На представленном рис. 1 указаны обрабатываемые поверхности.

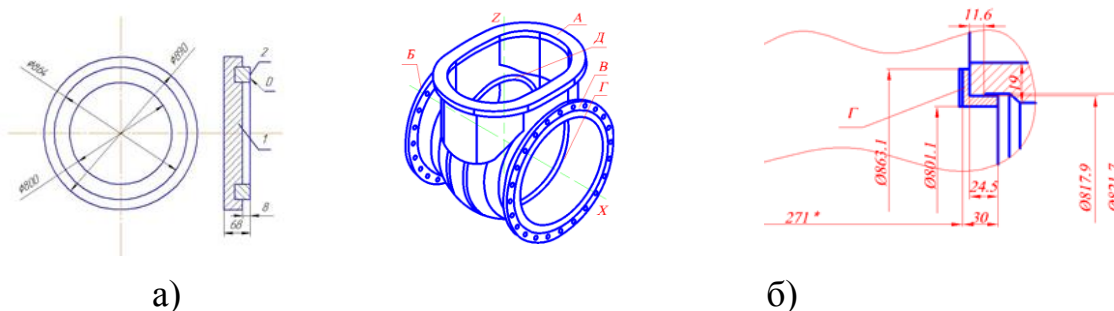


Рисунок 1 – Эскизы деталей и ремонтируемых поверхностей:  
а) диска поверхность 2; б) корпуса поверхности Γ и Д

Так как литературные источники рекомендуют, для выполнения процесса доводки использовать шлифовальные порошки, пасты, микропорошки, которые удаляют припуск посредством массового динамического воздействия абразивных зерен на обрабатываемую поверхность, которое осуществляется в результате сложного взаимного движения, и при необходимом подпружиненном силовом воздействии абразивных зерен на обрабатываемую поверхность. Все это выполняется при таком виде обработки, как доводка. По точности и шерохова-

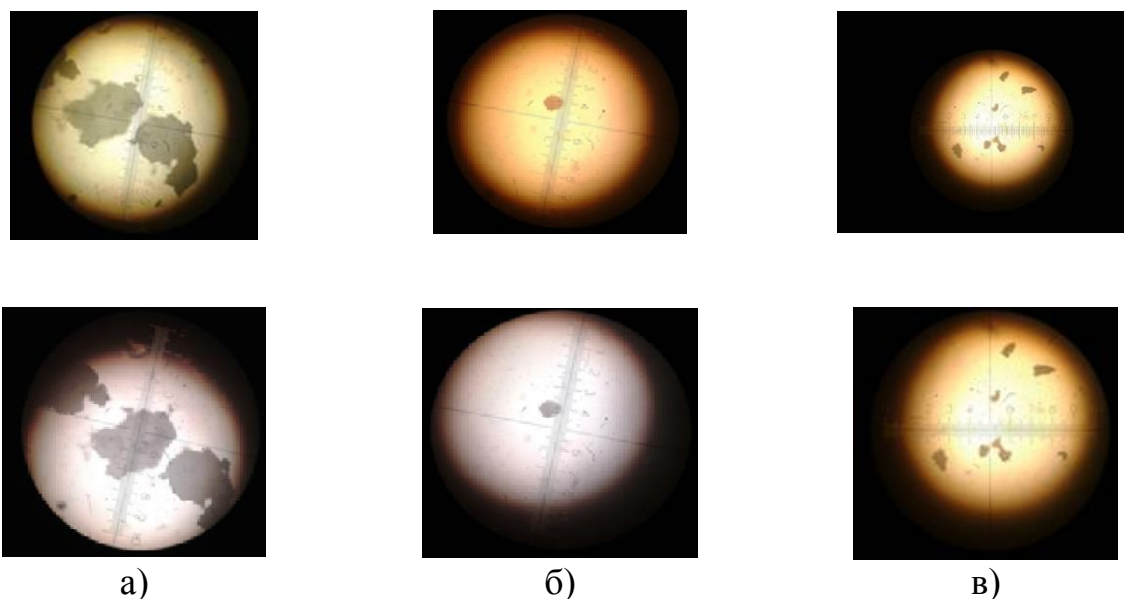
тости обрабатываемой поверхности доводочные операции разделяют на черновые, которые позволяют получить  $Ra = 1,6 \dots 0,4$  мкм и точность обработки  $3 \dots 5$  мкм; чистовые  $Ra = 0,2 \dots 0,05$  мкм и точность обработки  $1 \dots 2$  мкм и тонкие,  $Ra = 0,05 \dots 0,025$  мкм и точность обработки  $0,1 \dots 0,05$  мкм. Контактные пояски, обеспечивающие контактную плотность собранного узла изготавливают из цветных поясков, вмонтированных в детали. Наиболее предпочтительным материалом для поясков, являются такие материалы, как медь, алюминий и их сплавы, которые рекомендуют обрабатывать абразивными материалами пониженной твердости: окись хрома, окись алюминия и крокус.

В нашей работе принималась химико-механическая теория доводки, предложенная И. В. Гребенщиковым, которая рассматривает процесс доводки, как совокупность физико-механических процессов, связанных с образованием окисных плёнок под действием химически активных веществ и механического удаления их с поверхности. Суть воздействия зерен, которые находятся в промежуточной абразивной прослойке между притиром и деталью, заключается в царапании зерном по поверхности детали с одновременным перекачиванием зерен по поверхности и их микроударным воздействием на неё, создавая положительное напряжённое состояние на поверхности, а также с их одновременным дроблением, которое зависит от прочностных характеристик зерен их износостойкости и усилий взаимодействия, возникающих при контакте притира с деталью. Были проведены исследования для конкретного случая, чтобы управлять процессом доводки, с использованием пасты ГОИ, разработана технология доводки вставок из латуни. Паста ГОИ изготавливается трех групп: грубая, средняя, и тонкая. Номер пасты ГОИ соответствует её абразивной способности т.е. №20 имеет абразивную способностью 20 мкм. Для усиления полирующего действия пасты, а также для усиления действия адсорбционных процессов и улучшения удаления шлама, в эту пасту добавлена ПАВ (поверхностно-активное вещество) содержащее стеариновую и олеиновую кислоты. В работе приводятся особо важные зависимости, по экспериментам, проведенным нами, которые характеризуют зерновой состав паст и степень влияния их на процесс доводки.

Перед тем как проводить исследования по влиянию зерновой массы на обрабатываемую поверхность, для выявления геометрические параметры зёрен всех трёх групп пасты ГОИ, было проведено микрофотографирование зерен, представленных на рис. 2.

После этого, каждой из групп, в последовательности, уменьшения размеров зерен, имитировался технологический процесс доводки плоских пластинок с использованием черновой, чистовой и тонкой зерновых масс, после каждой операции, при помощи профилографа снимались профилограммы. Для объяснения характеров получаемых поверхностей был принят следующий подход, а именно, предположительно, теоретически, выявлялось в количественном плане, сколько и какой зерновой массы во время ведения процессов черновой, чистовой и тонкой доводки находится в объёме, ограниченном размерами притира и обрабатываемой поверхности, а также величиной зерна которым ведется доводка.





*Рисунок 2 – Фотографии зерен пасты ГОИ различной крупности (а-грубые, б-средние, в-тонкие)*

При выявлении размеров зерен каждой из групп было выявлено, что крупные зерна имели размеры в диапазоне 45...65 мкм, средние 45...30 мкм, а мелкие 5...2 мкм. Это дало возможность уточнить, каким образом зависит процесс обработки пастой ГОИ, от количества отдельных зерен в общей зерновой массе пасты, т.е., как отношение числа зерен определенной зернистости к общему объему количества пасты влияет на шероховатость доводки. Поэтому при использовании абразивных паст и суспензий концентрацию абразива мы выражали в **шт/мм<sup>3</sup>**, т.е. отношение числа зерен **n**, к общему объему массы пасты **V<sub>общ</sub>**, в которую эти зерна внесены

$$K = n / V_{\text{общ}}$$

С уменьшением количества жидкой компоненты пасты число абразивных зерен, которые будут контактировать с поверхностью детали увеличивается. Будем исходить из того, что в каждой группе пасты концентрация абразивных зерен оптимальна. Объем массы пасты, которая применялась в экспериментах, был один и тот же, но зернистость в каждой операции была различна:

#### **Предварительная доводка**

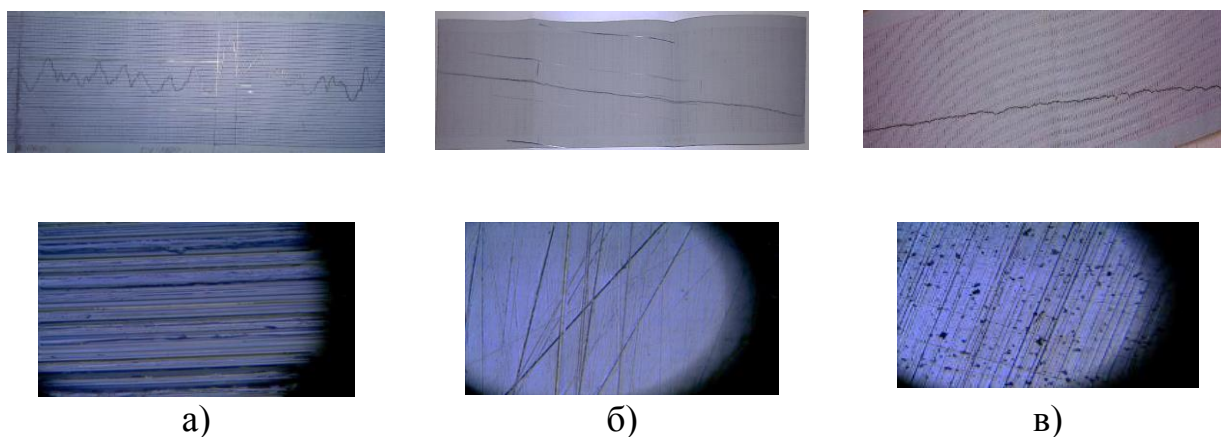
$V = d = 60$  мм,  $S = 2826 \text{ мм}^2$ , ( $V$ -ширина пояска;  $d$ -диаметр притира), средняя величина крупного зерна – 50 мкм = 0,05 мм, тогда  $V_{\text{пасты}} = 141,3 \text{ мм}^3$ ,  $N_{\text{зер}} = 56520$  шт;

#### **Чистовая доводка**

$V = d = 60$  мм;  $S = 2826 \text{ мм}^2$ , средняя величина среднего зерна 15 мкм = 0,015 мм, тогда  $V_{\text{пасты}} = 43,4 \text{ мм}^3$ ,  $N_{\text{зер}} = 188400$  шт;

#### **Тонкая доводка**

$V = d = 60$  мм,  $S = 2826 \text{ мм}^2$ , средний размер тонкого зерна 5 мкм = 0,005 мм, тогда  $V_{\text{пасты}} = 14,1 \text{ мм}^3$ ,  $N_{\text{зер}} = 565200$  шт.



*Рисунок 3 – Профилограммы и внешний вид обработанных поверхностей (увеличение  $\times 1200$ ): а) поверхность, полученная после точения; б) поверхность, полученная после первой операции доводки (предварительной); в) поверхность, полученная после второй операции доводки (чистовой)*

Как показывают выполненные расчеты: при предварительной доводке на площади непосредственного контакта притира с обрабатываемой поверхностью принимают участие – 56520 зерен фракции 50мкм, при чистовой – 188400 зерна фракции 15 мкм, а при тонкой доводке – 565200 зёрен фракции 5мкм, что объясняет снижению шероховатости при уменьшении фракции зёрен на каждой операции и увеличению их количества. При обработке крупными зёрнами на черновой операции процесса доводки идет процесс микрорезания единичными зёрнами пасты [2]. При дальнейших доводочных операциях (чистовой и тонкой), вырастает доля микроударного воздействия зёрен более мелких фракций из-за их более плотного распределения, обеспечивая при этом повышение класса шероховатости и глубину наклёпа поверхностного слоя, а значит увеличивает сопротивление изнашиванию его при эксплуатации.

**Выводы.** В работе рассмотрены вопросы воздействия величины зерновой массы абразива и размеров зёрен на качество доводки плоских поверхностей из цветного металла латуни и бронз в крупногабаритных деталях запорной арматуры.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ящерицын П.И., Зайцев А.Г., Барботько А.И Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. Минск, Наука и техника, 2010, 328 с.
2. Доводка прецизионных деталей машин / П.Н. Орлов, А.А.Савелова, В.А.Полухин, Ю.И.Нестеров; Под ред. Г.М.Ипполитова. – М.; Машиностроение, 2015. – 256 с.,
3. Абразивно-алмазная обработка. Ипполитов Г.М. М., Машиностроение, 2011, 334 с.

*Гасанов М.І., Клочко О.О., Камчатна-Степанова К.В.,  
Костик К.О., Костик В.О., Акимов О.В.*  
Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна  
*Новіков Ф.В.*  
Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна

## **ЧЕРВ'ЯЧНИЙ НАКАТНИК ДЛЯ ОБРОБНО-ЗМЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗУБІВ**

Черв'ячний накатник, також, як і черв'ячні фрези з роздільною схемою формоутворення, має обмежене застосування за кількістю обробних зубів. Однак, конструктивно, черв'ячний накатник також може бути виконаним і для оброблення зубчастих шевронних коліс за схемою рис. 1. У даному випадку це буде універсальним інструментом, придатним для оброблення коліс із будь-якою кількістю зубів. До того ж, на відміну від зубофрезерування, для послідовної обробки правої та лівої бічних поверхонь зубів колеса достатньо одного корпусу черв'ячного накатника.

На рис. 1 показано загальний вигляд черв'ячного накатника та схема взаємодії накатного елемента інструменту з бічною поверхнею зуба обробного колеса [1, 2]. Черв'ячний накатник (рис. 1, а) складається з лівого 1 і правого 2 корпусів, що мають з гвинтові конічні виступи А і В одного напрямку. Корпуси 1 і 2 встановлені на оправці 3 з можливістю зворотно-поступального переміщення упродовж плішок 4 і 5. Накатні елементи 6, наприклад, шарикопідшипники, вісі обертання яких перпендикулярні конічній твірній гвинтових виступів А та Б, закріплені на периферійній частині виступів гвинтами 7 і захищені від можливого засмічення перекладками 8 і 9. На правці 3 установлені силові пружини 10 та 11 і натискний диск 12. Необхідна відстань між корпусами 1 і 2 забезпечується перекладкою 13. Оброблення зубчастого колеса 14 виконується на зубофрезерному верстаті зразу після операції чистового зубонарізування наступним чином. Перед обкаткою підтискають пружини 10 і 11, забезпечуючи необхідне зусилля накатування. При цьому корпуси 1 і 2 щільно притиснуті до перекладки 13. Інструмент радіально уводять у зачеплення з колесом 14 до появи контакту накатних елементів 6 із зубами колеса 14. Пружини 10 і 11 стискаються, і між перекладкою 13 і корпусами 1 і 2 з'являється проміжок, необхідний для зворотно-поступальних рухів корпусів 1 і 2 на плішках 4 та 5. У процесі накатки (див. рис 1, б) накатні елементи 6 послідовно, один за одним, контактують із бічними поверхнями зубів колеса 14 за лініями зачеплення  $BE$  і  $B_1E_1$ , забезпечуючи повноцінну роботу евольвентного профілю з кожного боку зуба.

Застосування черв'ячних накатників дозволяє за рахунок поверхнево-пластичного деформування металу знизити шорсткість бічних поверхонь зубів до  $R_a = 1,25 - 2,5$  мкм, а також підвищити поверхневу твердість зубів на 20 – 30%. Це, як відомо, позитивно впливає на експлуатаційні показники зубчастих передач [1, 2].

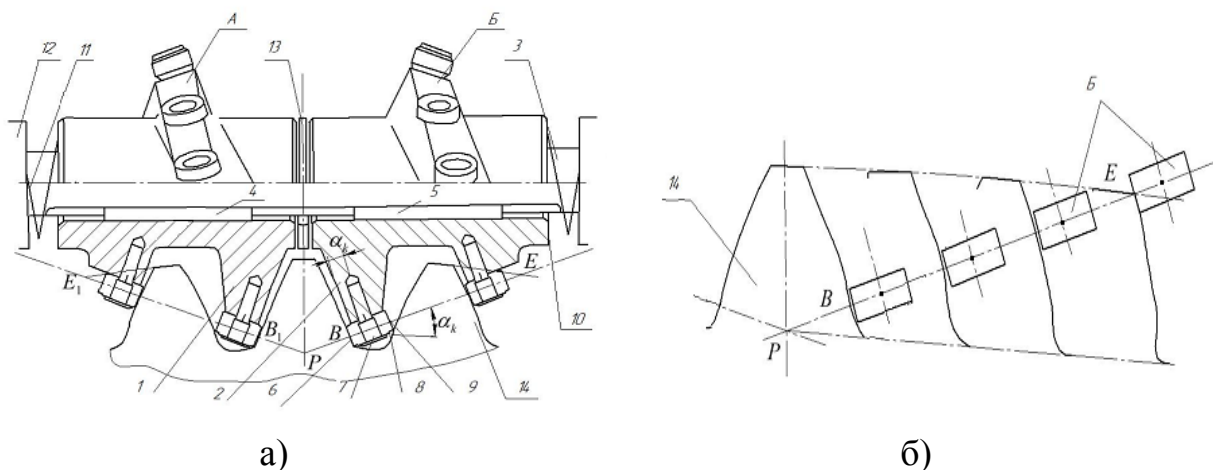


Рисунок 1 – Черв'ячний накатник для обробно-зміцнювального оброблення зубчастих коліс ППД: а - загальний вид інструменту; б - схема взаємодії накатного елемента з бічною поверхнею зуба колеса

Для підвищення працездатності зубчастих коліс накатний валець виготовлявся з інструментальних сталей різного призначення, таких як 3ХЗМЗФ, 5ХНМ, 9ХС та Р6М5, що дозволило детально вивчити будову дифузійних шарів, вплив легувальних елементів на мікротвердість, зміну габаритних розмірів, зносостійкість зміцнених деталей після азотування у порошковій суміші [16].

Перед азотуванням зразки з досліджуваних сталей, піддавали попередній термічній обробці: гартуванню з наступним високим відпуском при температурах залежно від марки сталі.

Було встановлено, що нітридна зона складається з  $\epsilon$ -фази ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ) та  $\gamma'$ -фази ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ). Дифузійний шар являє собою багатофазну зону, яка складається з нітридів, карбідів, карбонітридів заліза та легувальних елементів [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ключко А. А. Технологическое основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко, А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" - Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.: ил., табл.; - (Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю.М. Соломенцев). ISBN 978-5-906703-02-6.

2. Kamchatna-Stepanova K. Influence of waviness parameters on the operational properties of cylindrical large-modular gears /K. Kamchatna-Stepanova, A. Klochko, A. Naydenko, A. Manokhin // International journal of engineering and advanced technology studies. - London. United Kingdom, 2021. – [Vol. 9, Issue 1.](#) – № 9. - P. 30 – 37.

3. Kostyk Kateryna. Ensuring the High Strength Characteristics of the Surface Layers of Steel Products / Kateryna Kostyk, Viktoriia Kostyk, Oleg Akimov, Kateryna Kamchatna - Stepanova, Yurii Shyrokyi // Lecture Notes in Mechanical Engineering – Germany: Springer Verlag, 2021. – С. 211 – 216.

## **ПРО ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПІД ВПЛИВОМ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Відомо, що в регіонах природних катаклізмів (наприклад, у регіонах підготовки сильних землетрусів, вивержень вулканів та ін.), де виявлено літосферно-атмосферно-іоносферні взаємодії, короткочасно змінюються параметри середовища перебування (зокрема, спостерігаються випадки порушення фізіологічного стану живих організмів, у тому числі людей). У порівнянні з такими джерелами умови в межах крупних промислових об'єктів (наприклад, в мегаполісах) відрізняються тривалістю дії факторів атмосферно-іоносферної взаємодії.

Екологічні ефекти в мегаполісі пов'язані з [1]: 1) масовими викидами в приземну атмосферу продуктів горіння, включаючи вихлопні гази наземного транспорту (диму, сажі, важких металів); 2) змінами приземного атмосферного електричного поля; 3) генерацією і посиленням електромагнітних і акустичних хвильових процесів; 4) забрудненням середовища перебування в мегаполісі газопиловими компонентами.

Розглянемо коротко вплив джерела електромагнітного випромінювання на прикладі високовольтних ліній електропередач (ЛЕП).

Потужність електричного струму  $P_e$ , що передається ЛЕП, становить біля 1 МВт – 1 ГВт, сумарна довжина таких ліній  $L_e \sim 10^2$  км.

Для ліній електропередачі наземного електротранспорту й міської освітлювальної мережі  $P_e$  й  $L_e$  будуть відповідно  $\sim 1$  МВт, 1 – 10 МВт і  $\sim 10^2 - 10^3$  км і  $10^3 - 10^4$  км. Для останніх, як було зазначено в [1], характерна відносно велика щільність (густота) розподілу в межах мегаполіса. Такі системи здатні випромінювати електромагнітну енергію на частотах 50 або 60 Гц і їхніх гармоніках. Оскільки частка електроенергії, яка втрачається в ЛЕП, становить (з огляду на втрати на нагрівання проводів і випромінювання), як правило, не менш 10 %, то сумарна енергія, виділювана цим джерелом у мегаполісі, буде істотною. Частка потужності, що випромінюється в навколишній простір, не відома, однак можна думати, що вона не дуже мала (точніше можна сказати, що досить велика, оскільки ще з 70-х років ХХ сторіччя багаторазово спостерігаються різні ефекти, пов'язані зі зміною напруги в ЛЕП).

Наприклад, на основі статистичного аналізу варіацій геомагнітного поля за сто років виявили їхнє посилення по суботах і неділях (визначено також значимі варіації в параметрах іоносферної плазми). Цей ефект з'явився на межі ХІХ – ХХ ст. і, очевидно, пов'язаний з випромінюванням потужних ЛЕП. Цей комплекс іоносферно-магнітосферних ефектів одержав назву «ефекти вихідних днів».

Лінія електропередач є джерелом електричного і магнітного полів. Для розрахунку електромагнітного поля, створюваного ЛЕП, вони можуть розглядатися як багатопровідні напрямні системи з відстанню між проводами, істотно меншою відстані до точки спостереження.

Розподіл амплітуди струму у всьому ланцюзі в кожен момент часу можна вважати рівномірним, оскільки за умови частоти електричного струму  $f = 50$  Гц виконується умова квазістаціонарності, тобто довжина хвилі значно більше загальної довжини провідників, що розглядаються.

Електричне і магнітне поля в умовах такого завдання можна розглядати як незалежні одна від одної функції і вважати, що електромагнітні хвилі не випромінюються.

Під час обчислення електричного поля ділянку протяжної ЛЕП можна подати системою розподілених уздовж відрізка прямої паралельних заряджених ниток, що несуть певний еквівалентний заряд, який визначається з погонних параметрів і класу напруги лінії.

Під час обчислення магнітного поля лінію можна розглядати системою паралельних лінійних струмів. Можна вважати, що навантаження лінії рівномірно розподілене між фазами, і струм у нульовому проводі відсутній.

З урахуванням названих припущень та обмежень знаходження електричного поля зводиться до вирішення двовимірної квазістатичної задачі. Вплив підстильної поверхні враховується введенням дзеркального зображення провідників.

Еквівалентні електричні заряди, відповідні провідникам лінії, визначаються:  $q_1 = C_1 U_{\Phi} l$ ;  $q_2 = C_2 U_{\Phi} l e^{j\Delta}$ ;  $q_3 = C_3 U_{\Phi} l e^{j2\Delta}$ , де  $U_{\Phi}$  – клас напруги ЛЕП;  $\Delta = 120^\circ$  – фазовий зсув;  $j$  – уявна одиниця;  $C_i$  – погонна ємність електричної системи «провід-земля»;  $l$  – довжина аналізованої прямолінійної ділянки ЛЕП.

Електричне поле визначається геометричним підсумуванням полів, створених кожним із провідників окремо: 
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^M (\vec{E}_i + \vec{E}'_i).$$

Вираз, що знаходиться під знаком суми визначає часткове електричне поле, що створюється  $i$ -ю системою «провід-дзеркальне зображення»;  $M$  – число проводів, що відповідає типу опори ЛЕП.

В роботі отримано вирази для первинного і вторинного полів (поле дзеркального зображення)  $i$ -го проводу над поверхнею Землі. Геометричне підсумування у виразі для  $\vec{E}$  здійснюється, виходячи з особливостей конфігурації проводів для заданого типу опори ЛЕП.

Результуюче магнітне поле ЛЕП знаходиться геометричним підсумуванням часткових полів аналогічно: 
$$\vec{H} = \sum_{i=1}^M (\vec{H}_i + \vec{H}'_i).$$
 Струм в  $i$ -му проводі, під

час підстановки в вираз для  $\vec{H}$ , знаходиться таким чином (у припущенні про те, що ЛЕП навантажена збалансовано і струм у нульовому проводі дорівнює нулю; амплітуда струму  $I$  визначається за сезонним графіком завантаження ЛЕП): 
$$I_i = I \cdot e^{j(i-1)\Delta}.$$

Розрахунки розподілу електричного і магнітного полів виконували для типових ЛЕП-110 і 300 кВ для сезонного графіка завантаження.

Під час розрахунків передбачали, що ЛЕП розташована на типовий опорі У-35-1.

Розрахунки показали, що рівні поля під лінією істотно залежать від висоти підвісу, відстані між проводами, напруги в лінії, наявності рослинного покриву, рельєфу місцевості під лінією. Лінії постійного рівня витягнуті уздовж високовольтної лінії, замикаючись на ній і на поверхні Землі. На форму силових ліній електричного поля впливають особливості рельєфу місцевості. Максимальні рівні відповідають точкам проекції найбільшого провисання, а в поперечному перерізі поле має максимуми під проводами.

У разі видалення від проводів напруженість поля різко падає. Наприклад, на відстанях 1, 5 і 10 м від осі ЛЕП значення напруженості електричного поля становлять відповідно 1 250, 1 090, 750 для ЛЕП-110 і 1 750 В/м, 1 250 В/м, 850 В/м для ЛЕП-300.

Наведені значення електричного поля поблизу ЛЕП досить високі.

Розподіл магнітного поля на різному видаленні під час різних режимів роботи ЛЕП також сильно змінюється і складає  $\sim 0,1 - 0,75$  А/м на відстанях 10 – 1 м від осі ЛЕП.

Наведені оцінки показують, що ЛЕП в межах крупного промислового об'єкта сильно модифікують електромагнітний фон і викликають помітні зміни атмосферної електрики.

Це, в свою чергу, призводить до додаткового електромагнітного забруднення довкілля та значним чином впливає на роботу систем радіозв'язку, радіонавігації та комп'ютеризованих систем. Тому можна свідчити про те, що розглянуте джерело ймовірно може приводити до змін напруженості  $E_z$  поля на іоносферних висотах. У цьому випадку напруженість електричного поля на іоносферних висотах, як уже зазначалося в [1, 2], може мати помітне значення (0,3 – 0,7 В/м).

Слід зауважити, що випромінювання ЛЕП стимулює підвищення активності дуже низькочастотних хорів (ДНХ) над промислово розвиненими регіонами, посилення рівня радіошумів у діапазоні частот 0,6 – 6 МГц [3].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гоков А. М. Отклик среднеширотной D-области ионосферы на природные явления: монография. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 300 с. ISBN: 978-3-659-62182-6.

2. Гоков О. М. Збурення в низькотемпературній плазмі середньоширотної нижньої іоносфери, обумовлені природними джерелами: монографія. Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. 176 с.

3. Гульельми А. В., Довбня Б. В., Клайн Б. И. Возбуждение низкочастотных электромагнитных возмущений ионосферы. *Геомагнетизм и аэронавигация*. 1978. Т. 18, № 1. С. 179–181.

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФРЕЗЕРОВАНИЯ И ПРОТЯГИВАНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Среди широкого разнообразия технологических операций затерялись некогда весьма актуальные, но достаточно экзотичные операции фрезерования и протягивания тел вращения. Как указывал проф. Б. С. Балакшин, [1] эти операции для массового производства. По классификации процессов механической обработки проф. Л. Н. Кошкина [2] они относятся к первому и второму классам (механический контакт инструмент-деталь: точка и линия). В настоящее время пропагандистом применения этих операций выступает всемирно известная инструментальная фирма Sandvik-Coromant [3]. Изучая кинематику резания, профессор Г. И. Грановский относил операции фрезерования к четвертой группе сложности, а операции протягивания ко второй [4].

Не дискулируя по поводу прогрессивности и актуальности применения этих операций на практике современного производства, рассмотрим энергосодержание упомянутых процессов.

Работа технологической операции

$$A = FL,$$

где  $F$  – сила резания при фрезеровании, определяется удельной силой резания  $\sigma$ ;  $L$  – длина пути резания.

Удельной силой резания  $\sigma$  при фрезеровании называется отношение окружной силы к сечению срезаемого слоя.

Вследствие переменного значения толщины срезаемого слоя удельная сила при фрезеровании переменна по длине дуги резания и зависит от качества обрабатываемого материала, от текущего значения толщины срезаемого слоя  $a_x$ , а также от величины угла наклона винтового зуба  $\omega$ :

$$\sigma = C_\omega \cdot C_1 \cdot a_x^k, \quad (1)$$

где  $C_\omega$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона винтового зуба;  $C_1$  – коэффициент, зависящий от качества обрабатываемого материала и величины переднего угла зуба фрезы;  $a_x$  – текущая величина толщины слоя, срезаемого зубом фрезы в его произвольном положении;  $k$  – показатель степени – величина отрицательная и меньше единицы ( $k < 1$ ), зависит от качества обрабатываемого материала, износа зуба фрезы и применяемой смазочно-охлаждающей жидкости.

В случае резания фрезами с прямыми зубьями окружная сила определяется согласно следующей зависимости:

$$F = \sigma \cdot q_x,$$

где  $q_x = a_x B$  – текущее значение сечения слоя, снимаемого зубом в его произвольном положении;



$$a_x = S_z \sin \varphi_x.$$

Тогда

$$F = C_\omega C_1 s_z^{k+1} \sin \varphi_x B.$$

Ввиду переменного значения толщины срезаемого слоя по лезвию винтового зуба, окружная сила  $F$  может быть определена соответствующим интегрированием. Выделим на лезвии зуба бесконечно малый участок  $dx$  (рис. 1 – рис. 3). Сила на этом участке будет  $dF = \sigma a_x dx$ . Но

$$dx = \frac{D}{2} d\varphi \cdot \operatorname{ctg} \omega;$$

тогда

$$dF = \frac{D}{2} \cdot \sigma a_x \operatorname{ctg} \omega d\varphi = \frac{D}{2} C_\omega C_1 s_z^{k+1} d\varphi \cdot \operatorname{ctg} \omega.$$

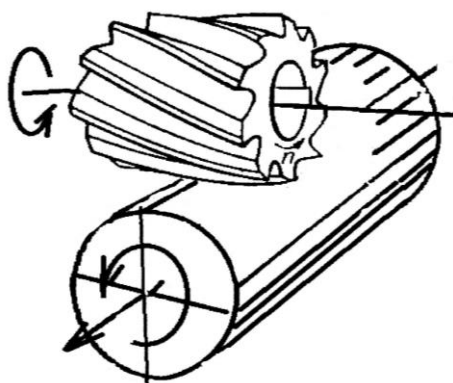


Рисунок 1 – Точечный контакт инструмент-заготовка

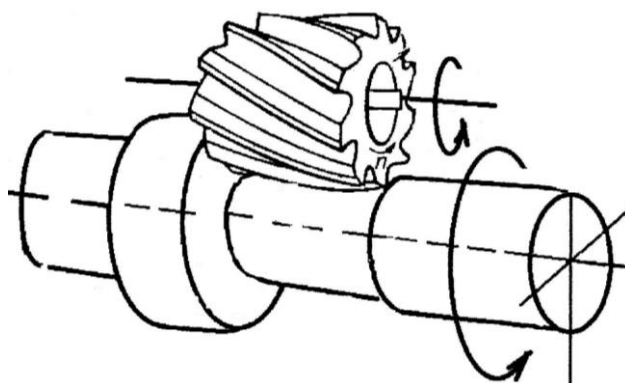


Рисунок 2 – Линейный контакт инструмент-заготовка

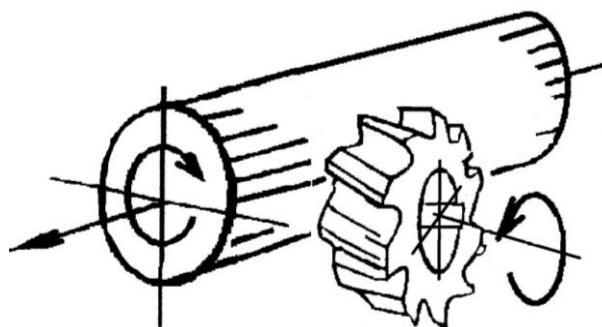


Рисунок 3 – Точечный контакт инструмент-заготовка

Для получения полной силы на зубе фрезы необходимо вести интегрирование в пределах углов контакта рабочей поверхности лезвия:

$$F = \frac{D}{2} C_{\omega} ctg \omega \cdot s^{k+1} \int_{\varphi_{x_1}}^{\varphi_{x_2}} \sin^{k+1} \varphi_x d\varphi_x.$$

После соответствующих преобразований получаем в общем виде

$$F = C_{\omega} C_1 \frac{Bz}{\pi} s_z^{k+1} \left( \frac{t}{D} \right)^{\frac{2+k}{2}}.$$

Таким образом, при равномерном фрезеровании цилиндрической фрезой окружная сила постоянна, если не учитывать колебания силы резания от биения зубьев фрезы и их шага.

Зная длину пути резания, пройденного фрезой вдоль образующей детали ( $L = \pi \cdot D n_{\partial}$ ), и силу резания  $F$ , получаем работу фрезерования по схеме, приведенной на рис. 1:

$$A = \pi D n_{\partial} \cdot C_{\omega} C_1 \frac{Bz}{\pi} s_z^{k+1} \left( \frac{t}{D} \right)^{\frac{2+k}{2}}$$

Работа фрезерования по схеме рис. 2 определяется формулой:

$$A = \pi D_{\partial} C_{\omega} C_1 \frac{Bz}{\pi} s_z^{k+1} \left( \frac{t}{D} \right)^{\frac{2+k}{2}}$$

Работа фрезерования по схеме, показанной на рис. 3, определяется по формуле:

$$A = \pi D n_{\partial} \cdot C_{\omega} C_1 \frac{Bz}{\pi} s_z^{k+1} \left( \frac{t}{D} \right)^{\frac{2+k}{2}}$$

Процесс протягивания наружных поверхностей тел вращения проходит аналогично строганию – фрезерованию. Деталь вращается, протяжка движется по касательной к обрабатываемой поверхности (рис. 4, а) или если протяжка круговая, то она вращается вокруг своей оси, при этом ее зубья срезают припуск, как обычная протяжка (рис. 4, б).

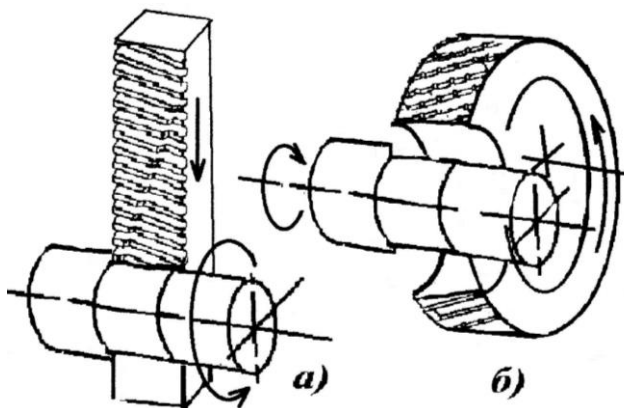


Рисунок 4 – Протягивание: линейный инструмент-заготовка

Расчет силы протягивания производится по формуле:

$$F = C_F \cdot S_Z \cdot a_F \cdot B \cdot Z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где  $C$  – коэффициент, характеризующий материал заготовки и условия обработки;

$S_Z$  – подача на зуб;

$Z$  – число одновременно работающих зубьев протяжки;

$B$  – ширина стружки;  $a_F$  – толщина стружки;

$K_1, K_2, K_3, K_4$  – соответствующие коэффициенты, характеризующие величины переднего и заднего углов износа зубьев и смазочно-охлаждающую жидкость.

Таким образом, имея силу  $F$  и длину хода протяжки, которая равна  $L = \pi \cdot D_{\text{дем}}$ , получим работу протягивания:

$$A = \pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot C_F \cdot S_Z \cdot a_F \cdot B \cdot Z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4.$$

Основное технологическое время  $t_o$  выражается в принятых единицах и равно:

$$t_o = L/S_M,$$

где  $L = \pi \cdot D_{\text{дем}}$  – для схем на рис. 2 – рис. 4;

$L = \pi \cdot D n_{\text{дем}}$  – для схемы на рис. 1;

$V = \pi \cdot D_{\text{фр}} \cdot n_{\text{фр}} / 1000$  – для схем на рис. 1 – рис. 3;

$S_M = S_Z \cdot n \cdot Z$ .

Выводы. Таким образом в данной статье приведены упрощенные зависимости, позволяющие рассчитать энергетические затраты на операциях фрезерования и протягивания, исходя из конкретных условий обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Фрезерование вместо обточка [Текст] / Б. С. Балакшин // Станки и инструмент. – 1939, №2.
2. Кошкин Л. Н. Роторные и конвейерные линии [Текст] / Л. Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 336 с.
3. Грановский Г. И. и др. Резание металлов [Текст] / Г. И. Грановский и др. – Машгиз, 1951. – 380 с.
4. Ермаков Ю. М. Комплексные способы эффективной обработки резанием [Текст] / Ю. М. Ермаков. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
5. Розенберг А. М. Динамика фрезерования [Текст] / А. М. Розенберг. – М.: «Советская наука», 1945. – 160 с.
6. Каширин А. И. Торцевое фрезерование наружных тел вращения. [Текст] / А. И. Каширин, М. Е. Юхвид // Станки и инструмент. – 1952, № 10.
7. Мархасин Э. Л. Фрезерование тел вращения [Текст] / Э. Л. Мархасин, Петрасянц. – М.: Машгиз, 1960. – 110 с.
8. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки: монография / Ф. В. Новиков. – Днепр: Лира, 2018. – 400 с.
9. Zilenski Peter- Combining a rotating tool with rotating work produces a machining operation that is distinct from standard turning or millin - «Tool&Calcula», 2007. vol. 48. S. 214-216.

## СИЛЫ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ: ПРЕДПОСЫЛКИ МИНИМАЛЬНОЙ СМАЗКИ

Не будет преувеличением считать, что разработку метода алмазно-искрового шлифования, начатую в Харьковском политехническом институте на пороге последней четверти прошлого века, мотивировали твердые сплавы, известные своей трудной обрабатываемостью, обусловленной износостойким карбидным генезисом. Первое законченное диссертационное исследование нового метода обработки и первый государственный заказ технологической разработки на его основе посвящены твердым сплавам. Вся последующая история развития метода и освоения его промышленностью в значительной степени также связана с их обработкой, в которой он наиболее эффективен. Представленное исследование посвящено шлифованию твердого сплава на основе карбида вольфрама, известного особо трудной обрабатываемостью.

В ранее выполненных авторских презентациях на конференциях в Украине [1], России [2], Венгрии [3], Сербии [4], Румынии [5] убедительно показана повышенная энергетическая отдача стружкообразования при алмазно-искровом шлифовании по сравнению с обычной алмазно-абразивной обработкой. Однако повышенный запрос развития современных технологических платформ в условиях сокращения потребления водных ресурсов, соответственно минимальной смазки [6], возбуждает научный и практический интерес к определению соответствующих и перспективных базовых технологий, пониманию физических оснований и возможностей перехода к нетрадиционным средам алмазно-абразивной обработки и алмазно-искрового шлифования как ее флагмана в формообразовании токопроводных труднообрабатываемых материалов.

В науке о резании материалов изучение усилий, необходимых для снятия стружки, как правило, связывается с выявлением и анализом проекций силы в направлении главного движения в рабочем контакте инструмента и обрабатываемой заготовки, определяющего стружкообразование ( $P_z$ ), и в направлении погружения инструмента в припуск на обработку, определяющего непродуцируемую с позиции стружкообразования энергетику натяга и преодоления трения в рассматриваемом динамическом рабочем контакте ( $P_y$ ). Очевидно, что в сопоставимых производительных возможностях наиболее привлекательными для реорганизации технологий алмазно-абразивной обработки в соответствии с концепцией минимальной смазки будут таковые с более высоким значением безразмерного коэффициента шлифования  $K_{ш}$ :

$$K_{ш} = P_z / P_y. \quad (1)$$

Под этим углом зрения вернемся здесь к ранее полученным исходным экспериментальным данным и результатам [1 – 5], проведем их дополнительное расширенное представление и анализ, с введением в них сил резания и их про-

изводительного отражения в удельной работе стружкообразования  $A_{уд}$  (Дж/мм<sup>3</sup>), затраченной на съём  $Q_m$  (мм<sup>3</sup>/с) материала в единицу времени. При обычно малом значении скорости заготовки  $V_d$  (м/мин) по отношению к скорости шлифовального круга  $V_{кр}$  (м/с), независимо от схемы шлифования (встречное, попутное), расчет  $A_{уд}$  подчиняем формуле:

$$A_{уд} = P_z \cdot V_{кр} / Q_m. \quad (2)$$

Из табл. 1 видно, что с интенсификацией (повышением производительности) процесса обработки преимущества алмазно-искрового шлифования перед обычным при обработке твердого сплава ВК6 существенно заметней. Так, с двухкратным увеличением режимной производительности за счет повышения глубины резания  $K_{ш}$  в алмазно-искровом режиме возрастает до 20 % и более, а в обычном режиме – уменьшается на 6–12 %. При алмазно-искровой обработке твердых сплавов механическая составляющая в большинстве случаев существенно меньше (за счет меньших сил резания и трения), чем удельная работа при обычной алмазной обработке.

*Таблица 1 – Физические показатели обычного (АШ) и электроэрозионного (АИШ) круглого алмазного шлифования твёрдого сплава ВК6 с заданной производительностью в условиях использования инструмента различной зернистости (Z), варьирования продольной (S) и поперечной (t) подачами*

S, м/мин	t, мм/дв. ход	Z, мкм	Показатель, АИШ/АШ			
			$P_y$ , Н	$P_z$ , Н	$K_{ш}$	$A_{уд}$ , Дж/мм <sup>3</sup>
0,5	0,02	125/100	78/118	28/40	0,36/0,34	42/60
		250/200	67/136	25/49	0,37/0,36	37,5/73,5
1,0	0,01	125/100	82/141	29/48	0,35/0,34	43,5/72
		250/200	69/142	23/47	0,33/0,33	34,5/70,5
1,0	0,02	125/100	152/225	54/72	0,36/0,32	81/108
		250/200	121/262	48/77	0,40/0,29	72/116

Конечно, в общем энергетическом балансе организации рабочего процесса при алмазно-искровом шлифовании необходимо учитывать не только механическую работу, затрачиваемую на резание, но и электроразрядную энергию. С учетом энергии электрических импульсов  $E_u$  и частоты их следования  $f_u$  удельные затраты на стружкообразование определяются из приведения (2) к расширенной форме:

$$A_{уд} = (P_z \cdot V_{кр} + E_u \cdot f_u) / Q_m. \quad (3)$$

Сравнение общих удельных энергетических затрат показывает, что они примерно соизмеримы для обычного алмазного и алмазно-искрового шлифования. Основным резервом повышения эффективности комбинированных процессов обработки с введением в зону резания дополнительной энергии электрических разрядов является совместная оптимизация электрических и механических режимов обработки.

Как следует из приведенных данных, увеличение значений коэффициента шлифования при алмазно-искровой обработке (особенно в условиях повышенных требований к производительности) можно расценивать как характеристику сравнительно более благоприятных условий работы инструмента. При этом можно говорить и о некотором резерве повышения эффективности работы круга: есть возможность приблизить коэффициент шлифования инструмента к коэффициенту абразивного резания острого зерна – за счет применения более прочных износостойких зерен и создания условий уменьшения износа и повышения их остроты. Это утверждение исходит из соображений о верхней границе коэффициента шлифования, основанных на данных о силах микрорезания твердого сплава при работе обычными алмазными зернами, когда коэффициент  $K_p$  составляет 0,6 ... 0,7.

Снижение механической напряженности массового микрорезания в зоне алмазно-искрового шлифования, обеспечиваемое поддержанной действием электрических разрядов на связку круга развитостью его рабочего рельефа, позволяет рассматривать подходы к организации этого процесса с применением методологии минимальной смазки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беззубенко, Н. К. Физические предпосылки и технологические возможности двойного скоростного шлифования с тонкими сечениями среза / Н. К. Беззубенко, Ю. Г. Гуцаленко // *Наука и социальные проблемы общества: человек, техника, технология, окружающая среда. Материалы междунар. науч.-техн. конф., Харьков, 14-16 мая 2001 г.* В восьми частях. Ч. 8. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – С. 6-8.

2. Гуцаленко, Ю. Г. Алмазное электроэрозионное шлифование высокопрочных сталей и сплавов / Ю. Г. Гуцаленко // *Актуальные вопросы промышленности и прикладных наук (ЗНТК – 2004): Сб. ст. междунар. заоч. науч.-техн. конф.* – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – С. 32-36.

3. Gutsalenko, Yu. G. Electroerosion diamond grinding. *MicroCAD 2005 Int. Sc. Conf. 10-11 March 2005, Univ. of Miskolc (Hungary)*, Sect. M: Production Engineering and Manufacturing Systems, pp. 165-168.

4. Gutsalenko, Yu. G. Stabilization of diamond grinding. *7<sup>th</sup> Int. Conf. "Research and Development in Mechanical Industry" RADMI 2007 16-20 Sept. 2007, Belgrade, Serbia*. Proc., pp. 166-171.

5. Gutsalenko Yu. G. Stable diamond grinding. *Durability and Reliability of Mechanical Systems: 3<sup>rd</sup> Symposium with Int. Particip: Targu-Jiu, May, 20-21, 2010*. Proc., pp. 222-227.

6. Gutsalenko, Yu. G., and A. V. Rudnev (2020) Diamond spark grinding in anhydrous medium using solid lubricants. In: *Prospects and priorities of research in science and technology*. In 2 vols. Ed. board: V. Petráček, Ye. I. Trushliakov and V. S. Blintsov. Baltija Publishing, Riga, Latvia (EU), Baltija Publishing, Riga, Latvia (EU), Vol. 1, pp. 44-59.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПЛАЗМЕНО-МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ**

Науково-технічний прогрес обумовлює необхідність використання нових матеріалів з особливими властивостями. Ці матеріали зазвичай мають підвищені міцнісні характеристики, високу жароміцність і корозійну стійкість. Крім того, вони мають підвищену в'язкість, що утруднює їх механічну обробку. Такі сталі і сплави у більшості випадків отримують вакуумно-дуговим і електрошлаковим переплавом. При цьому з готового металу, в результаті переплавлення видаляються шкідливі домішки, структура металу до центру нового злитка покращується, а на поверхні його утворюється ливарна кірка (корона), що містить близько 70 % шкідливих домішок і має велику твердість ( $HV 10^{-1} = 250 - 310$  МПа).

Механічна обробка таких злитків є вельми трумісткою і малоефективною з - за надзвичайно низької стійкості ріжучого інструменту. Відомо, що обробляти різанням нагрітий метал легше. Існують різні способи попереднього підігріву металу (індукційний, інфрачервоний, газополуменевими пальниками і т. п.). Досвід використання різних способів підігріву показав, що одним з перспективних способів, який має широкі можливості, є нагрів стиснутою дугою. Одним з найбільш продуктивних процесів термічного різання є плазмове різання стислою дугою. Завдяки високій температурі стислої дуги ( $15000 - 20000$  °С) плазмове різання забезпечує отримання якісної продукції з усіх матеріалів, які використовуються у сучасній промисловості. Енергетичні, теплові і газодинамічні параметри стиснутої дуги (низькотемпературної плазми) порівняно легко регулюється в широких межах.

На відміну від газокисневого різання, при якому полум'я видаляє мало теплоти і має відносно низьку температуру, для врзання в метал потрібно затратити якийсь час на місцеве підігрівання металу до температури його плавлення. Стисла дуга внаслідок високої температури і швидкості потоку плазми врзається в метал майже миттєво. Однак поряд з перевагами цьому способу притаманні і недоліки: обмежена швидкість різання, низька стійкість катоду, обмежена товщина металу, що зрізають. Слід зазначити, що граничну товщину металу визначити точно практично неможливо, так як вона залежить від технології і вимог до якості. Крім того при плазмовому різанні поверхня різку зазнає у ливарній дільниці структурні перетворювання, змінювання твердості, утворювання дефектів форми кромки. Чисту поверхню різку можливо отримати тільки механічною обробкою.

Тому раціональним є механічна обробка з плазмовим підігрівом (ПМО). Поліпшення обробки забезпечується в основному за рахунок розміщення поверхні перед різцем стислою дугою, що генерується плазмотроном. Для матеріа-

лів, що важко оброблюються, розміщення починається з температури 700 °С. При температурі підігріву 800 – 850 °С межа міцності знижується майже в два рази. Завдяки цьому вдається підвищити продуктивність чорнової обробки точінням жароміцних сплавів за рахунок збільшення перерізу матеріалу, який зрізують. Розміщення здійснюється в результаті теплового впливу стислої дуги на поверхню різання. Крім того, розміщенню сприяє тиск стислої дуги шляхом утворення канавки на поверхні різання. Поява канавок в свою чергу сприяє інтенсифікації введення теплової енергії у деталь, що оброблюють, за рахунок поглиблення дуги. Комплексний вплив дозволяє збільшити нагрів металу, знизити його міцність і збільшити продуктивність обробки. ПМО деталей з циліндричною поверхнею здійснюється різцями на токарних верстатах різних модифікацій. На станині верстата (або автономно) монтується маніпулятор плазмотрону. З його допомогою плазмотрон можна встановлювати на будь-якій відстані від різця і деталі і під любым кутом як до напрямку обертання деталі, так і до напрямку подачі різця. Струмopідвод здійснюється за допомогою щіток, крізь яку один з полюсів джерела живлення стислої дуги підключається до виробу, який оброблюють. Інший полюс джерела підключається безпосередньо до електроду плазмотрону. Для захисту від світлового та ультрафіолетового випромінювання стислої дуги установка забезпечується пристроєм, який закріплено на задньому супорті верстата.

Розташування плазмотрону щодо деталі, яку оброблюють, і режими різання істотно впливають на продуктивність процесу і стійкість інструменту. Режим обробки встановлюється поступово: спочатку вмикається механізм обертання деталі і здійснюється нагрів по поверхні різання теплотою стислої дуги (за 3 – 4 обороти на малій швидкості обертання). Потім вмикається подача різця (декілька нижче робочої), поступово збільшується частота обертання і встановлюється остаточна робоча подача різця.

В результаті цих маніпуляцій стисла дуга через анодну пляму нагріву  $d$  передає теплову енергію заготівлі. За рахунок теплопроводності металу тепла енергія передається шарам металу, що лежать нижче, і він прогрівається на певну глибину. При цьому поверхня заготівки нагрівається до температурні плавлення. Задана глибина прогріву досягається оптимальною температурою підігріву. Через визначений проміжок часу, після прогріву достатнього об'єму зрізаємого металу, різець починає знімати стружку до заданих розмірів.

Як ріжучий інструмент використовуються різці збірної конструкції: різець - вкладиш і оправлення. Оправлення закріплюється в різцеутримувачі верстата, а різець - вкладиш - в оправці на клині типу «ластівчин хвіст». Залежно від марки матеріалу, який оброблюють, використовуються різці - вкладиші з пластинами твердого сплаву типу ВК-8 або Т5КЮ. Зменшення зусилля різання і збільшення глибини зрізу при ПМО досягається зниженням межі плинності і створенням нерівномірних термічних напружень металу при нагріванні (перевага того чи іншого чинника залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу). У зв'язку з цим необхідно так розігрівати метал (в місці різі), щоб охопити напругою всю його площу.

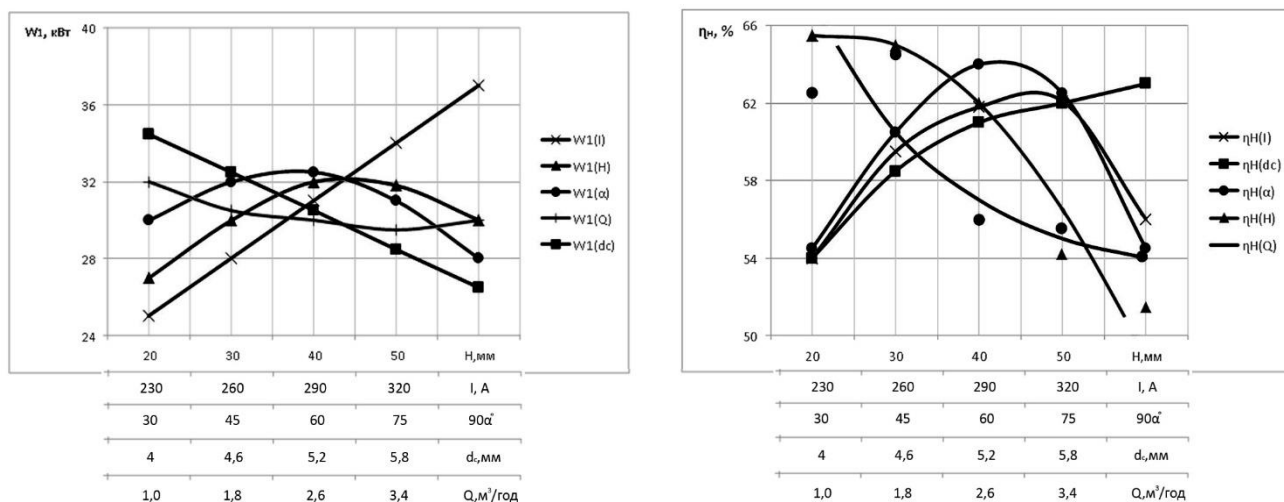


Можливість сучасного плазмового обладнання (частіше всього використовуються плазмотрони, які використовуються для розділового різання) часто не дозволяють більш рівномірно розподілити дугу по поверхні нагріву, так як розмір анодної плями обмежується 4-6 мм. Утворюються канавки глибиною 1,2 – 1,5 мм, що призводить до перегріву металу заготовки та утворення двох стружок, що вимагає збільшення швидкості різання при деякому зниженні глибини різання і в кінцевому рахунку зменшує продуктивність ПМО.

У зв'язку з вищесказаним виникає проблема створення плазмотрону, що забезпечує отримання діаметра анодної плями, рівного 15 – 20 мм. Досвід промислового використання процесу ПМО і дослідження механізму явищ, що відбуваються в матеріалі при сумісному і узгодженому впливі на нього потоку плазми і різця, дозволив сформулювати вимоги до спеціального обладнання для ПМО. Ці вимоги залежать як від параметрів плазмотрону, так і режимів механічної обробки. Параметрами режиму ПМО є: потужність стислої дуги, що генерується плазмотроном; відстань від торця сопла до поверхні нагрівання; кут нахилу плазмотрона відносно поверхні заготовки; відстань від осі дуги (плазмотрона) до ріжучого інструмента; раціональна температура різання; оптимальна температура підігріву; швидкість різання; час підігріву; величина подачі ріжучого інструмента у напрямку шару, який зрізують, та ін. Тепловий і механічний вплив стислої дуги виражається в нагріванні, розплавленні і видаленні частини розплавленого металу потоком плазми. В результаті на поверхні різання утворюється виплавлена канавка. Інтенсивність вказаних процесів обумовлюється потужністю стислої дуги, яка пов'язана з повної потужністю джерела живлення відношенням  $\eta_n IU$ , де  $\eta_n$  – ефективний ККД нагріву,  $I$  – струм дуги,  $U$  – напруга дуги. Ефективна теплова потужність при ПМО витрачається на нагрів повітря, що видаляється стислою дугою металу канавки і безпосередньо на розігрів виробу перед різцем. Тому об'єм розплавленого металу, профіль канавки, її перетин визначаються розподілом ефективної теплової потужності стислої дуги, яка в свою чергу залежить від сили струму  $I$ , витрат плазмоутворюючого повітря  $Q_{пл}$ , діаметра каналу сопла плазмотрона  $d_c$ , відстані між торцем сопла і поверхнею деталі(анода)  $H$ , кута між віссю каналу сопла і поверхнею анода  $\alpha$ , швидкості переміщення стислої дуги та інших параметрів. Деякі залежності ефективної теплової потужності  $W_1$  та ефективного ККД стислої дуги, які генеруються плазмотроном ПВР-402, представлені на рис. 1.

З графіків залежності  $W_1$  і  $\eta_n$  від струму слідує, що тепловкладення в деталь безперервно ростуть, а ефективний ККД має максимальне значення при струмі 320 А. Це обумовлене тим, що більша частина теплової енергії дуги не поступає в нагрітий метал, а йде на утворення канавки. Максимальний струм повинен обмежуватися 400 А з метою забезпечення нормальної роботи гафнієвих електродів. Напруга холостого ходу джерела живлення стислої дуги має бути 120 В для забезпечення стабільного збудження дуги при відстані від торця сопла до поверхні, що нагрівається, 50 – 60 мм. Чергова дуга повинна горіти постійно, щоб виключити можливість відриву дуги під час процесу різання. Необхідно забезпечити високу швидкість наростання струму основної дуги до

номінальної. Максимальне введення теплової енергії відмічається при  $\alpha = 60^\circ$ . Це дозволяє зробити висновок, що визначальну роль у передачі теплової енергії грає характер взаємодії потоку плазми з поверхнею анода. Так при кутах, близьких до  $90^\circ$ , більша частина потоку плазми відбивається від поверхні, не встигнувши віддати свою теплову енергію. Крім того, в цьому випадку площа поверхні, що сприймає тепло, має мінімальні розміри. При кутах, близьких до  $60^\circ$ , теплообмін збільшується за рахунок збільшення розмірів площі теплообміну. При кутах, близьких до  $30^\circ$ , частина потоку плазми взагалі не стикається з поверхнею теплообміну і тому  $W_1$  та  $\eta_H$  мають мінімальні значення.



$H$  – відстань між зрізом сопла плазмоторону і поверхнею анода,  $I$  – струм,  $\alpha$  – кут між віссю каналу сопла і поверхнею анода,  $d_c$  – діаметр каналу сопла плазмоторона,  $Q$  – витрати плазмоутворюючого газу

Рисунок 1 – Залежність ефективних теплової потужності і ККД від параметрів роботи плазмоторону

Зростання  $\eta_H$  при застосуванні великих діаметрів каналу сопла вказує на збільшення ефективності використання теплової енергії дуги в результаті більш рівномірного розподілу її по поверхні теплообміну. З ростом витрат плазмоутворюючого газу зменшується  $W_1$  та  $\eta_H$ . Це, мабуть, пояснюється зниженням температури стислої дуги внаслідок її охолодження великою кількістю газу. Ефективний ККД стислої дуги знижується зі збільшенням відстані від торця сопла до анода за рахунок втрат теплової енергії на випромінювання і конвекцію.

Оптимальним можна рекомендувати наступний режим підігріву: струм 250 – 350 А, витрата плазмоутворюючого повітря 1,0 – 2,5 м<sup>3</sup>/год., відстань від торця сопла до поверхні 35 – 50 мм, кут нахилу плазмоторона близько  $60^\circ$ , діаметр каналу сопла плазмоторона 4 – 5,8 мм.

Одним з найважливіших параметрів ПМО є температура початку різання (температура на глибині металу, що підлягає видаленню). Досягнення цієї температури залежить від прогріваемого металу, тривалості дії джерела нагрівання і його потужності, швидкості обертання заготовки і її діаметра, відстані від торця сопла до заготовки і відстані між плазмотороном і різцем. Наприклад, при ві-

дстані між плазмотроном і різцем 200 мм, відстані від торця сопла до заготовки 50 мм, діаметрі заготовки 300 – 600 мм, потужності дуги 20 – 40 кВт, швидкості обертання заготовки 4 – 15 м/хв для прогріву металу на глибину 0,4 – 3 мм до температури початку різання 500 – 1000 °С потрібен час від 5 до 20 хв. Широкий діапазон змінювання часу підігріву пояснюється тим, що при різних режимах підігріву зростання температури до 500 – 700 °С досягається протягом 5 – 6 хв. Надалі зростання температури сповільнюється. Нагрівання при плазмово-механічній обробці характеризується тим, що поверхневі шари металу, які нагріваються, знаходяться безпосередньо під дією стислої дуги досить короткий час. Потім починається різке охолодження поверхневих шарів, що приводить до змінювання їх структури і механічних властивостей. Стійкість різця збільшується при збільшенні струму стислої дуги і зменшенні швидкості різання, подачі різця і глибини різання.

**Висновки.**

Результати проведених досліджень підтвердили доцільність і ефективність суміщення плазмового підігріву з механічною обробкою різанням спеціальних сталей і сплавів. Встановлені параметри розташування плазмотрону, оптимальні режими плазмового нагріву і механічної обробки металу, які забезпечують високу якість різа при збільшенні у 8 – 10 разів швидкості різання і у 5 – 15 разів кількості металу, який зрізують.

*Дерев'янченко О.Г., Євтіфеев С.Л., Римяк В.І.*  
Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

## **ЕЛЕМЕНТИ ПІДХОДУ ДО ВИКОНАННЯ ФРАКТОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ ЗЛАМІВ ЗА ЇХ ЦИФРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ**

Серед множини методів, що використовуються у сучасному матеріалознавстві, важливе місце належить методам металографічного та фактографічного аналізу [1 – 3]. Фрактографічний аналіз забезпечує можливість діагностування причин руйнування деталей [3], зокрема – шляхом дослідження поверхонь зламів різноманітного типу.

На кафедрі МТМ ОНПУ в рамках учбового процесу використовується стенд, що забезпечує можливість реєстрації цифрових зображень поверхонь зламів деталей для подальшого їх аналізу. Його основою є комп'ютерний мікроскоп, створений шляхом модернізації мікроскопу МІМ–7, загальну структуру якого показано на рис. 1.

На рис. 1 виділено такі основні елементи:

1) зразок пошкодженої деталі внаслідок зламу, що встановлений на предметному столику металографічного мікроскопу модернізованого мікроскопу МІМ–7;

- 2) предметний столик мікроскопу;
- 3) цифрова камера (замість окуляру);
- 4) монітор з зображенням ділянки зламу;
- 5) шкала об'єкт – мікрометру, що використовується для калібрування оптичної системи мікроскопу.



*Рисунок 1 – Комп'ютерний мікроскоп, налагоджений для проведення фактографічних досліджень*

Для обробки та аналізу цифрових зображень використовується спеціальне програмне забезпечення [4], яке створено з використанням матеріалів роботи [5].

Ряд результатів кількісного фактографічного аналізу приведено в роботах [6, 7].

Значний інтерес представляють дослідження експериментальних матеріалів (у першу чергу, фотографій), приведених у значній кількості публікацій, присвячених питанням матеріалознавства (довідниках, атласах та монографіях). Вони скануються, проходять необхідну обробку для покращення якості та вводяться у відповідний програмний комплекс з подальшою обробкою, виділенням контурів інформативних зон та визначенням комплексу їх геометричних параметрів.

Отже, основою кількісного фактографічного аналізу є цифрові зображення, які отримано:

- з використанням оптичних та електронних цифрових мікроскопів;
- з використанням відповідних зображень в атласах та підручниках шляхом їх сканування.

Принципова схема отримання цифрових зображень зламів деталей для їх подальшого аналізу приведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Принципова схема отримання цифрових зображень зламів деталей для їх подальшого аналізу

Функціональна схема виконання фрактографічного аналізу зламів за їх цифровими фотографіями (з прикладом виконання кількісного фрактографічного аналізу) приведена на рис. 3.

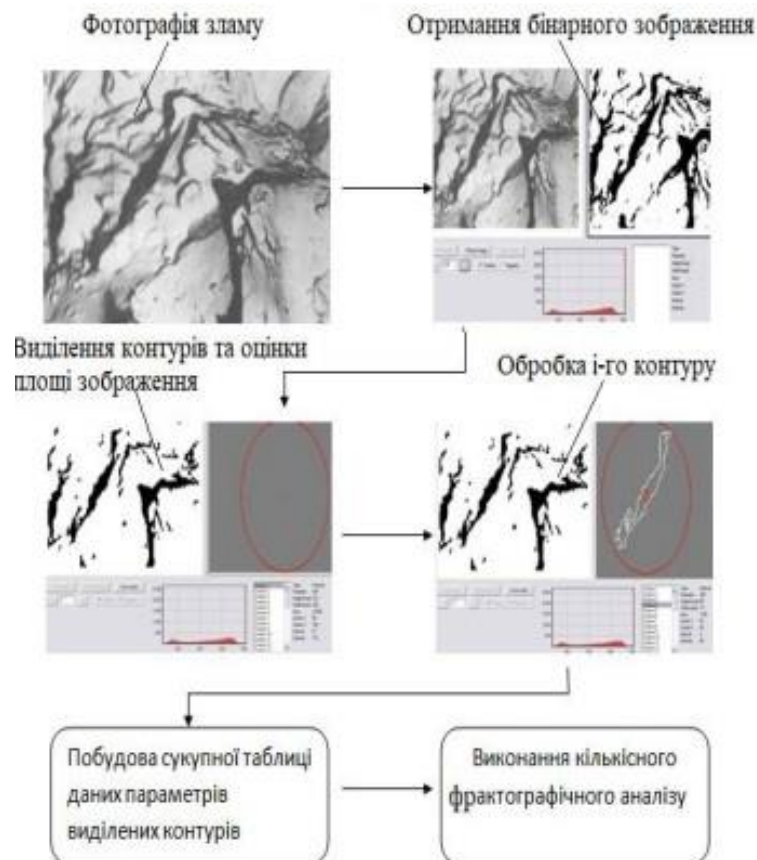


Рисунок 3 – Функціональна схема виконання фрактографічного аналізу зламів за їх цифровими фотографіями

Цифрове зображення зламу вводиться до спеціального програмного комплексу, де першим етапом його обробки є його перетворення у бінарне. Після цього виконуються наступні етапи обробки – виділення множини контурів складових елементів зображення зони зламу, отримання множини їх параметрів, багаторівневе розпізнавання типів дефектів та мікродефектів. У подальших дослідженнях планується створення бази даних зламів різноманітного типу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю. М. *Металловедение и термическая обработка металлов.* – М.: Металлургия, 1977. – 407 с.
2. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей / М. А. Балтер, А. П. Любченко, С. И. Аксенова и др.; Под общ. ред. М. А. Балтер. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
3. Дефекты стали. Справочник (под ред. С. М. Новокщеновой) – М.: Металлургия, 1984 – 199 с.
4. Деревянченко А. Г. Некоторые результаты испытаний модуля программного комплекса для обработки изображений микроструктур материалов / А. Г. Деревянченко // Новые и нетрадиционные технологии в энерго- и ресурсосбережении : Материалы междунар. научн.-техн. конф., Одесса, 26–29 сентября 2018. – Одесса: ОНПУ, 2018. – С. 44–47.
5. Форсайт П. Компьютерное зрение. Современный подход / П. Форсайт. – М.: Издательский дом Вильямс, 2004. – 928 с.
6. Римяк В. І. Дослідження методу кількісної комп'ютерної фрактографії. Кваліфікаційна робота магістра. – Одеса, ОНПУ, 2012. Науковий керівник проф. Дерев'янченко О. Г.
7. Дерев'янченко О. Г. Початкові елементи підходу до дослідження зон утворення тріщин з використанням методу комп'ютерної фрактографії / О. Г. Дерев'янченко, С. Л. Євтифєєв, В. І. Римяк // Новые и нетрадиционные технологии в энерго- и ресурсосбережении: материалы междунар. научн.-техн. конф., Одесса: ОНПУ, 2020. – С. 56–59.

*Дитиненко С.А.*

Харьковский национальный экономический университет  
им. Семена Кузнеця, Харьков, Украина

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРОЦЕССОВ В СТЕКОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Производство стекла и изделий стекольной промышленности в последние годы получило довольно широкое распространение в связи с растущим спросом со стороны населения.

Производственная фирма «ШаКриЗ» (г. Харьков) основана в августе 1992 г. Основное направление деятельности фирмы – выпуск различных ареометров для бытовых и производственных нужд, а также изготовление контрольно-измерительных приборов и аппаратуры (КИП и А) для предприятий тепловых сетей. В число продукции производственной фирмы входят также водяные затворы, мановакуумметры, аромаингаляторы, ареометры для соли, ареометры для электролита, спиртомеры бытовые, ареометры для бензина, виномеры-сахаромеры, молокомеры бытовые и спиртомеры рюмочные. Основная база – стеклодувное производство.

Продукция производственного предприятия – водяной затвор или водяной замок, гидрозатвор, гидрозамок. Водяной затвор применяется при изготовлении плодово-ягодных вин в домашних условиях. Он предназначен для предотвращения проникновения воздуха в емкость, в которой происходит спиртовое брожение, а также для отвода избыточного давления углекислого газа из этой емкости.

Мановакуумметр двухтрубный типа МВ- 2Ш (пяти типоразмеров) предназначен для измерения давления газа в газопроводах низкого давления. Аромаингалятор прост в конструкции и обращении, безопасен и предназначен для профилактики и лечения в домашних условиях заболеваний верхних дыхательных путей, сердечно - сосудистой, нервной, эндокринной и иммунной систем организма, гармонизации психоэмоционального состояния человека, а также для ароматизации помещений. Благодаря своей компактности, лёгкости и независимости от внешних источников энергии, аромаингаляторы можно использовать дома, в дороге, на работе и в путешествии.

Ареометр для соли предназначен для определения концентрации поваренной соли (NaCl) в водных растворах в процентах по массе сухих веществ.

Ареометр для электролита используется при приготовлении электролита необходимой плотности для кислотных аккумуляторов. Для измерения плотности электролита в аккумуляторах необходимо дополнительно иметь приспособление для отбора электролита из аккумулятора.

Спиртомер бытовой предназначен для определения объемной концентрации спирта в водноспиртовых растворах. Диапазон измерений от 0 до 96 (% объема). Предел основной допускаемой погрешности  $\pm 2$  % об.

Ареометр для бензина (бензиномер) предназначен для определения плотности нефтепродуктов. Обозначения марок бензина, керосина и дизтоплива на шкале ареометра расположены в местах, соответствующих оптимальной плотности для каждой марки. Виномер-сахаромер предназначен для контроля процесса брожения при приготовлении вина и браги. Двойной диапазон измерений. От 0 до 25 % сахара. От 0 до 12 (18) % об.

Молокомер бытовой предназначен для измерения плотности молока (обезжиренного, цельного, стерилизованного, витаминизированного, белкового, топленого, повышенной жирности), а также пахты и сыворотки.

Производственная фирма «ШаКриЗ» арендует помещение, которое соответствует всем нормам и требованиям.

К каждому рабочему месту, к горелкам, подводятся газ, кислород и воздух через соответствующие отростки на магистрали через резиновые шланги высокого давления.

В помещении оборудована вытяжная и приточная вентиляция для удаления дыма и продуктов горения. Однако отсутствие зонтов над каждым рабочим местом приводит к повышенному накоплению дыма и продуктов горения. Это требует использования более мощной вытяжной и приточной вентиляции.

Для устранения этого недостатка над каждым столом необходимо установить зонт, соединенный с каналом вытяжной вентиляции, для удаления дыма и продуктов горения. Однако, для того чтобы защитить природу и человека от загрязнений, следует воспользоваться более экологически чистым видом топлива, а именно, смесью водорода и кислорода.

Водородная горелка, как и следует из названия, работает за счет тепла, выделяемого при сжигании водорода. Газовая смесь водорода и кислорода (ННО – две молекулы водорода и одна кислорода) называется у нас гремучим газом, а у «них» – газом Брауна. Водород в совокупности с кислородом обладает самой большой температурой горения среди газов – до 2800 °С. Однако водород крайне взрывоопасен. Как, в общем-то, любой газ, поставляемый в больших баллонах под высоким давлением. Преимущество же водорода (или ННО газа) перед другими видами заключается в возможности получения его методом электролиза из обыкновенной воды! Причем для создания водородной горелки своими руками совершенно не нужно накапливать водород в какие-либо баллоны. Водородная электролизная горелка производит газ в необходимых для моментального сжигания количествах. Это значительно повышает безопасность газовой сварки или резки с применением водородной горелки на базе электролизного ННО генератора. Пользуясь такой водородной горелкой, мы полностью исключаем вероятность взрыва газа, ведь весь производимый газ тут же сгорает и не успевает накапливаться в объемах, необходимых для взрыва. Благодаря этому часто применяется водородная горелка.

Для повышения эффективности и безопасности эксплуатации, следует воспользоваться генератором водородно-кислородной смеси, согласно изобретения №2240381, С25В 1/04, 20.11.2004 г.

Поставленная задача решается тем, что в генераторе водородно-кислородной смеси, содержащем качающее устройство с приводом, например, с электромотором, расположенное в герметичном корпусе с рубашкой охлаждения, например, жидкостной, электролизер с отсекателем, например, обратный клапан, для вывода газа и подводкой питания к его электродам от источника постоянного тока, например, от аккумулятора, а также устройство подачи и распыления электролита (водного раствора электролита). Качающее устройство выполнено в виде компрессора, например, осевого. Электролизер расположен в обособленном, герметичном корпусе и патрубком для ввода электролита сообщен с компрессором. Устройство подачи и распыления электролита снабжено управляемым, например, вручную дросселем и распылителем, например, механическим, и выполнено с возможностью подачи электролита на всас компрес-



сора. При этом компрессор выполнен с возможностью создания на своем всасе разрежения в герметичном корпусе, последующего сжатия водяного пара и подачи полученного рабочего тела под давлением за компрессором в электролизер, который через отсекающий связан с потребителем водородно-кислородной смеси.

Генератор водородно-кислородной смеси, содержащий качающее устройство с приводом, выполненное в герметичном корпусе с рубашкой охлаждения, электролизер с отсекающим для вывода газа и подводкой питания к его электродам от источника постоянного тока, а также устройство подачи и распыления электролита, отличающийся тем, что качающее устройство выполнено в виде компрессора, электролизер расположен в обособленном, герметичном корпусе и патрубком для ввода электролита сообщен с компрессором, устройство подачи и распыления электролита снабжено управляемым дросселем и распылителем и выполнено с возможностью подачи электролита на всас компрессора, при этом компрессор выполнен с возможностью создания на своем всасе разрежения в герметичном корпусе, последующего сжатия водяного пара и подачи полученного рабочего тела под давлением в электролизер, который через отсекающий связан с потребителем водородно-кислородной смеси.

Предлагаемый генератор водородно-кислородной смеси в эксплуатации высокоэффективен и абсолютно безопасен. Он может найти применение для использования при выработке тепловой и электрической энергии.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. А.с. СССР №1011730, С25В 1/12, 15.04.1983 г.
2. Патент РФ №2240381, С25В 1/04, 20.11.2004 г. – прототип.
3. Иванов Н. И. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник / Н. И. Иванов, И. М. Фаина. – Издание второе переработанное и дополненное. – Москва: «Логос», 2004. – 594 с.

*Єрмоленко О.А., Єрмоленко О.О.*  
Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків Україна

### **ДИСТАНЦІЙНІ ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬ**

Сучасний етап розвитку нашої країни вимагає створення умов досягнення нової якості вищої освіти при її відповідності актуальним і майбутнім потребам студентів, суспільства і держави за допомогою удосконалення освітнього процесу в вузах.

Розвиток системи освіти, популярність і актуалізація вищої освіти пред'являють підвищені вимоги до якості підготовки дипломованих фахівців. До сучасного вищого навчального закладу ставляться вимоги впровадження передових технологій навчання, що забезпечують поряд з його фундаментальністю розвиток комунікативних, професійних і творчих компетенцій, потреб в самоосвіті на основі потенційної багатоваріантності змісту та організації освітнього процесу, що стає можливим за рахунок упровадження інноваційних технологій навчання [1, С. 127–134].

Сьогодні, в умовах пандемії, викликаній вірусом COVID-19, дистанційне навчання набуло неабиякої актуальності. По-перше, це безпечно для оточуючих, по-друге, це зручно у використанні, по-третє, це відкриває нові горизонти досягнень як студентам, так і поширює творчі та педагогічні можливості викладачів. Дистанційне навчання засноване на використанні дистанційних освітніх технологій за допомогою мережі Інтернет, будучи чимось особливим по відношенню до сучасної освіти, стає логічним продовженням сучасної освіти [1, С. 128–129; 2, С. 72–75].

У дослідження окреслено проблеми і обґрунтовано напрями розвитку дистанційних технологій навчання при підготовці фахівців з публічного управління.

Метою модернізації освітнього процесу на сьогоднішній день є розширення кола застосування інформаційних і телекомунікаційних технологій, які дозволяють досягти всебічної відкритості, гнучкості, індивідуалізації, безпечності і безперервності освіти навіть під час карантинних обмежень.

У такій системі освітній процес здійснюється на базі оновлених індивідуальних навчальних планів і скоригованих програм при вільному виборі часу, темпів та місця навчання. Принципові труднощі при впровадженні відкритої освіти найчастіше виникають в системі природничо-наукової і технічної освіти, а підготовка фахівців публічного управління має свою специфіку та особливості, котрі також вимагають занять в лабораторних умовах чи на практиці.

Сьогодні приділяється досить багато уваги підготовці та підвищенню кваліфікації публічних управлінців усіх рівнів. Згідно ст. 29 Закону України «Про державну службу» [2] державні службовці підвищують свою кваліфікацію не рідше ніж один раз на п'ять років, у тому числі навчаючись у відповідних закладах освіти. Результати навчання і підвищення кваліфікації є однією з підстав влаштування на роботу та для просування по службі. Отже, можна стверджувати, що необхідність створення дистанційного освітнього сервісу для публічних службовців є на сьогодні актуальним практично орієнтованим завданням. Це, у свою чергу, означає необхідність розробки теоретичних засад створення такого сервісу.

Відомо, що лабораторні практикуми є найдорожчим видом навчального процесу, які вимагають для своєї реалізації близько 80% всіх витрат на підготовку кадрів. Це, перш за все, програмне забезпечення, комп'ютерна техніка та організація робочого місця майбутніх публічних управлінців. Прискорюється зміна техніки і швидкісний розвиток технологій миттєво приводять до настіль-

ки ж швидкого морального зносу матеріально-технічного забезпечення навчального процесу. Недостатність лабораторного устаткування та обмеження доступу до нього не дозволяють проводити якісну підготовку кваліфікованих управлінців на сучасному рівні.

Дистанційне навчання має відбуватися з використанням сучасних інформаційних технологій, при цьому слід застосовувати в навчанні тільки ті технології, які надають найбільш якісний результат. При здійсненні дистанційного навчання застосовані інформаційні технології мають забезпечувати: інтерактивну взаємодію студентів та викладачів у процесі навчання; надання студентам можливості засвоювати матеріал самостійно; оцінювання знань і навичок студентів, котрі отримані в процесі навчання.

Але разом з тим, як правило, виникають, мінімум три проблеми:

ефективність дистанційного навчання (з огляду на територіальну віддаленість студентів та викладачів);

інформаційно-технологічна безпека студентів та інформаційна безпека навчальних закладів при дистанційному навчанні (з огляду на те, що методики навчання та навчальна інформація часто носять конфіденційний, комерційний та оригінальний характер);

якість навчально-методичних посібників.

Під якістю навчальних матеріалів має розумітися сукупність внутрішніх і зовнішніх властивостей інформації, котрі характеризують ступінь її відповідності потребам користувачів (студентів, викладачів та інших стейкхолдерів.) Основною проблемою при розробці навчально-методичних посібників необхідно вважати відбір критеріїв, яким вони мають відповідати для досягнення поставленої цілі – без участі викладача-наставника розвинути у студента певний рівень засвоєння матеріалів дисципліни до рівня, котрий визначений освітнім стандартом вищої освіти.

У зв'язку з карантинними обмеженнями та переходом на дистанційну форму навчання певну популярність у викладачів багатьох вузів набули сервіси «Zoom», «Гугл міт» і «Гугл класрум».

«Zoom» – це платформа для проведення інтернет-занять і конференцій. У всьому світі багато викладачів, студентів та працівників різних компаній використовують її для дистанційного навчання.

Безкоштовний обліковий запис дозволяє проводити відеоконференції тривалістю 40 хвилин. До лекції може підключитися будь-який слухач, який має її ідентифікатор або посилання на неї.

Наступна платформа «Гугл міт» також націлена на ефективне впровадження дистанційного навчання. Розширені можливості платформи «Міт» включають: збільшену кількість учасників в одному відеовключенні – до 250 учасників; трансляцію відеозустрічей можна здійснювати для глядачів до 100 000 всередині домену; є можливість записувати й зберігати відеозаписи зустрічей на гугл-диску, щоб пізніше демонструвати їх колегам, котрі були відсутні на зустрічі.

Платформа «Гугл міт» працює з урахуванням усіх вимог інформаційної безпеки. Зафіксовано, що щодня здійснюється біля 3 млн хвилин відеовключень і додається біля 3 млн користувачів.

Платформа – «Гугл класрум» організована спеціально для навчання. Часто цю платформу застосовують у шкільних закладах. На ній можливо: створити свій клас; здійснити організацію запису учнів на курс; поділитися з учнями новим матеріалом для занять; запропонувати навчальні завдання; здійснити оцінювання завдань учнів і простежити за їх прогресом; організувати спілкування в рамках дискусійних завдань. Платформа «Гугл класрум» є комплексним застосунком, котрий забезпечує всю потрібну функціональність для впровадження дистанційного навчання.

Отже, хмарні сервіси «Zoom», «Гугл міт» і «Гугл класрум» для освіти, показали досить високу ефективність для впровадження дистанційного навчання студентів, та слухачів заочної форми навчання, особливо під час карантинних заходів.

Таким чином, виходячи з проведених досліджень, слід виділити основні умови, необхідні для реалізації інформаційно-освітнього середовища в частині реалізації дистанційних освітніх технологій [3; 4]:

1. Необхідна розвинена матеріально-технічна та інформаційно-методична база. Так само як наявність програмного забезпечення та єдиного сервера дистанційного навчання освітнього закладу, куди розміщуються електронні навчально-методичні компоненти, куди, в свою чергу, входять робоча програма по кожній з дисциплін, навчально-методична інформація за кожною з дисциплін семестру.

2. Необхідні кваліфіковані педагогічні кадри, котрі зможуть наповнювати навчальну базу якісним контентом, котрий відповідає вимогам щодо підготовки фахівців публічного управління.

3. Нормативно-організаційна база. З боку студента, відповідно, необхідно мати доступ до персонального комп'ютера з набором необхідного програмного забезпечення і доступ до мережі Інтернет. Для виконання лабораторних робіт в лабораторії віддаленого доступу необхідна наявність каналу підключення до мережі Інтернет з досить високою пропускною спроможністю.

Необхідно виділити основні переваги навчання з використанням дистанційних освітніх технологій, які були виявлені в ході аналізу: стимулюють пізнавальну активність самого студента, що, в свою чергу, корелює з компетентнісним підходом [1, с. 128, 129]; дозволяють проходити навчання поза відриву від професійної діяльності тих, хто навчається, надаючи йому можливість отримати таким чином освіту за іншою спеціальністю або ж підвищити рівень його професійної кваліфікації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Беляєв А. Н., Тришина Т. В. Обоснование внедрения и реализации передовых педагогических технологий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1(48). – С. 127 – 134.

2. Про державну службу: Закон України від 16 груд. 1993 р. № 3723-ХІІ.  
URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/3723-12>.

3. Карпук В. Особливості дистанційного навчання державних службовців // Демократичне врядування. – 2008. – Вип. 1. – URL: [http://lvivacademy.com/vidavnitstvo\\_1/visnik/fail/V.%20Karpuk.pdf](http://lvivacademy.com/vidavnitstvo_1/visnik/fail/V.%20Karpuk.pdf).

4. Білорусов С. Г. Практика використання дистанційної форми навчання в системі підвищення кваліфікації управлінських кадрів. – URL: <http://www.confcontact.com/2009ip/bilorus.php>.

*Жовтобрюх В. А.*  
Инженерно-технический центр «ВариУс», Днепр, Украина

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ С ЧПУ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ**

В настоящее время на промышленных предприятиях Украины все шире используются современные высокооборотные металлообрабатывающие станки с ЧПУ типа "обрабатывающий центр" производства ведущих мировых станкостроительных компаний. Как показывает практика, эти станки располагают значительными технологическими возможностями с точки зрения повышения качества, точности, производительности и экономичности механической обработки. В работах [1 – 3] приведены основные технические характеристики этих станков и условия их эффективного применения в производстве. В настоящей работе представлены новые перспективные модели металлообрабатывающих станков с ЧПУ, что позволяет научно обоснованно подходить к их выбору и рациональной эксплуатации на промышленных предприятиях Украины.

**Самый популярный токарный центр DOOSAN LYNX 2100 расширяет свои возможности!**

Компактный станок серии LYNX является самым востребованным высокопроизводительным токарным центром продольного точения на рынке из линейки экономичных станков DOOSAN (рис. 1). Во всем мире продано уже 30 тысяч единиц оборудования данной серии благодаря многочисленным техническим преимуществам перед "одноклассниками" от других производителей. Но инженеры компании DOOSAN не планируют останавливаться на достигнутом. Учитывая пожелания клиентов, DOOSAN создал третье поколение *модельного ряда Lynx* с расширенными функциональными возможностями. Результатом стала серия LYNX 2100. Обновленная версия сохранила лучшие характеристики предыдущих поколений токарных центров для производительной обработки: компактность и превосходное соотношение цены и качества. Набор энергосиловых и кинематических характеристик пополнился технологи-

ческими решениями, которым просто нет равных на современном рынке металлорежущего оборудования. Результат: повышенная жесткость конструкции и высочайшая производственная мощность.



*Рисунок 1 – Обновленная версия LYNX с расширенным функционалом*

**Новинки и улучшения в конструкции.** Имея наибольшую в своем классе рабочую зону, серия LYNX 2100 также укомплектована более широкими направляющими для осей X, Z и задней бабки. К тому же оси X и Z оснащены роликовыми направляющими качения, что обеспечивает повышенную жесткость конструкции и высокую скорость обработки одновременно. Новая программируемая задняя бабка, управляемая с помощью устройства ЧПУ, и револьверная головка с надежным сервоприводом позволяют значительно ускорить настройку и сократить время обработки (рис. 2). Кроме того, улучшена конструкция защиты направляющих, которая упрощает удаление стружки и сокращает температурные деформации станка. Серия LYNX 2100 может комплектоваться правосторонним либо задним конвейером стружки.



*Рисунок 2 – Обработка с перехватом детали*

Экологически безопасная система консистентной смазки для роликовых направляющих заменила прежний аналог на масляной основе. Такое решение обеспечивает чистоту охлаждающей жидкости и снижает затраты на техническое обслуживание на 75 %.

Стойка управления FANUC теперь включают в себя пакет EasyOperation от DOOSAN, максимально упрощающий выполнение повседневных задач на станке. Отображение позиции инструмента и выбранной оси перемещения помогает в настройке и отлично подходит для операторов, которые выполняют несколько производственных заданий в течение дня. Эти и другие конструктивные улучшения третьего поколения скомпонованы аналогично более ранним версиям станка, поэтому габариты LYNX 2100 не изменились. Он по-прежнему идеально впишется даже в цех с дефицитом пространства.

**Сила и скорость.** Мощный (15 кВт) двигатель главного шпинделя обеспечивает широкие возможности для всех необходимых токарных операций. В том числе, для прецизионного точения без усилий – со скоростью вращения шпинделя до 6000 об/мин с размерами патрона от 170 мм до 210 мм. Наличие опционального вспомогательного шпинделя со скоростью вращения 6000 об/мин позволяет выполнять обработку с перехватом детали и сокращать количество технологических операций. Кроме того, для оптимизации возможностей станка добавлена полноценная ось С с дискретностью поворота 0,001°. Сложно рассказать обо всех моделях и вариантах серии LYNX. Поэтому рассмотрим две самые популярные конфигурации.

**Функция фрезерования.** Модель LYNX 2100M (с функцией фрезерования) предлагает удобство, точность и производительность, которые обеспечивает обработка с одним установом. Она оснащена 12-позиционной револьверной головкой DOOSAN BMT 45P и демонстрирует превосходные характеристики при фрезеровании. В револьвере используется система воздушно-масляного охлаждения, которая эффективно сокращает тепловое воздействие.

По словам Шейна Ричардса (ShaneRichards), заместителя генерального директора DOOSAN, этот прочный, компактный и мощный станок идеально подходит для обработки клапанов, валов, зубчатых колес, фланцев, различных корпусов, болтов и других изделий с максимальным диаметром точения 350 мм и длиной до 550 мм.

Новые возможности с третьей осью. Весьма популярная модель LYNX 2100LSYB укомплектована 8-дюймовым патроном, кондршпинделем и функцией фрезерования с полноценной осью Y. Для более быстрой настройки оборудования данная версия может быть укомплектована интерфейсом для устройства подачи прутка, улавливателем деталей и устройством Renishaw для автоматической размерной привязки инструмента (рис. 3).

Благодаря такому функционалу можно значительно сэкономить производственное время, сократить трудозатраты и получить высокоточные готовые детали с непревзойденной производительностью! Ведь на одном таком станке возможно выполнять такие операции, как фрезерная обработка карманов, свер-

ление и нарезание резьбы вне оси детали. Недорогой способ увеличения производительности до 25 % за счет новых возможностей станка. Если очень коротко, то горизонтальные токарные центры серии LYNX 2100 с расширенными функциональными возможностями объединяют в себе компактность, универсальность и чрезвычайную производительность при доступной цене оборудования. Эти небольшие станки готовы выполнять для вас серьезную работу!

Лучшее оборудование может быть создано на базе лучших технологий. Вот почему компания DOOSAN MACHINE TOOLS CO всегда делает все возможное для внедрения современных технологий в каждый свой продукт, начиная с высокоточных обрабатывающих центров и заканчивая сложными производственными комплексами. Производственная программа DOOSAN – это целый мир токарных и фрезерных обрабатывающих центров различной степени сложности для решения практически любых технологических задач (рис. 4):

1. Многоосевые токарные и токарно-фрезерные станки с ЧПУ.
2. Прутковые автоматы.
3. Вертикальные и горизонтальные обрабатывающие центры.
4. Станки для обработки колесных дисков.
5. Сверлильно-расточные станки.
6. Портальные обрабатывающие центры для 5-сторонней обработки крупногабаритных деталей.



*Рисунок 3 – Компактный горизонтальный токарный центр LYNX 2100*

Продукция DOOSAN – это также уникальные решения для автоматизации сложных производственных процессов, включая оснастку, разработанную специально для обработки необходимой детали Заказчика, выбор оптимального инструмента и технологии обработки с целью минимизации затрат на производство.





Рисунок 4 – Станки с ЧПУ компании DOOSAN MACHINE TOOLS CO

Компания ВариТек – уникальное предприятие технологического сервиса в области металлообработки с собственным инженерным штатом высококлассных технологов, программистов и инженеров-наладчиков. Свой оперативный склад оборудования (не менее 15 станков с ЧПУ в г. Днепр), запасных частей и режущего инструмента в Украине, а также налаженная логистика поставок исключают длительные простои оборудования, что избавляет наших Заказчиков от производственных потерь.



Компания **ВариТек** предлагает широкий спектр современного сертифицированного металлообрабатывающего оборудования для машиностроительных и металлургических предприятий, включая обеспечение инструментом и технологический сервис. Вместе с поставкой станков ВариТек выполняет обслуживание оборудования в гарантийный и послегарантийный период и обеспечивает полный инжиниринг, который включает:

1. Разработку технологии производства, начиная от чертежа детали Клиента.
2. Совместную работу технологов предприятия-заказчика с технологами и программистами компании ВариТек для правильного выбора оборудования.
3. Выбор или разработку оснастки, необходимой для выполнения задачи.
4. Подбор и комплектацию производства эффективным инструментом. Отработку режимов резания в соответствии с планируемой программой выпуска.
5. Поставку CAD/CAM-программ и необходимых постпроцессоров. Обучение операторов и программистов.
6. Сопровождение технологического процесса во время и после ввода станков в эксплуатацию.

Важным преимуществом компании ВариТек является наличие собственного лицензированного Сервисного Центра – лучшего во всей Украине! Его основная задача – поддержание в рабочем состоянии и увеличение срока безотказной работы оборудования DOOSAN. Квалификация наших наладчиков и работа с инструментами высокого качества позволяют проводить сложные и тру-

доемкие пусконаладочные и ремонтные работы в сжатые сроки и с высоким качеством. Во время пусконаладочных работ инженеры Сервисного Центра проводят обучение персонала Заказчика по вопросам правильной эксплуатации и своевременного технического обслуживания станков DOOSAN.

Высокий уровень технических знаний наших инженеров обеспечивается накопленным опытом в ходе регулярного обучения и тренингов, а также консультаций с ведущими специалистами DOOSAN. Итак, выбирая металлорежущее оборудование, почему стоит доверить весь процесс компании ВариТек?

1. Лучшее техническое обслуживание силами собственного Сервисного Центра (9 сервис-инженеров) – 4 бригады одновременно обеспечивают сервис в течение 24 часов в любой точке Украины.

2. Поставка уникальных запчастей из Германии за 3–4 рабочих дня.

3. Склад оборудования и запчастей в г. Днепр.

4. Оснащение специальным режущим инструментом. Поставка программного обеспечения (САМ-система ESPRIT, постпроцессор).

5. Обучение работе на станках с ЧПУ.

6. Сдача оборудования на тестовой детали Заказчика.

7. Специальные условия финансирования.



Предлагая лучшие технологические решения, компания ВариТек зарекомендовала себя на украинском рынке как предприятие, которое берется за сложнейшие задачи в области металлообработки и всегда выполняет взятые на себя обязательства. Поэтому оборудование, оснастка, инструмент и режимы будут подобраны для каждого проекта таким образом, чтобы обеспечить максимальную программу выпуска деталей при минимальных затратах.

В настоящее время специалисты компании ВариТек реализовали более 230 комплексных технологических проектов "под ключ", в рамках которых машиностроительным предприятиям Украины поставлено более 500 единиц оборудования с ЧПУ различной степени сложности.

## **Оборудование + инструмент + технология + CAD/CAM + обучение + первоклассный сервис: от одной компании!**

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Жовтобрюх В. О. Підвищення ефективності механічної обробки деталей гідравлічних систем шляхом вибору раціональних параметрів операцій за критерієм собівартості: автореф. канд. техн. наук: 05.02.08 «Технологія машинобудування». – Маріуполь, 2012. – 21 с.

2. Жовтобрюх В. А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ: монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. – Днепр : ЛИРА, 2019. – 480 с.

*Зелинский С.А.*

Государственной университет «Одесская политехника»,  
Одесса, Украина

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МЕХАТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК НА СТАНКЕ С ЧПК**

В результате литературного анализа по тематике обработки сложнопрофильных деталей, применяемых в авиационной и ракетно-космической технике определен ряд нерешенных научно-технических проблем. В работе исследуются возможности их решения за счет реализации принципов мехатронного управления процессом контурного фрезерования турбинных лопаток на станке с ЧПК.

Исследуется возможность реализации принципа мехатронного управления за счет разработки адаптивной мехатронной системы управления ходом технологических процессов формообразования деталей аэродинамического профиля.

При разработке адаптивной мехатронной системы были учтены следующие положения:

- обработка сложнопрофильных деталей, применяемых в авиационной и ракетно-космической технике представляет сложную инженерную задачу и не только в виду многообразия конструктивных вариантов такого рода изделий (рис. 1), но и отсутствия технологий силового взаимодействия в зоне контакта инструмент-обрабатываемая деталь;

- одной из тенденций развития современного подхода при производстве газотурбинных двигателей является снижение материалоемкости. В этой связи все более широкое применение находят детали с тонкостенными нежесткими элементами, изготовленными из высокопрочных труднообрабатываемых сплавов;

- обработка рабочего профиля турбинных лопаток и лопастей моноколес осуществляется методом контурного фрезерования на станках с ЧПУ. Причем, контурное фрезерование концевыми фрезами, обычно, является финишной операцией;

- обработка резанием нежестких деталей связана с трудностями, одними из которых является появление вибраций, что необходимо учитывать.



*Рисунок 1 – Примеры деталей аэродинамического профиля*

В этой связи необходимо отметить некоторые аспекты проблем обработки профиля турбинной лопатки:

1. Турбинная лопатка одна из важнейших и ответственных деталей газовых и прочих турбин, в конечном счете, определяет не только надежность газотурбинных двигателей (ГТД), но также технические и функциональные характеристики двигателя.

2. При отклонении геометрических форм и размеров профиля лопаток от расчетных ухудшается газодинамическая устойчивость двигателя, возрастают аэродинамические потери, приводящие к уменьшению КПД турбины, к потере мощности, росту удельных расходов, и как следствие, к снижению эффективности работы двигателя. Следовательно, изготовление профильной части лопаток в строгом соответствии с расчетными данными является необходимым условием работоспособности, экономичности и надежности ГТД.

*Івашура А. А., Борисенко О. М., Логвінков С. М.  
Харківський національний економічний університет  
ім. С. Кузнеця, Харків, Україна*

## **СТАЛІСТЬ ЯК ПОЗИТИВНА ТЕНДЕНЦІЯ У ВИРОБНИЦТВІ**

У сучасному світі з його багатогранністю і комплексністю, ми бачимо більш широку картину глобального впливу бізнесу на навколишнє середовище. Одне з найбільш позитивних наслідків такого бачення – зростаючий інтерес до екологічно безпечного виробництва [1].

У цьому контексті сталість враховує безліч факторів, включаючи мінімізацію впливу на навколишнє середовище, збереження ресурсів та дотримання економічно обґрунтованих процесів. Переваги сталого підходу значні: від економії витрат за рахунок підвищення виробничої ефективності до зміцнення бренду за рахунок зростання суспільної довіри. Сталість також забезпечує більш здорове та безпечне робоче середовище, а також залучає нових клієнтів і збільшує інвестиції.

Для життєздатності сталого виробництва необхідні ретельно продумані і життєздатні стратегії. Перш ніж впроваджувати зміни, необхідно оцінити поточний рівень сталості підприємства. У Сполучених Штатах такими стратегіями займається федеральна структура технічної допомоги, що складається з шести урядових агентств. Вона об'єднує дрібних і середніх виробників разом з урядовими експертами в якості організації для створення індивідуальних оцінок і рекомендацій для розробки практичних заходів [2].

Філософія організації виходить за рамки простого спрямування зусиль по "екологічності" або впровадження методів ресурсозберігаючого виробництва. Виявляючи й усуваючи корінні причини втрат і неефективності, цей підхід дозволяє компаніям нарощувати потужності і залишатися конкурентоспроможними. За перші вісім років роботи цієї організації не тільки створено 1515 нових робочих місць, а й збережено 2802 існуючих. Мережа зелених постачальників – це ще одна частина цієї організаційної структури. Завдяки такій мережі збільшується оперативність в ланцюжку поставок, а також знижується сукупний вуглецевий слід продуктів.

Організація економічного співробітництва та розвитку, яка розташована в Парижі, також активно бере участь в переході до сталості підприємств. Головний напрямок – пропозиція набору інструментів для сталого виробництва. Ці заходи розроблені для малих і середніх підприємств і розраховані на широке застосування. Пропонований інструментарій розбиває процес досягнення стійкості на етапи дій, які включають на визначення показників ефективності, оцінку операцій і розуміння тенденцій продуктивності. Тут же пропонуються методи розрахунку і технічні рекомендації для поліпшення показників сталого виробництва.

Стале виробництво означає створення продукції з використанням матеріалів і технологічних процесів з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище і економічно розумними засобами. Підсумок – заощадження енергії та природних ресурсів, безпека для персоналу, суспільства і споживачів. Сталий розвиток підходить для реалізації організаційної схеми нових методів, заходів і технологій в області виробництва, щоб впоратися з нестачею ресурсів у всьому світі, знизити тиск на навколишнє середовище і зробити можливим життєвий цикл екологічно безпечного продукту. У міру того як в промисловості впроваджується концепція сталості, активно обговорюються і формуються різні дослідницькі напрями в цій області.

Термін екологічність – це не те ж саме, що і сталість, хоча вони і взаємопов'язані. Хоча ці терміни часто використовуються як синоніми, екологічність

частіше асоціюється з окремим продуктом або процесом. Наприклад, поліпшення конкретної операції, для нейтралізації шкоди навколишньому середовищу, або створення продукту, повністю зробленого з перероблених матеріалів.

Сталість зазвичай більше пов'язана з цілісним підходом організації включаючи весь виробничий процес і логістику. Наприклад, ми можемо придбати екологічно чистий продукт, зроблений з перероблених матеріалів. Однак, якщо цей продукт було зроблено за кордоном, і для його транспортування в нашу країну використовувалися екологічно небезпечні методи, це не відповідало б принципам сталого розвитку.

У виробничому світі вигідно зосередитися як на екологічності, так і на сталості. Хоча цілеспрямовані поліпшення можуть бути корисні для компанії, погляд на "картину в цілому" максимізує переваги екологічної орієнтації. Ось п'ять найважливіших способів забезпечення сталості і екологічності, щоб позитивно вплинути на підприємство:

1. Зниження енергетичних витрат.
2. Залучення нових екоусвідомлених споживачів і збільшення продажів.
3. Податкові стимули за рахунок участі в екопрограмах.
4. Мотивування працівників і підвищення морального духу на підприємстві.
5. Позитивний вплив на суспільство і навколишнє середовище.

Якщо ж говорити в цілому про основні сучасні тенденції для досягнення підприємством лідерства в галузі сталого розвитку, то тут увагу необхідно звернути на більш глобальні напрямки.

По-перше це боротьба з глобальним кліматичним дисбалансом. На цьому напрямку необхідно від підприємства прагнення до нульових викидів парникових газів, інвестування в чисту енергію, транспорт та впровадження сталих рішень в рамках своїх бізнес-операцій і глобальних ланцюжків постачань. Важливо відзначити, що компанії не просто повинні вживати заходів щодо скорочення власних викидів, вони також сприяють зміні політики в своїх країнах і регіонах і створюють амбіції для прискорення дій по боротьбі з питань зміни клімату.

По друге це перехід тільки на зелені інвестиції. Необхідно уникати інвестицій в компанії, що представляють високий ризик, пов'язаний зі стійкістю.

По-третє це покупка "завжди і скрізь" енергії тільки з поновлюваних джерел. Цьому сприяють постійно зростаючі і все більш привабливі ринки поновлюваних джерел енергії.

По-четверте це економія води. Водні кризи були визначені як один з п'яти найсерйозніших ризиків для суспільства в наступному десятилітті.

І нарешті п'ятий напрямок – це максимальне використання віртуальних технологій і штучного інтелекту. Такі технологи допомагають організаціям стати більш сталими, забезпечуючи більш швидкий доступ до більш якісної інформації для прийняття обґрунтованих рішень. Наприклад, штучний інтелект можна використовувати для прогнозування виходу обладнання з ладу за довго до виходу з ладу, тим самим заощаджуючи час, гроші і ресурси.

Таким чином, розуміння і оволодіння історією, поточним статусом і тенденцією сталості в виробничих процесах мають велике значення для подальшого розуміння напрямків розвитку сталості і виявлення нових дослідницьких напрямків, які можуть служити орієнтиром для вибору технологій, інновацій і тенденцій розвитку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ivashura A., Borysenko O., Logvinkov S. Environmental safety in the context of ecological and economic models of territorial development. *Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти: матеріали I міжнар. інтернет-конф.*, (Харків, 25 лют. 2021). Харків, 2021. С. 147-148.

2. Jiang J., Qu L. Evolution and Emerging Trends of Sustainability in Manufacturing Based on Literature Visualization Analysis. *IEEE Access*, 8. 2020. 121074-121088. doi:10.1109/access.2020.3006582

*Иванов Е. И.*

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,  
Мариуполь, Украина

## КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

При разработке технологического процесса возникает вопрос, что выгоднее – использовать дорогостоящий режущий инструмент с высокой стойкостью и производительностью или дешевый с меньшей стойкостью. Решая этот вопрос необходимо учитывать стоимость инструмента, станка, время обработки. Существует несколько вариантов снижения затрат механической обработки несколько, поэтому важно выяснить какой режущий инструмент экономически выгоднее использовать для станков с ЧПУ.

С целью выбора режущего инструмента произведен сравнительный анализ использования различных инструментов на операции фрезерования детали из материала СЧ15 ГОСТ 1412-85.

Сравниваем два инструмента: стандартный инструмент, в дальнейшем именуемый – базовым, и импортный инструмент, который обеспечивает более высокие режимы резания.

Для более полного анализа экономической эффективности применения современных инструментов определим суммарные затраты на изготовление одной детали. Суммарные затраты включают в себя: затраты на инструмент и дополнительную оснастку, затраты на оборудование, затраты на заработную плату и прочие расходы (накладные расходы, без учета расходов на оборудование и инструмент) в расчете на одну деталь.

В табл. 1 и табл. 2 показаны результаты расчетов статей затрат при изготовлении одной детали. При фрезеровании базовой торцовой фрезой 2214-0388 ГОСТ 26595-85 затраты составляют: на инструмент и дополнительную оснастку – 15,61 грн, на оборудование – 17,23 грн, на заработную плату – 20,20 грн, прочие расходы – 30,30 грн. Следовательно, себестоимость обработки составляет – 83,34 грн. При использовании фрезы фирмы Sandvik Coromant 745-100Q32-21M затраты составляют: на инструмент и дополнительную оснастку – 7,57 грн, на оборудование – 6,23 грн, на заработную плату – 10,22 грн, прочие расходы – 15,33 грн. Следовательно, себестоимость обработки составляет 39,35 грн. В итоге получим экономию затрат от применения современного инструмента, при расчете на одну деталь, на 43,99 грн. Себестоимость обработки уменьшилась в 2,1 раза, несмотря на то что цена современной фрезы в разы больше отечественной. Расчет суммарных затрат при изготовлении одной детали представлен в табл. 3.

*Таблица 1 – Сводная таблица исходных данных*

Сравниваемые показатели	Единица измерения	Вариант 1 Базовый	Вариант 2 Sandvik Coromant
Обрабатываемый материал		СЧ15 ГОСТ 1412-85	
Диаметр фрезы, D	мм	100	100
Количество зубьев, z	шт.	8	7
Глубина резания, t	мм	3	3
Ширина фрезерования, B	мм	70	70
Количество проходов, i	шт.	5	5
Скорость резания, V	м/мин	84	334
Обороты шпинделя, n	об/мин	267	1064
Подача на зуб, Sz	мм/зуб	0,09	0,3
Минутная подача, S <sub>м</sub>	мм/мин	192	2234
Подача на оборот, S	мм/об	0,72	2,1
Суммарное линейное перемещение инструмента, L <sub>Σ</sub>	мм	3165	3165
Основное время, T <sub>о</sub>	мин	16,45	1,41
Время на смену детали и инструмента, T <sub>дет</sub>	мин	7,1	7,1
Стойкость инструмента	мин	120	390
Стойкость инструмента, T	дет	5	46
Время обработки детали, T <sub>ч</sub>	час	0,393	0,142

Как видно из табл. 1, при использовании фрезы фирмы Sandvik Coromant, получено сокращение времени обработки на 63 %.

В результате получили сокращение затрат в 2,1 раза, сокращение трудоемкости изготовления – в 2,8 раза. При программе в 5000 деталей в год за счет экономии затрат мы окупим стоимость инструмента за 559 деталей. Эффективность применения инструмента Sandvik Coromant представлена в табл. 4.



Таблица 2 – Расчет трудозатрат и прочих расходов на одну деталь

Статьи расходов на заработную плату	Единица измерения	Вариант 1 Базовый	Вариант 2 Sandvik Coromant
<b>Трудозатраты</b>			
Время обработки детали, $T_{\text{ч}}$	час	0,393	0,142
Тарифная ставка рабочего, $C_t$	грн/час	31,72	31,72
Коэффициент повышения зарплаты рабочего за снижение трудоемкости, $K_1$		1	1,4
Основная зарплата рабочего на 1 деталь, $ЗП_{\text{осн}}$	грн	12,45	6,30
Дополнительная зарплата рабочего, $ЗП_{\text{доп}}$	%	18	18
	грн	2,24	1,13
Отчисления на социальное страхование, $C_{\text{соц}}$	%	37,5	37,5
	грн	5,51	2,79
Затраты на зарплату в расчете на 1 деталь, $ЗП$	грн	20,20	10,22
<b>Прочие расходы</b>			
Процент накладных расходов, $h_{\text{пр}}$	%	150	150
Прочие расходы на 1 деталь	грн	30,30	15,33

Таблица 3 – Расчет суммарных затрат при изготовлении одной детали

Статьи расходов	Единица измерения	Вариант 1 Базовый	Вариант 2 Sandvik Coromant
Затраты на инструмент и дополнительную оснастку	грн	15,61	7,57
Затраты на оборудование	грн	17,23	6,23
Затраты на зарплату рабочего	грн	20,20	10,22
Прочие расходы	грн	30,30	15,33
Суммарные затраты на 1 деталь	грн	83,34	39,35
Экономия затрат на 1 деталь	%	53,30	
	грн	44,00	

Таблица 4 – Эффективность применения инструмента Sandvik Coromant

Показатели	При программе 5000 деталей в год
Сокращение затрат	в 2,1 раза на 219988,45 грн в год
Сокращение трудоемкости	в 2,8 раза на 1253,33 н/ч в год
Окупаемость инструмента	559 деталей

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРИ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасне машинобудування передбачає все більш широке використання важкооброблюваних крихких матеріалів різної природи: металеві – тверді сплави і мінеральної – технічні стекла, конструкційні кераміки, в тому числі ситали. Специфіка експлуатації виробів із зазначених матеріалів (наприклад, інструментальне виробництво – тверді сплави, літако- і ракетобудування – крихкі неметалеві матеріали тощо) визначає підвищені вимоги не тільки до їх фізико-механічних властивостей і до точності виготовлення, але і до міцності і якості поверхневого шару, які в значній мірі визначаються показниками дефектності і шорсткості обробленої поверхні.

Однак, ці матеріали через підвищені твердість і крихкість відносять до категорії важкооброблюваних, через що їх механічна обробка можлива за рахунок реалізації операцій алмазного шліфування переважно кругами на металевій зв'язці. У таблиці представлені в узагальненому вигляді деякі фізико-механічні властивості найбільш широко застосовуваних видів твердих сплавів, ситалу і кераміки, від яких значною мірою залежать їх оброблюваність і особливості процесів алмазно-абразивної обробки.

*Таблиця. Фізико-механічні властивості крихких конструкційних матеріалів*

Параметри	Види оброблюваних матеріалів			
	Тверді сплави груп:		Ситал АС 418	Кварцова кераміка SiO <sub>2</sub>
	ВК3-ВК25	Т30К4 –Т15К12		
Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup>	12,9 – 15,4	6,5 – 13,5	2,5 – 2,6	2,0 – 2,2
Модуль пружності $E$ , ГПа	480 – 660	430 – 560	90	50 – 60
Межа міцності, МПа при:			100 – 145	35 – 85
	згинанні $\sigma_z$		60 – 64	35
	розтягуванні $\sigma_p$	590 – 1450	950 – 1650	1500
стисненні $\sigma_c$	3030 – 4910	3000 – 4300		
Твердість $HV$ , ГПа	9,0 – 16,0	11,5 – 22,0	7,8	3,2
Теплостійкість, °С	950 – 1100	800 - 1000	1320	2200
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	1,5 – 5,1	0,7 – 0,9	до 5	1,2
Критерій крихкості $\chi = \sigma_p / \sigma_c$	0,16 – 0,3	0,3 – 0,38	0,04	0,115

Розглянуті матеріали близькі до ідеально крихких. Про це свідчать значення критерію крихкості: для керамік  $\chi = 0,04 \dots 0,14$ , для твердих сплавів –  $\chi = 0,16 \dots 0,58$ , але між ними є і суттєві відмінності. Керамічні матеріали практично пластично не деформуються, мають малу щільність (легше твердих сплавів до 6 разів), високі твердість, зносостійкість, а також теплостійкість, яка пе-

ревищує аналогічний показник для твердих сплавів. Високі твердість і температура плавлення керамічних матеріалів обумовлені великою енергією зв'язку між атомами. Це ковалентні або іонні сполуки.

Сильний міжатомний зв'язок визначає високий опір деформації, що позначається на особливостях протікання процесу різання. Незважаючи на низьку міцність при вигині і розтягуванні (до 30 разів менше, ніж у твердих сплавах), ударна в'язкість крихких неметалевих матеріалів (КНМ) порівнянна, а найчастіше, декілька перевищує відповідні значення для твердих сплавів. Головним недоліком КНМ, що утрудняє процес їх шліфування, є поєднання високих твердості і крихкості, що негативно позначається на якості сформованої поверхні, перш за все пов'язаної з утворенням порушеного обробкою поверхневого дефектного шару, глибина поширення і структура якого залежать від умов шліфування. Це в значно меншій мірі спостерігається для твердих сплавів, наприклад, глибина поширення дефектного шару для КНМ становить до 1 мм після чорного і до 300 мкм після чистового шліфування проти 0,1–0,18 мм після чистового шліфування твердих сплавів [1]. Причиною такого ефекту є значно більша пластичність твердих сплавів.

Виконаний автором роботи значний обсяг наукових досліджень щодо підвищення ефективності алмазно-абразивної обробки КНМ [1, 2] дозволив зробити узагальнюючий висновок, що дефектність їх обробленої поверхні залежить від фізико-механічних характеристик, перш за все, міцності і структури оброблюваних матеріалів (ОМ) і від вхідних параметрів технологічного процесу (ТП) обробки. У сукупності це значною мірою визначає рівень напружено-деформованого стану (НДС) зони різання і сили різання при шліфуванні. Збільшення НДС супроводжується зростанням дефектності обробленої поверхні, що негативно впливає на експлуатаційні характеристики виробів.

До складу вхідних параметрів включені: схема і режим шліфування; тип мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС); характеристика інструменту і рівень його ріжучих властивостей, що змінюються в процесі різання. Такий підхід дозволяє обґрунтувати пріоритетність управління процесом шліфування конкретного матеріалу за рахунок зміни рівня того чи іншого вхідного параметра технологічного процесу, який впливає на рівень силових, температурних і динамічних дій на оброблювану поверхню при шліфуванні і, як наслідок, на точність і якість обробки. Визначення ступеню цих впливів і пріоритетність факторів, що впливають на ефективність процесу обробки матеріалів розглянутого класу є *актуальним* науково-технічним завданням.

Абразивна обробка важкооброблюваних крихких матеріалів не може відбуватися без використання МОТС, функції яких при різанні повинні відповідати типу, структурі і фізико-механічним характеристикам ОМ. Так при шліфуванні металів – пластичних матеріалів, МОТС наперед за все повинні виконувати охолоджуючі і змащувальні функції. При шліфуванні твердих сплавів, які відносно близькі за своїми характеристиками до металів, також використовуються середовища з аналогічними функціями. Це 0,5...3 % водні розчини соди або низькопроцентні масляні емульсії.

При шліфуванні КНМ фізика процесу руйнування матеріалу припуску має свої суттєві особливості, що пов'язані з фізико-механічними властивостями ОМ, перш за все з їх підвищеними крихкістю і дефектністю, виникнення якої супроводжує силовий вплив інструменту на сформовану поверхню при різанні. У цьому випадку основна мета застосування МОТС – зниження абсолютного значення величини сил різання за рахунок забезпечення інтенсивного диспергування оброблюваного матеріалу під впливом середовища.

Як відомо [3], введення в зону диспергування твердого тіла поверхнево-активних середовищ (ефект Ребіндера) призводить до зниження його питомої вільної поверхневої енергії за рахунок адсорбційних взаємодій атомів середовища і тіла, що деформується, які відбуваються на оброблюваній поверхні, тобто, і, як наслідок, до відповідної зміни її міцності. Це дозволяє зменшити енергоємність процесу різання і інтенсифікувати режими обробки, підвищивши тим самим її продуктивність і працездатність інструменту.

Для проявлення цього ефекту необхідно дотримання ряду умов [3], основними з яких є: спорідненість хімічного складу і будови тіла і МОТС; особливості реальної структури твердого тіла (його вихідної дефектності); умов деформування. Хімічний склад твердого тіла визначає характер взаємодії між атомами (іонами, молекулами) на міжфазному кордоні з середовищем, від якого залежить принципова можливість його впливу на міцність твердого тіла. При цьому характер міжатомних взаємодій проявляється в більшій або меншій зміні поверхневої енергії на кордоні між фазами, що можливо при їх певній «спорідненості».

Для більшості КНМ з типовою гідрофільною поверхнею (тобто, яскраво вираженою полярністю) максимальне зниження поверхневої енергії, а, отже, і міцності, відбувається при контакті з найбільш полярною рідиною – водою або водними розчинами поверхнево-активних речовин (ПАР), яким притаманна висока полярність.

Таким чином, МОТС, що застосовуються з метою інтенсифікації процесів механічної обробки більшості КНМ, особливо на основі скла, повинні бути полярними, мати високу швидкість розтікання, сумірну зі швидкістю утворення мікро відколів при різанні, для чого вони повинні мати високе значення рушійної сили розтікання і малу в'язкість, що поліпшує їх доставку в зону обробки і підвищує мастильну здатність середовищ за рахунок створення екрануючих плівок між поверхнями виробу та інструменту. Ці властивості, наприклад, у повній мірі притаманні водним розчинам поверхнево-активних речовин (оксигетильованих жирних спиртів, алкілмоносультатів та ін.) [2], які забезпечують при алмазному шліфуванні скла і ситалів зниження енергоємності процесу від 40 % до 2-х разів у порівнянні з водою, яка в основному застосовується на виробництві.

Узагальнюючі дані експерименту для умов обробки ситалу АС-418 за схемою пружного торцевого шліфування кругом АС6 – 125/100 – 4 – М2-01 при тиску  $p=0,4$  МПа наведені на рисунку.

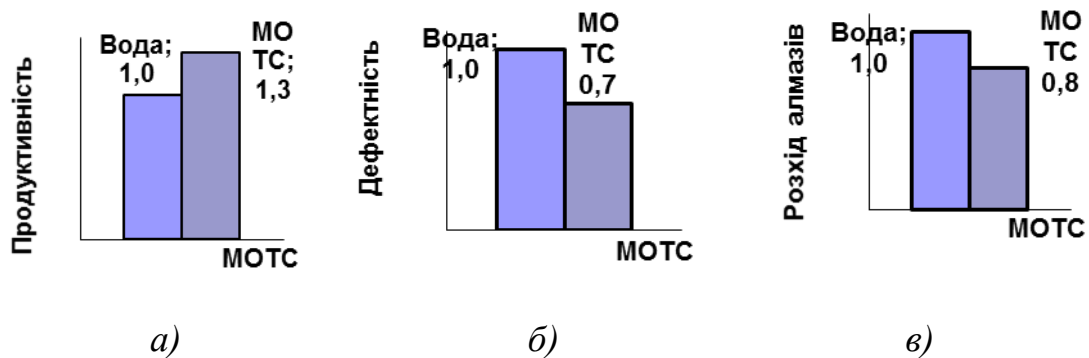


Рисунок – Дані щодо ефективності використання технологічних середовищ (води і поверхнево-активної МОТС) при шліфуванні ситалу

Як слідує з наданих результатів поверхнево-активна МОТС підвищує продуктивність обробки на 30%, знижує розходи алмазного інструменту на 20 % і глибину дефектного шару, розвиненого внаслідок шліфування, на 30 %. Крім того вона також має високу охолоджуючу дію – на рівні води. При найбільш використовуваному при шліфуванні діапазоні швидкостей різання ( $v_k$  до 35 м/с) наявність МОТС у зоні обробки знижує температуру обробки у порівнянні з обробкою «насухо» до 4,5 раз (максимально від 900 °С до 220 °С).

Таким чином, можна зробити висновок, що для обробки КНМ, наперед за все технічних стекл і ситалів, як МОТС найбільш раціонально використовувати водні розчини ПАР (концентрацією не більше 1,5 %), наприклад, тих, які входять до складу синтетичних миючих засобів, що не приносить значної шкоди екології, незначно впливає на собівартість продукції і не ускладнює утилізацію відходів обробки.

#### Висновки

МОТС – необхідна складова процесу абразивної обробки КНМ. Застосування поверхнево-активних по відношенню до ОМ середовищ за рахунок адсорбційного зниження їх міцності зменшує рівень сил, необхідних для диспергування матеріалу припуску. Наслідком цього є: підвищення продуктивності обробки; поліпшення умов експлуатації інструменту і зниження його зносу; зниження температури різання і рівня дефектності у сформованій поверхні.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Повышение эффективности шлифования твердых сплавов и конструкционной керамики: монография / Л. П. Калафатова, П. Г. Матюха, Д. В. Поколенко, С. Ю. Олейник, С. А. Поезд. – Покровск: ГВУЗ «ДонНТУ», 2017. – 182 с.
2. Гусев В. В. Технологічне забезпечення якості обробки виробів із технічної кераміки : монографія / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова. – Донецьк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 250 с.
3. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер. – Москва: Наука, 1979. – 124 с.

*Калюжний О. Б.*  
Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна  
*Платков В. Я.*  
Луганський національний аграрний університет,  
Старобільськ, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ФІЛЬТРІВ ОЧИЩЕННЯ БІОПАЛИВ**

На даний час багато уваги приділяється поновлюваним джерелам енергії, які добувають з рослинної сировини. Стосовно до сільськогосподарського виробництва безсумнівний пріоритет належить біопаливу на основі рослинних олій для дизельних двигунів - біодизельного палива, яке з успіхом використовується в ряді країн як альтернатива дизельному паливу [1]. Біопаливом, більш близьким за своїми фізико-хімічними властивостями до вуглеводневого (дизельного) палива, є суміш метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії (МЕРО).

На підставі аналізу було визначено, що перспективним альтернативним паливом дизельних двигунів для умов України є біодизельне паливо, яке отримують шляхом змішування рідких вуглеводневих палив і похідних ріпакового масла - метилових ефірів ріпакової олії. При цьому раціональним складом такого бінарного біодизельного палива є 10 % МЄРО + 90 % нафтового дизельного палива (В10) та 30 % МЄРО + 70 % нафтового дизельного палива (В30).

Однак, відмінності фізико-хімічних та експлуатаційних показників нафтового дизельного та біодизельного палив можуть суттєво вплинути на строк служби паперових фільтруючих елементів, якими оснащені фільтри тонкого очищення дизельних двигунів. На жаль процеси фільтрування біопалива раніш не вивчалися.

Залишковий в біодизелі метанол викликає набухання фільтрувального паперу, що призводить до зменшення розмірів порових каналів та збільшення перепаду тисків на фільтруючому елементі і, як наслідок цього, зменшує ресурс роботи фільтра. Крім цього, через втрату міцності фільтруючий елемент може зруйнуватися, не досягнувши граничного перепаду тисків.

Відповідно до [2], у дизельному паливі механічні домішки повинні бути відсутні при визначенні їх кількісним методом за [3] (масова частка механічних домішок до 0,005 % включно оцінюється як їхня відсутність). Однак біодизельне паливо може містити вільну воду, гліцерин, жирні й високомолекулярні органічні кислоти, продукти полімеризації, які викликають забруднення паливних фільтрів.

Доцільно було провести паралельні дослідження процесів фільтрування МЄРО, дизельного палива (ДП) і биопалив В10, В30.

Для визначення забруднення МЕРО, ДП, В10 й В30, проби цих видів палива були відфільтровані через паперовий фільтруючий матеріал ПФДП

( $S = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ) при постійному перепаді тиску ( $\Delta P = 2,5 \text{ кПа}$ ). Встановлено, що при одержанні змішаних палив В10 й В30 відбувалося їхнє помутніння. Осад, затриманий фільтром при фільтруванні різних видів палива, характеризував їхнє забруднення (рис. 1).

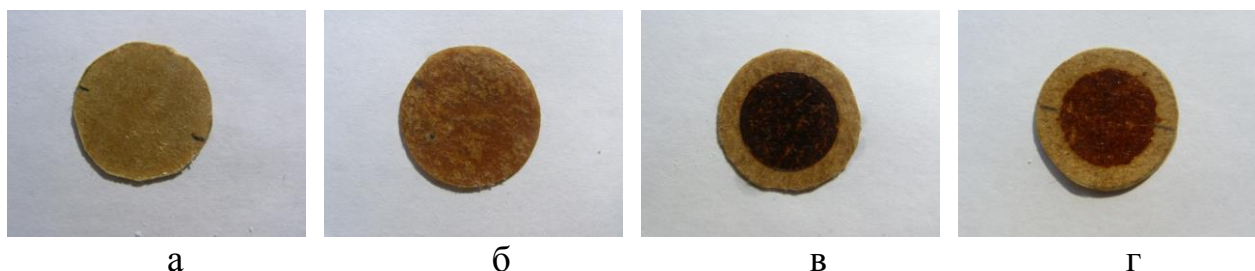


Рисунок 1 – Осад, затриманий фільтром при фільтруванні різних видів палива: а – ДП (осад відсутній), б – МЕРО (осад відсутній, але мають місце жирові плями на поверхні), в – В10 (щільний осад чорного кольору), г – В30 (пухкий осад коричневого кольору)

Відомо [2], що коефіцієнт фільтрування ( $K_{\phi}$ ) ДП для забезпечення тривалої роботи фільтрів повинен бути меншим або рівним 3. Забруднених смолами, сіркою, милами нафтових кислот, механічними домішками, істотно впливає на ресурс роботи фільтра тонкого очищення [4]. Більше значення  $K_{\phi}$  характеризує підвищену здатність палива збільшувати швидкість росту гідравлічного опору фільтрів, а звідси, знижувати ресурс фільтруючих елементів до заміни (рис. 2).

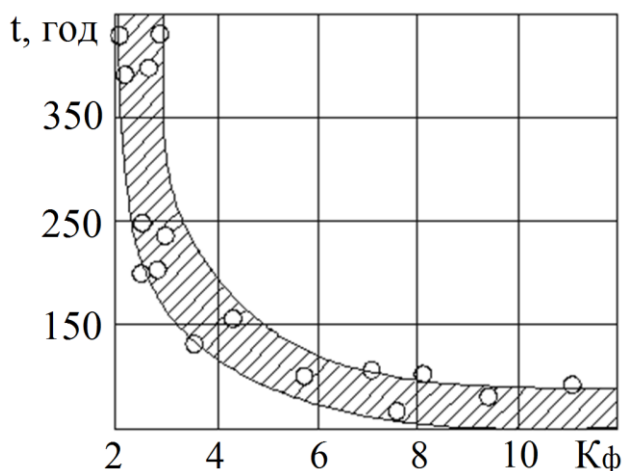


Рисунок 2 – Залежність ресурсу роботи  $t$  наперових фільтруючих елементів ЕПФ-3 на дизелі від коефіцієнта фільтрування палива  $K_{\phi}$

Згідно [5] були визначені  $K_{\phi}$  для ДП, В10 й В30. Проведені дослідження показали, що  $K_{\phi}$  дизельного палива ДП відповідають вимогам ГОСТ 305 ( $K_{\phi \text{ ДП}} = 2,6$ ). В той же час,  $K_{\phi}$  сумішних палив В30 й В10 значно більше за 3 ( $K_{\phi \text{ В10}} = 41,23$ ;  $K_{\phi \text{ В30}} = 12,14$ ). При цьому  $K_{\phi}$  палива В10 у чотири рази вища за

$K_{\phi}$  палива В30. Таким чином, паливо В10 та В30 не можливе використовувати без додаткової підготовки.

Відомо, що фільтрування може супроводжуватися по 4 схемам [2]: повним або частковим закупорюванням пор, утворенням над входом у пори пухких структур у вигляді сводиків або утворенням осаду на поверхні перегородки. Зазначені процеси можуть відбуватися як послідовно в часі, так й одночасно по двох або декількох перерахованих схемах.

Тривала витримка змішаного палива приводить до укрупнення часток, які знаходяться в ньому і утворюють при фільтруванні осад на фільтруючій перегородці [6]. Осад, що утворюється, не перекриває порові канали і не перешкоджає проходженню палива через фільтр.

Щоб визначити мінімальний час витримки, після якого фільтрація буде здійснюватися з утворенням осаду, було вивчено вплив часу витримки на механізм осадження забруднення (рис. 3).

З аналізу експериментальних даних видно:

- змішані палива В10 й В30, безпосередньо після їх виготовлення (час витримки перед фільтруванням  $\sim 25$  хв.), мають високий ступінь забруднення дрібнодисперсними частками механічних домішок, які за розмірами сумірні з розмірами пор фільтруючого елемента (фільтрування механічних домішок відбувається, в основному, за змішаною схемою з повним і частковим закупорюванням пор фільтруючого матеріалу) і практично не фільтруються через паперовий фільтруючий елемент ПФДП ( $K_{\phi В10} = 40,2$ ;  $K_{\phi В30} = 12,1$ );

- із збільшенням часу попередньої витримки в паливі відбувається агломерація часток механічних домішок (осадження домішок на фільтруючому матеріалі спочатку відбувається по всіх чотирьох схемах фільтрації з поступовим переходом до схеми з відкладенням осаду). Видно, що  $K_{\phi}$  палив істотно знижується (до значень  $1,3 \div 1,5$ ), при цьому  $K_{\phi}$  палива В10 знижується більш інтенсивно;

- встановлено, що при витримці палива В10 й В30  $\sim 120$  годин  $K_{\phi} \approx 2,0$ ;

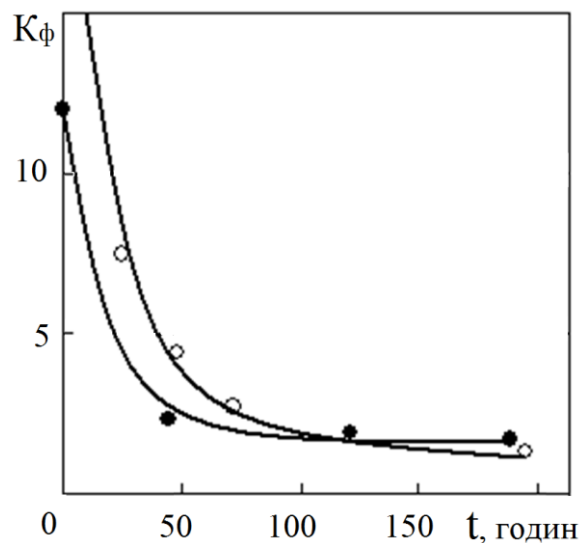


Рисунок 3 – Залежність  $K_{\phi}$  від часу витримки:  $\circ$ - В10;  $\bullet$  – В30.



- збільшення часу витримки палива В10 з 72 годин до 192 годин істотно поліпшує його фільтрування (коефіцієнт фільтрування  $K_f$  зменшується з 2,7 до 1,3), при цьому фільтрація переходить від комбінації схем утворення сводиков і відкладення осаду до схеми відкладення осаду, що дозволяє провести найбільш глибоке очищення палива, а сам осад починає працювати як додатковий фільтруючий шар.

- збільшення часу витримки палива В30 з 72 години до 192 годин незначно поліпшує його фільтрування (коефіцієнт фільтрування  $K_f$  зменшується з 1,9 до 1,5), при цьому схема фільтрації залишається незмінною (утворення сводиков і відкладення осаду), що не дозволяє здійснити повне очищення палива.

Дизельне паливо й змішані палива після витримки протягом 5 діб були профільтровані через паперовий фільтр ПФДП площею  $S=7,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , при перепаді тиску  $\Delta P = 3,5 \div 4 \text{ кПа}$ , що забезпечувало швидкість фільтрування  $U_f = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ .

Варто відмітити, що при збільшенні швидкості фільтрування в декілька раз не вдалося підвищити продуктивність фільтрування біодизельного палива (спостерігалось незначне підвищення продуктивності, а після цього різке її зниження аж до повного припинення фільтрування).

Для палив, що пройшли попереднє фільтрування було визначено значення вторинних коефіцієнтів фільтрування  $K_f^*$  ( $K_{фДП}^*=1,44$ ;  $K_{фВ10}^*=1,2$ ;  $K_{фВ30}^*=1,40$ ), що відповідає вимогам ГОСТ 305.

Таким чином, підготовка змішаного палива повинна містити у собі наступні етапи: витримку, після змішування компонентів не менш 120 годин при температурі не менш  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  і з подальшим фільтруванням через паперовий фільтруючий елемент з тонкістю фільтрації 3 мкм при швидкості фільтрування  $U_f = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ettl, Johannes; Bernhardt, Heinz; Huber, Georg; Thuneke, Klaus; Remmele, Edgar; Emberger, Peter (2020). Evaluation of pure rapeseed oil as a renewable fuel for agricultural machinery based on emission characteristics and long-term operation behaviour of a fleet of 18 tractors. SN Applied Sciences, 2(10), 1711–. doi:10.1007/s42452-020-03490-8
2. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.
3. ГОСТ 6370. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей.
4. Григорьев М. А., Борисова Г. В. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
5. ГОСТ 19006-73. Топливо дизельное. Метод определения коэффициента фильтруемости.
6. Коваленко В. П., Ильинский А. А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М.: Химия, 1982. – 272 с.

*Кисилевська А.Ю.*  
Державний університет «Одеська політехніка»,  
Державна установа «УкрНДІ медичної реабілітації та курортології  
МОЗ України», Одеса, Україна  
*Леонов В.В., Огієнко, М.С.,  
Бахолдіна О.І.*  
Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

## **НЕУПЕРЕДЖЕНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ЯК НЕВІД'ЄМНА СКЛАДОВА ЇЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ**

Для здійснення робіт з оцінки відповідності лабораторія має мати статус випробувальної лабораторії (ВЛ) та бути акредитованою на відповідність ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1].

Якщо попередні редакції міжнародного стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1] вимагали від ВЛ доведення своєї компетентності, то четверта його редакція 2019 року містить також принципову вимогу щодо неупередженості діяльності ВЛ.

Автори роботи [2] трактують «неупередженість» як неможливість будь-якого впливу на достовірність результатів (чи то внутрішнього, чи то зовнішнього), зокрема, ніхто ніяким чином не може вплинути на оператора, який проводить випробування, або є відповідальними за оформлення та видачу результатів.

Згідно з [3] елементами неупередженості є незалежність, відсутність конфлікту інтересів, відсутність упередженості, нейтральність, чесність, відкритість, незалежність суджень і урівноваженість.

Варто зауважити, що стандарт ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1] містить різні вимоги до компетентності і неупередженості щодо дій стосовно ризиків. Так згідно з п. 5.1 розділу 8 стандарту ризику і можливості щодо компетентності ВЛ вимагається «приймати до уваги».

Згідно з п. 1.4 розділу 4 ВЛ має виявляти ризики щодо неупередженості «на постійній основі», та якщо такі ризик виявлено, то ВЛ повинна продемонструвати, як вони усуваються або мінімізуються.

Запорукою неупередженості є відповідні документи системи менеджменту, зокрема, політика, процедури.

Щодо документування дій з виявлення ризиків неупередженості ВЛ слід розробити та впровадити відповідну політику, в якій задекларувати можливі ризики неупередженості і засвідчити, що ВЛ управляє ними та ідентифікує власників цих ризиків.

ВЛ повинна мати обов'язок вищого керівництва щодо неупередженості.

ВЛ має проводити аналіз ризиків неупередженості.

В якості вхідних даних аналізу можна використовувати оцінку контрактів (щоб визначити, чи пов'язано ризик з клієнтом або діяльністю), аналіз з боку керівництва, внутрішні аудити і аналіз продуктивності (для ідентифікації ризиків, пов'язаних з персоналом).

Оскільки це повинна бути діяльність на постійній основі, важливо визначити зміни в діяльності ВЛ. Навіть якщо діяльність лабораторії не зміниться, слід проводити аналіз ризику щодо неупередженості, зокрема, як частина аналізу з боку керівництва. Це включає в себе ризики, що виникають в результаті діяльності лабораторії, або в результаті її взаємин, у тому числі персоналу [4].

Відносини, які загрожують неупередженості ВЛ, можуть ґрунтуватися на праві власності, вищому рівні керівництва, рівні управлінської ланки, персоналу, ресурсах, фінансах, контрактах, маркетингу і оплаті винагород або інших засобах заохочення для залучення нових клієнтів тощо.

Згідно з ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1] виявлені ризики неупередженості можливо не лише усунути, але й мінімізувати.

Наприклад, шляхом:

- проведення випробувань іншими підрозділами ВЛ, якщо попередній підрозділ скомпрометував себе з якої-небудь причини;
- заміни персоналу, якщо попередній персонал скомпрометував себе;
- ізоляція скомпрометованого персоналу;
- договір субпідряду;
- внесення змін до діяльності ВЛ (виключити ту частину, щодо якої немає впевненості в неупередженості) [4].

Отже метою провадження діяльності випробувальної лабораторії є забезпечення довіри усіх зацікавлених сторін до того, що випробувальна лабораторія компетентна щодо отримання достовірних результатів під час проведення оцінки відповідності. Неупередженість випробувальної лабораторії є запорукою досягнення та підтримки цієї довіри.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT): ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. – [Чинний від 2021-01-01]. – К.: Мінекономіки України, 2021. – 30 с. – (Національний стандарт України).

2. Новіков В. В. Організація ризик-орієнтованого ризик-менеджменту ISO/IEC 17025 / Володимир Новіков, Олександр Нікітюк // Лабораторна справа. – 2019. – № 2. – С. 16–26.

3. Герко Н. П. Неупередженість органу з сертифікації – ключовий критерій його сертифікаційної діяльності / Н. П. Герко // Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». – 2019. – Вип. 19. – С. 88–90.

4. EUROLAB «Cook Book" – Doc No. 19. – Електронний ресурс. – <https://profilab.by/cook-book-19-impartiality-and-confidentiality>

Ковалев В. Д., Клименко Г. П., Мироненко Е. В.,  
Васильченко Я. В., Шаповалов М. В.  
Донбасская государственная машиностроительная академия,  
Краматорск, Украина  
Заковоротный А. Ю., Клочко А. А.  
Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ И ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

В цилиндрической зубчатой передаче, даже при идеальном эвольвентном зацеплении происходит проскальзывание профиля зуба одной шестерни относительно профиля зуба сопрягаемого колеса. Вследствие этого проскальзывания возникает сила трения скольжения, значение которой пропорционально нормальному давлению в зубьях шестерен. Нормальное давление, в свою очередь, пропорционально передаваемому усилию. Сила трения в процессе зацепления меняет свой знак при прохождении точки зацепления через полюс зацепления, однако среднее значение момента, создаваемого этой силой, в процессе зацепления всегда имеет знак, противоположный угловой скорости. Кроме того, в разных фазах зацепления находятся одновременно несколько зубьев [1, 2, 3].

Вопрос о природе трения зубчатых передач сих пор изучен недостаточно. Как показывают экспериментальные исследования, трение представляет собой сложный комплекс механических, физических и химических явлений, причем те или иные явления преобладают в зависимости от условий, при которых происходит процесс трения и видов применяемых смазок.

Обычно различают два основных вида трения: трение сухое (или трение несмазанных поверхностей) (рис. 1) и трение жидкостное (или трение смазанных поверхностей) (рис. 2). Кроме того, различают иногда еще два промежуточных вида трения: полусухое трение и полужидкостное трение.

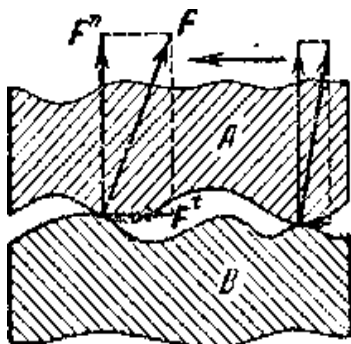


Рисунок 1 – Увеличенное изображение двух трущихся поверхностей

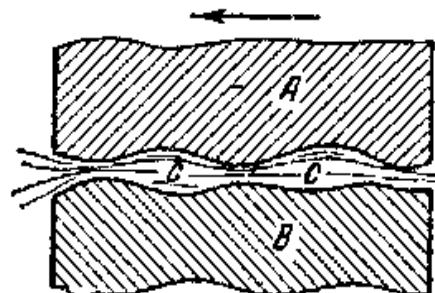


Рисунок 2 – Увеличенное изображение двух трущихся поверхностей, разделенных слоем смазки

Явление сухого трения может быть объяснено схематически следующим образом. Рассматривая под большим увеличением поверхности трущихся тел, можно обнаружить, что эти поверхности не абсолютно гладкие, а шероховатые и покрыты большим количеством неровностей [3, 5]. На рис. 1 схематически изображены трущиеся поверхности  $A$  и  $B$ . Если эти поверхности двигать друг относительно друга, то выступы одной поверхности будут задевать за выступы другой поверхности. Выступы будут деформироваться. Деформации эти могут быть упругими и неупругими в зависимости от величины нагрузки, приложенной к трущимся поверхностям, скорости относительного движения, различных физических свойств трущихся тел (упругость, характер поверхностей и т. д.).

Если в точках касания приложить опорные реакции  $F$ , направленные по нормали к элементарным площадкам соприкосновения (рис. 1), и разложить их на составляющие, перпендикулярные и параллельные направлению движения, то нормальные составляющие  $F^n$  будут уравниваться заданными нормальными нагрузками, а касательные составляющие  $F^t$  в сумме создадут некоторую силу сопротивления относительному перемещению поверхностей  $A$  и  $B$ . Эта сила сопротивления и является силой трения.

Если выступающие неровности поверхностей  $A$  и  $B$  непосредственно соприкасаются друг с другом, то такой вид трения называется *сухим трением*. Если же между поверхностями  $A$  и  $B$  имеется промежуточный слой смазки (рис. 2) и поверхности  $A$  и  $B$  непосредственно не соприкасаются, то такой вид трения называется *жидкостным трением*. Поэтому при жидкостном трении силами трения являются силы сопротивления сдвигу отдельных слоев смазки. Многие из различных явлений, которые имеют место при жидкостном трении, отсутствуют при сухом трении, и наоборот. Полусухим трением называют такой вид трения, при котором наиболее выступающие шероховатости не разделяются слоем смазки и приходят в непосредственное соприкосновение. Разница между полусухим и полужидкостным видами трения заключается главным образом в том, какой из основных видов трения преобладает.

Явления сухого и жидкостного трения по своей природе совершенно различны. Поэтому различны и методы учета сил трения в механизмах. В открытых зубчатых передачах наблюдается сухое трение; в подшипниках – жидкостное трение, переходящее иногда в полусухое или даже сухое трение (периоды пуска редукторов). В закрытых зубчатых передачах имеет место и трение качения и трение скольжения.

По видам относительного движения различают: трение скольжения – внешнее трение при относительном скольжении соприкасающихся тел и трение качения (сопротивление перекатыванию) – внешнее трение при относительном качении соприкасающихся тел [1, 4].

При рассмотрении относительного движения элементов звеньев, входящих в высшие пары, мы встречаемся не только со скольжением одного элемента относительно другого, но и с качением элементов друг по другу. В том случае, когда элементы звеньев являются центроидами или аксоидами, имеет место чистое качение элементов без скольжения; в том же случае, когда элементы

являются взаимоогibaемыми кривыми или эвольвентными поверхностями, имеет место качение и скольжение. Представим эвольвентное зацепление сопрягаемых цилиндрических зубчатых колес как пару с взаимоогibaемыми кривыми (рис. 3).

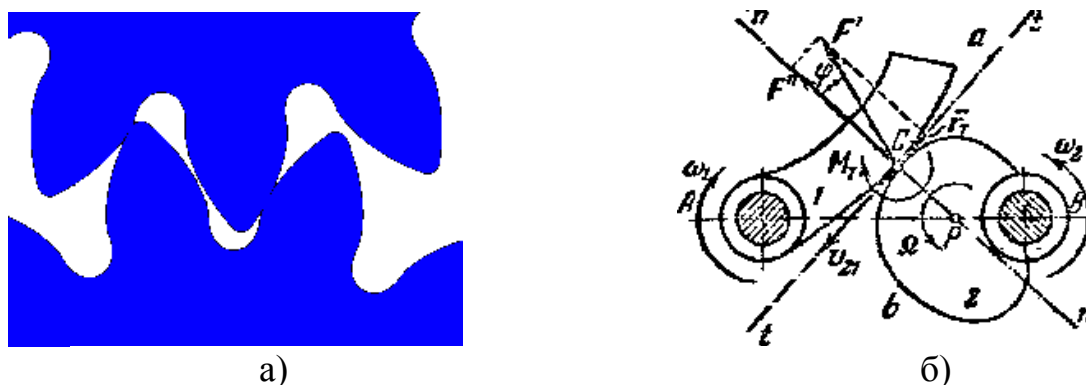


Рисунок 3 – Относительное движение элементов звеньев, входящих в высшие пары: а) – эвольвентное зацепление; б) – пара с взаимоогibaемыми кривыми

Пусть элементы  $a$  и  $b$  (рис. 3,б) высшей кинематической пары плоского механизма представляют собой две взаимоогibaемые кривые. Проведем нормаль  $n-n$  к профилям  $a$  и  $b$ . Эта нормаль проходит через точку  $C$  касания профилей и пересекает линию  $AB$ , соединяющую центры вращения  $A$  и  $B$ , в точке  $P$ . Точка  $P$  – мгновенный центр вращения в относительном движении звена  $A$  относительно звена  $B$ . Скорость  $v_{21}$  звена 2 относительно звена 1 будет скоростью скольжения, направленной вдоль касательной  $t-t$  и равной

$$v_{21} = |\Omega|(P_0C), \quad (1)$$

где  $\Omega$  – мгновенная угловая скорость в относительном движении, абсолютная величина которой равна

$$|\Omega| = |\omega_1| + |\omega_2|. \quad (2)$$

Полная реакция  $F'$  звена 2 на звено 1 приложена к точке касания  $C$  звеньев и отклонена от направления общей нормали на угол трения  $\psi$  в сторону, противоположную вектору относительной скорости скольжения  $v_{21}$ . Величина силы трения  $F_T$ , приложенной к звену 1, определяется по формуле

$$F_T = fF^n, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения.

Сопротивление, возникающее при перекачивании элементов пар друг по другу с угловой скоростью  $\Omega$ , может быть учтено введением момента трения качения  $M_C$  (рис. 3,б), направление которого противоположно угловой скорости  $\Omega$ .

Физические явления, вызывающие момент трения качения  $M_T$ , изучены мало, в технических расчетах пользуются в основном данными, полученными при экспериментах, проводимых над различными конкретными цилиндриче-

скими зубчатыми передачами шпиндельных бабок тяжелых токарных станков с ЧПУ, приводами суппортов, приводов машин.

Многочисленные эксперименты показывают, что сопротивление перекачиванию зависит от упругих свойств материалов, соприкасающихся эвольвентных поверхностей цилиндрических зубчатых колес, кривизны соприкасающихся поверхностей и величины прижимающей силы. На преодоление сопротивления при перекачивании зубчатых колес тратится работа. Работа эта расходуется на деформацию поверхностей касания [1, 5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гасанов М. І., Пермяков О. А., Шелковий О. М., Ключко О. О., Набока О. В., Охрименко О. А. Функціональний аналіз процесу експлуатації і пов'язані з ними проблеми відновлення експлуатаційних властивостей крупномодульних зубчастих коліс / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 р.): у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 43–44.

2. Ключко А.А., Анцыферова О.А., Камчатная-Степанова К.В. Влияние технологического воздействия на обеспечение эксплуатационных свойств тяжело нагруженных крупномодульных закаленных шевронных зубчатых колес / Информатика, управління та штучний інтелект. Тези шостої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – С. 50–51.

3. Ключко А. А. Технологическое основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко, А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС". – Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.: ил., табл.; - (Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю.М. Соломенцев). ISBN 978-5-906703-02-6.

4. Ключко А. А. Предпосылки исследования новых направлений комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес / А. А. Ключко, С. В. Рябченко, О. А. Анцыферова, Е. В. Перминов // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 29 червня - 01 липня 2017 року. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – Т. 4. – С. 346 – 347.

5. Шелковой А. Н., Пермяков А. А., Ключко А. А., Басова Е. В., Перминов Е. В. Глобальный метод повышения эффективности эксплуатации цилиндрических и конических зубчатых передач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 34 (1310) 2018. – С. 67–76. – ISSN 2079-004X.

## ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНІТОРЕЗОНАНСНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ

Особливий науковий інтерес представляє дослідження впливу на атомний і субатомний рівень матеріалів зразків, частинки яких піддаються вібраціям у сильному рівномірному магнітному полі на власних резонансних частотах з амплітудами нанометричного діапазону [1, 2, 3].

Дослідження використання рівномірного потоку магнітного поля, утвореного потужними постійними магнітами, виконано для впливу на об'єм матеріалу непереточувальних пластин ріжучого інструменту CNMG 120508E-M. Вплив рівномірного магнітного потоку ініційований в результаті резонансних коливань зразка, викликаних широкосмуговим впливом рівній амплітуди за допомогою генератора «білого шуму» і п'єзо випромінювача (рис. 1,а і рис. 1,б).

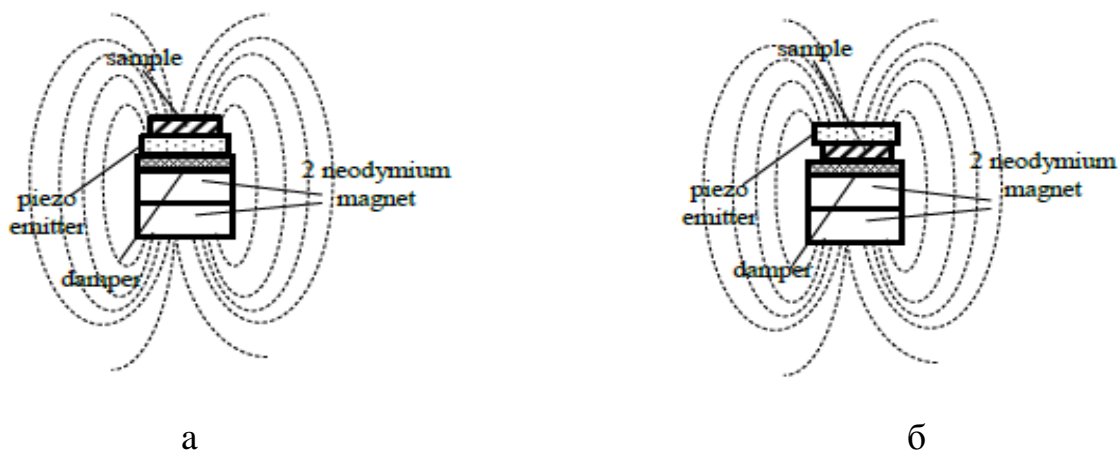


Рисунок 1 – Принципові схеми пристроїв для зміцнення зразків з верхнім (а) і нижнім (б) положенням зразка щодо п'єзовозбудівника

Додавання зразкам механічних коливань в рівномірному постійному магнітному полі дозволив досягти об'ємного зміцнення зразків від 150 НВ до 240 ÷ 250 НВ, тобто на 60 ÷ 65 % за 10 – 12 хвилин, що складає зміцнення зразків на 5 – 6 % за одну хвилину. Зразки твердого сплаву, поміщені в магнітне поле постійного магніту, піддані резонансним коливанням, викликаним широкосмуговим впливом постійної амплітуди – «білим шумом», змінюють твердість і досягають максимального значення вже після 10 хвилин магніторезонансної обробки.

Варіанти взаємного розташування елементів складання для експериментальних досліджень магніторезонансної обробки евтектоїдної сталі з хімічним складом: С = 0,8 %; Si = 0,15 %; Mn = 0,15 %; P = 0,012 %; S = 0,017 %;



Cr = 0,10 %; Al = 0,009 %; Cu = 0,10 %; можуть бути представлені ланцюжками: NM-PD-S-PV-NM (варіанти 1-3) і PD-S-PV-NM (варіант 4), де NM – неодимовий магніт; S – зразок; PV – п'єзоелемент як збудник вібрацій; PD – п'єзоелектричний датчик.

Порівняльна ефективність магніторезонансної обробки зразків за представленими схемами широкосмуговим п'єзоелектричним збудником потужністю до 5 Вт в магнітному полі постійного неодимового магніту показана на рис. 2.

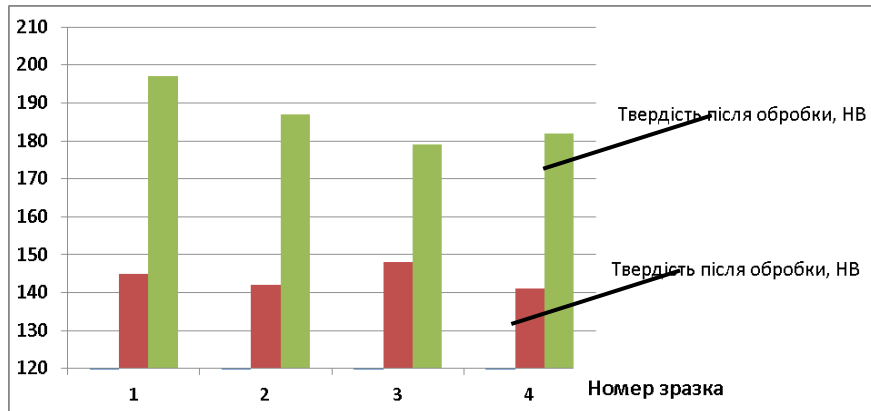


Рисунок 2 – Результати підвищення твердості матеріалів зразків для різних варіантів

Зразки 1-4, піддані резонансним коливанням і поміщені всередину рівномірного магнітного поля, створеного неодимовими магнітами, підвищили твердість матеріалу і після 30 хвилин стабілізують значення твердості.

Металографічні дослідження результатів розглянутого принципу зміцнення матеріалу можна ілюструвати рис. 3.

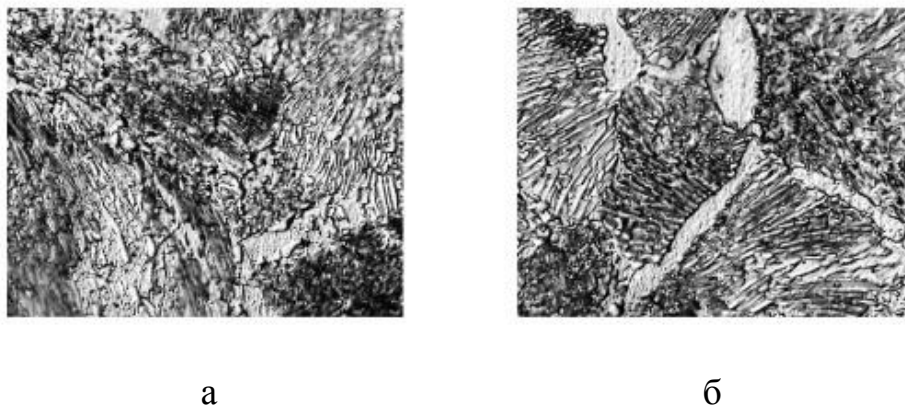


Рисунок 3 – Структура сталевих зразків: а – до магніторезонансної обробки, НВ = 145; б – після магніторезонансної обробки, НВ = 197

Фотографії структури отримані протравлюванням 4 % спиртовим розчином HNO. Межі зерен проявляються після протравлювання по розірваній ферритній сітці в поздовжньому напрямку. При цьому спостерігалось формування в обсязі матеріалу зразків сітки армуючого характеру з пластинчастого перлиту. Збільшення амплітуди коливань п'єзоелектричного резонатора і, отже, зразків призводить до зростання твердості матеріалу і тривалості досягнення встанов-

леного значення його твердості, проте характер таких змін носить екстремальний характер. Отримані результати дозволяють зробити висновок про перспективність магніторезонансної обробки для підвищення зносостійкості неперетачуваних пластин ріжучого інструменту, для підвищення довговічності елементів механічних деталей і конструкцій. Також, з'являється можливість розширити перелік технологічних впливів на робочі поверхні деталей машин поряд з поверхнево-пластичним деформуванням і термообробкою.

Висновки.

Найбільшій ефективності процес зміцнення може досягати при резонансних коливаннях зразків у рівномірному магнітному полі, що виникає в проміжку між двома сильними (неодимовими) магнітами.

Враховуючи схеми застосування такої обробки пропонується розглядати їх як варіанти магніторезонансної обробки матеріалів, що мають області екстремальних значень параметрів процесів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Патент 143057 Україна МПК В23Н 7/38 (2006.01). Спосіб зміни фізико-механічних властивостей зразків з магнітних та немагнітних матеріалів / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u202000120 ; заявл. 08.01.2020 ; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.

2. Kovalevskyy S. Vibration-pulse machining / S. Kovalevskyy, O. Kovalevska, P. Dasic // Нейромережні технології та їх застосування НМТіЗ-2020: збірник наукових праць ХІХ Міжнародної наукової конференції «Нейромережні технології та їх застосування НМТіЗ-2020» / за заг. ред. С. В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – С. 82–84.

3. Ковалевський С. В. Об'ємна обробка матеріалів в рівномірному магнітному полі / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська, І. Б. Боровой // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы международной научно-технической конференции, 23–25 сентября 2020 г. – Одесса : ОНПУ, 2020. – С. 80–85.

*Ковалевський С. В., Ковалевська О. С.*

*Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна*

## ІННОВАЦІЙНІ КОНЦЕПЦІЇ ВИРОБНИЦТВА І ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

Налаштування та постійна перебудова виробничої системи – це складні та трудомісткі процеси. Комплексна інженерна платформа підтримує виробництво інженерів у цьому процесі та суттєво зменшує виробництво. Інженерна платформа: від 3D-моделі продукту до кінцевої концепції виробництва. Промислове виробництво та експлуатація породжують велику кількість змінних, тому стає

зрозумілою величезна потреба в інтелектуальній системі, здатній приймати рішення з урахуванням всіх перерахованих факторів і на основі нечітких параметрів. Для створення цифрових двійників варто об'єднати такі технології, як системне моделювання на основі фізичних процесів і машинне навчання [1].

Комбінаторні процеси оптимізують планування виробництва і послідовності робіт в сталеливарній, алюмінієвої промисловості. Перевага цієї процедури полягає в усуненні конкуруючих цілей в сенсі всеосяжних стратегій з урахуванням специфікацій конкретного підприємства. Інноваційна діяльність на різних рівнях веде до різкого посилення інтенсифікації та швидкості взаємодії між її учасниками, а також до створення актуальних в певний момент часу для споживачів продуктів і послуг необхідної якості і в необхідній кількості, випереджаючи очікування клієнтів за рахунок використання можливостей штучного інтелекту. Це відкриває нові горизонти інноваційного розвитку продуктів, технологій, моделей організації виробництва, моделей експлуатації та споживань. Існує великий потенціал для їх використання в машинобудуванні, наприклад в «розумних виробництвах». До них відносять стрімкий розвиток технологій, таких як розумні мережі та системи управління, формування нових технологічних укладів, адитивні технології виробництва з використанням потенціалу штучного інтелекту. Сьогодні технологічний прогрес автоматизації рясніє областями, що стосуються фізичного обладнання та робототехніки до штучного інтелекту та програмного забезпечення. Роль систем штучного інтелекту в інноваційній діяльності в умовах множинності суб'єктів з різномірними системами визначення мети й мотивами поведінки, неточності і динамічності їх цілей і завдань вивчена недостатньо.

До факторів ефективності інноваційної діяльності на різних етапах її організації в виробничих системах в цифрову економіку, можна віднести [2, 3]:

- високий рівень розумової активності людей, що здійснюють творчий пошук, як правило, для задоволення особистої потреби в пошуку нових рішень, а не з метою комерціалізації;

- активне залучення колективного розуму в сферу генерації та реалізації інновацій, в тому числі за рахунок збору і аналізу великих даних;

- прискорення масштабів змін у виробничій діяльності підприємств за рахунок сетевізації виробничих процесів, формування системи підготовки та прояви інноваторів з числа суб'єктів в мережі, що володіють лідерськими якостями, готових рішуче змінювати виробничі системи з метою якісної зміни параметрів виробництва, як наслідок – професійна озлобленість окремих людей як фактор інноваційної активності компанії;

- використання відкритих гнучких моделей управління інноваційною діяльністю в мережевих виробничих системах, спрямованих на розвиток у учасників мережі навичок активних комунікацій, в тому числі в крос-культурному середовищі;

- розвиток некомерційного сектора, що створює соціально сприятливий клімат для розвитку інноваційної діяльності як всередині мережевої виробничої системи, так і поза мережею;

- стрімкий розвиток технологій, заснованих на використанні штучного інтелекту в мережевих виробничих системах; застосування здоров'язберігаючих технологій в системі організації праці і створення умов для розвитку людського капіталу мережевих виробничих систем на основі навчання протягом усього життя;

- формування в учасників мережі емоцій, пов'язаних з певними інноваціями, і управління цими емоціями; прагнення учасників інноваційної діяльності в мережі до краси та естетики при створенні нових продуктів і технологій.

Основні функції виробничих систем, зокрема – машинобудівних, спрямовані на вирішення наступних завдань [4]:

- прогнозування критично важливих несправностей, запобігання раптового виходу обладнання з ладу, техобслуговування станом, прогнозування ресурсу обладнання. Робота в важкодоступних місцях, на шкідливому хімічному виробництві, робота в умовах вічної мерзлоти або підвищеної радіації.

- діагностика обладнання в процесі експлуатації. Для цього необхідний аналіз великого обсягу даних для отримання інформації з систематично зібраних відомостей. Але в промисловості часто не вистачає отриманої інформації від реально діючих об'єктів, тому базу даних потрібно доповнювати результатами натурних і віртуальних експериментів, використовуючи технології інженерного аналізу на основі чисельного моделювання, проводячи регулярну калібрування для підвищення якості прогнозу.

- оптимізація режимів роботи обладнання і технологічних процесів Від правильно обраних режимів експлуатації виробу залежить скорочення позапланових простоїв і збільшення терміну служби обладнання і, як наслідок, підвищення якості продукції та зниження витрат підприємства в цілому. Допомогти оператору може система, яка підбирає найбільш оптимальні сценарії технологічних процесів і прогнозує відхилення в роботі обладнання на основі статистичних моделей та інженерного аналізу.

- обслуговування стану: предикативне технічне обслуговування і ремонт. Перехід на обслуговування за станом дозволяє збільшити термін служби устаткування і його міжремонтного періоду, а також виявляти дефекти за рахунок даних, що поставляються в режимі реального часу. Інформація про поточний стан вузлів і агрегатів і прогноз залишкового ресурсу дає можливість сформулювати рекомендації по обслуговуванню і ремонту устаткування, забезпечити своєчасну поставку запчастин.

- розпізнавання дефектів: комп'ютерний зір. Машинне зір як набір технологій, що дозволяє комп'ютерам не просто обробляти зображення як масив даних, а сприймати їх і інтерпретувати подібним до людини чином.

- безперервне виробництво Наприклад, при виплавці сталі необхідно накопичити історію, щоб передбачати вихідні характеристики по поточних умовах плавки. Або за допомогою машинного навчання визначити початковий склад сплаву і параметри плавки, щоб домогтися заданої якості. Це дозволить скоротити витрати сировини, оптимізувати склад елементів, передбачати якість вихідної продукції, оптимально управляти процесом виплавки. При цьому потрібно розуміти, що не може бути двох однакових плавок сталі.

- завдання машинного навчання – аналізувати величезну кількість параметрів, щоб оптимізувати склад і кількість вхідних елементів і параметрів експлуатації для отримання якості згідно з технічними вимогами з використанням нейронних мереж.

- гнучке управління енергоспоживанням для підвищення енергоефективності Технології машинного навчання дозволяють знизити час роботи обладнання в режимі підвищеної інтенсивності, скоротити надлишки складських запасів, своєчасно прогнозувати знос устаткування і залишковий ресурс, зменшити кількість відходів, а також знизити витрати споживання енергії за рахунок обліку стану зовнішнього середовища.

- прогнозування відмов обладнання і його превентивне технічне обслуговування, оптимізація планування поставок, виробничих процесів і прийняття фінансових рішень.

Поява мережевих виробничих систем пов'язано з якісною зміною виробничо-економічних відносин на основі трансформації уявлень про те, що виробництво – це сукупність і концентрація виробничих потужностей компанії і її персоналу, розміщених на певних територіальних ділянках, в уявлення про те, що майданчиком для розміщення та ефективного функціонування може бути інформаційний простір в мережі інтернет, яка здатна зв'язувати відокремлених і незалежних суб'єктів, які мають предметами і / або засобами праці в власності або на інших умовах, а також мають необхідні компетенції для виконання конкретних виробничих завдань на тимчасовій основі.

Характерною рисою сучасних мережевих виробничих систем є формування очікувань клієнтів за рахунок широкого використання можливостей штучного інтелекту в частині властивостей і функціоналу продуктів, моделей споживання продуктів.

Мережеві виробничі системи, як правило, мають значний запас збільшення інтенсивності потоку заявок, що забезпечується широким використанням інформаційних технологій, а також можливостей штучного інтелекту.

Особливістю мережевої виробничої системи є відкритість і відносно висока гнучкість, які забезпечуються переважно за рахунок використання цифрових технологій організації виробничих процесів в основних, допоміжних і обслуговуючих виробництвах. Це властивість дозволяє мережевий виробничої системі в режимі напівавтоматичного управління здійснювати створення актуальних в певний момент часу для споживачів продуктів і послуг необхідної якості і в необхідній кількості, випереджаючи очікування клієнтів, за рахунок використання можливостей штучного інтелекту.

Висновки. Вихід на нові сегменти передбачає трансформацію сукупності виробничих систем в мережеву виробничу систему за рахунок впровадження інновацій на основі використання таких цифрових технологій, як штучний інтелект, інтелектуальні транспортні системи, Big Data, фотоніка, системи на кристалі, інтернет речей, хмарні технології, телематика, проектування цифрових фабрик, сетецентричної системи та ін.

Розвиток і широке застосування штучного інтелекту в виробничих процесах, змінює звичне уявлення про функції людини. Відмова від концентрації «робочих місць» в офісних будівлях або виробничих цехах веде до того, що інтелектуальне й матеріальне виробництво переміститься в простір житлових приміщень будинків і квартир працівників.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Bengtsson J., Manufacturing Flexibility and Real Options – A Review, International Journal of Production Economics, Vol. 74, pp. 213-224.

2. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy A.G, Van Brussel H., Reconfigurable Manufacturing Systems, Annals of the CIRP, 1999, Vol. 48, No. 2, pp. 6-12.

3. Gola A., Świć A., Kramar V., A multiple-criteria approach to machine-tool selection for focused flexibility manufacturing systems, Management and Production Engineering Review (2011), Vol. 2, No. 4, pp. 21-32.

4. Świć A., Gola A., Economic Analysis of Casing Parts Production in a Flexible Manufacturing System, Actual Problems of Economics, No. 3 (141) 2013, pp. 526-533.

*Ковальчук А.Н., Дергоусов В.Н., Нежебовский В.В.  
Корум Свет шахтера, Харьков, Украина*

#### **ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В «КОРУМ СВЕТ ШАХТЕРА»**

В этом году один из старейших машиностроительных заводов Украины – Корум Свет шахтера отмечает 130-летие. За годы своего существования завод стал флагманом отечественного машиностроения, занявшим лидирующее положение в создании инновационного конкурентоспособного горно-шахтного оборудования и его продвижении на мировых рынках.

Рождение завода связано с именем Н. Ф. фон-Дитмара – инженера, предпринимателя, общественного и политического деятеля, ученого-экономиста.

Дата основания завода – 1891 год. В числе первого предприятия, с которого началась история завода, было слесарно-механическое «заведение». Позже Н. Ф. фон-Дитмар приобрел небольшой чугунно-меднолитейный и механический заводы. Продукция была довольно разнообразной, отвечала высокому по тому времени техническому уровню и пользовалась спросом со стороны шахт и рудников, промышленности и строительства: буровые инструменты, станки и вышки, шахтные подъемные лебедки и краны, шахтные и заводские вагонетки и тележки, транспортеры, паровые котлы, трубы, насосы, баки и т.д. Также изготавливалось чугунное и медное литье.

В 1915 году начался выпуск шахтерских бензиновых ламп «Вольфа», которые по своим характеристикам были более инновационными, чем ранее выпускаемые рудничные лампы, называемые шахтерами «Бог-помощь».

В период Первой мировой войны завод выполнял военные заказы, которые составляли 80 % всей продукции. Изготавливались корпуса бомб, снаряженные стаканы, понтоны. В 1918 году завод был национализирован.

После окончания гражданской войны и перехода к новой экономической политике, в 1922 году предприятию было присвоено имя «Свет шахтера». Это был единственный завод, который в то время продолжал выпускать лампы для шахтеров, а также осваивать новую продукцию: ручные лебедки, буровые инструменты, бетономешалки, паровые и водонапорные арматуры, кузнечные горны, чугунное и медное литье.

В период индустриализации роль завода была неопределимой в техническом перевооружении шахт и рудников. Расширялась номенклатура продукции. С 1927 года стали поставлять шахтам транспортные решетки. 1930-е годы стали периодом становления предприятия как крупного завода-изготовителя горношахтного оборудования и надежных и безопасных светильников.

В годы Второй мировой войны на заводе было организовано производство военной продукции: мины, снаряды, авиабомбы, бортовые фрикционные для танков, детали для реактивных минометов. Когда бои достигли западных окраин Харькова, завод эвакуировали в Сибирь – Кемеровскую область. В городе Прокопьевск организовано производство ламп и сопутствующего оборудования, а в Анжеро-Судженске – изготовление конвейеров и других изделий.

В послевоенные годы вновь созданный заводской коллектив начал восстанавливать завод, ремонтировать сохранившиеся цеха и устанавливать новое оборудование. Требовалось в кратчайшие сроки наладить производство горношахтного оборудования для возвращения к жизни шахт Донбасса. Этот период стал фундаментом быстрого развития завода: началось серийное производство скребковых и ленточных конвейеров, освоен выпуск погрузчиков типа «утиный нос», погрузочных машин, комбайнов для тонких пластов, безфундаментных толкателей вагонеток, мощных лебедок, которые делали труд шахтеров более производительным и безопасным. Выросло производство аккумуляторных светильников, стали изготавливать фары для комбайнов, электровозы. Также освоено массовое производство тяговых разборных цепей. Создавались новые цеха, службы. В 1954 году было организовано специальное конструкторское бюро, которое стало мощным стимулом для создания собственных конструкций машин и средств шахтного освещения. Развивалась сфера социальной инфраструктуры. На заводе была создана собственная медсанчасть. Был построен один из крупнейших в Харькове заводской Дом культуры.

На заводе устанавливали и вводили в действие новые станки и оборудование, которые открывали новые технологические возможности для предприятия. Началось массовое производство головных аккумуляторных светильников «Україна» и передвижных скребковых конвейеров, которые стали основным транспортным средством в очистных забоях шахт страны. Производились ком-

байны для нарезки новых лав. «Свет шахтера» стал флагманом отрасли горного машиностроения. Начиная с 1960-х годов, логотип завода стал известен более чем в 50-ти странах мира. Достигнутый на заводе уровень научно-технического и конструкторского-технологического обеспечения производства позволил реализовать ряд важных проектов, внося значимый вклад в развитие науки, техники и укрепления обороноспособности страны.

В 1980-е годы была утверждена специализация предприятия по выпуску преимущественно забойных скребковых конвейеров и головных аккумуляторных светильников. В 1990-е годы, в период кризиса угольной промышленности и падения добычи угля, снизился спрос на изделия завода, возникли трудности, однако завод сохранил кадровый, интеллектуальный потенциал и материальную базу. Выходом из положения стало укрепление связей с потребителями, личные встречи с шахтерами, что позволило предложить заказчикам ряд новых конструкторских решений согласно поступающим запросам. Это стало фундаментом создания оборудования нового технического уровня и освоением производства новой техники. Среди нового оборудования появились: серии конвейеров, струговые установки, скребковые конвейеры-перегрузжатели, дробильные устройства и пр. Были разработаны новые конструкции рештачного става, редуктора, конструкции гидромурфт. В светильниках стали применяться герметичные аккумуляторные батареи, галогенные лампы накаливания, сигнализаторы метана.

С 1994 по 1998 гг. на предприятии прошел процесс приватизации. В 2000-х годах состоялся переход от серийного производства конвейеров и перегружателей к изготовлению продукции с учетом индивидуальных требований заказчиков.

В 2012 году «Свет шахтера» стал частью компании «Горные машины», которая была в дальнейшем переименована в Cogim Group. В связи с ребрендингом управляющей компании завод получил новое имя – «Корум Свет шахтера».

В 2014 году, во время боевых действий на Востоке Украины, Компания потеряла контроль над тремя предприятиями. Все, что находилось в цехах и на складах, в том числе готовая продукция, – осталось на территории оккупированных заводов. Чтобы выйти из сложившейся ситуации, компания Cogim Group приняла решение освоить продукцию, которую выпускали на машиностроительном заводе в Горловке на площадке «Корум Свет шахтера». За три года было освоено производство проходческого комбайна КПД, очистных комбайнов КА200, КДК500, машины буропогрузочной БПР, уникального комплекса нарезного КНФ, не имеющего аналогов, а также трансформаторных подстанций типа КТПВ. В 2016 году изготовлен новый очистной комбайн CLS450 с современной инновационной системой управления для работы в сложных горно-геологических условиях с производительностью до 15 т/мин.

В 2017 году «Корум Свет шахтера» стал частью крупнейшего энергетического холдинга Украины ДТЭК Энерго.

В 2019 году завод изготовил новый проходческий комбайн среднетяжелого типа RH160 с устройством для анкерного крепления.

В 2020 году разработали и изготовили новый очистной комбайн CLS550P для отработки супертонких пластов от 0,85 м. Также в этом году завод выпу-



стиль флагман производства – механизированный забойный комплекс. В 2021 году впервые в Украине на «Корум Свет шахтера» стартует пилотный проект – 5G "Smart Factory.

Харьковский машиностроительный завод «Корум Свет шахтера» – это успешное, развивающееся предприятие по производству горно-шахтного оборудования в Украине. Работает в условиях жесткой рыночной конкуренции со стороны производителей Англии, Германии, Чехии, Польши, Китая и стран СНГ. Основными потребителями продукции являются предприятия горнодобывающих отраслей Украины, Казахстана, Беларуси, Польши, Эстонии и др.

«Корум Свет шахтера» входит в десятку крупных предприятий Харьковской области и является современным, инновационным предприятием по разработке и внедрению новой техники и прогрессивных технологий, повышению технического уровня собственного производства и улучшения качества выпускаемой продукции. Харьковский машиностроительный завод – социальное ответственное и надежное предприятие, которое разделяет ценности общества, трансформируется, инвестируя в развитие. Постоянно внедряет новые практики и современные технологии, обеспечивая энергонезависимость страны. Так, для обработки тяжелых узлов свыше 10 т заводом приобретен и сдан в эксплуатацию станок – горизонтально-расточной обрабатывающий центр с грузоподъемностью стола 20 т и длиной обработки до 5 метров (чешского производства WHQ 13).

*Коряк О.С., Баланюк Г.В.*

Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОРІЗЦЕВОГО ТОНКОГО РОЗТОЧУВАННЯ СТУПІНЧАСТИХ ОТВОРІВ**

Концентрація і суміщення операцій є ефективним ресурсом в підвищенні точності і продуктивності тонкого розточування. Одним з найважливіших завдань технології машинобудування, як зазначено в роботі [1], є широке впровадження в технологічні процеси механічної обробки багаторізцевих інструментальних налагоджень. При цьому полегшується планування виробничого процесу, зменшуються виробничі площі та кількість операцій. Крім того, лезова обробка при одній установці деталі характеризується підвищенням точності. Відомо, що ефективність технологічного процесу багато в чому визначається ступенем концентрації операції. Сказане вище повною мірою відноситься до операції тонкого розточування багаторізцевими ступінчастими борштангами.

Аналіз публікацій по впровадженню в технологічні операції багато різцевої та багатощпіндельної обробки виявляє, що за рахунок обробки з однієї установки зменшуються накопичені похибки по розкиду діаметральні розмірів, по

відхиленню від співвісності отворів, по ексцентриситету діаметрів тощо., та призводить до можливості зменшення припусків на обробку. При багаторізцевому тонкому розточуванні для застосування методу концентрації операції слід проектувати і виготовляти спеціальні консольні борштанги або багаторізцеві різцеві головки, що забезпечують прецизійну і фінішну обробку отворів. Обговорюючи результати по багаторізцевому тонкому розточуванні, опубліковані в технічній літературі, можна відзначити, що не дивлячись на актуальність обговорюваної проблеми кількість публікацій не велика і в більшій мірі обмежено питаннями пов'язаними з конструкцією багаторізцевих розточувальних головок (або спеціальних борштанг) [2,3,4,5]. У розточувальних голівках різці розташовуються або за схемою розподілу глибини різання, або за схемою розподілу подачі. При багаторізцевому розточуванні також забезпечується прямолінійність осі оброблюваного отвору і висока точність його положення щодо бази. Точність діаметральних розмірів при чорновому розточуванні відповідає 11-12 квалітетами, а при чистовому 9-10 квалітетами [6]. Розточувальні головки дозволяють регулювати виліт різця і знімати великий нерівномірний припуск. Разом з тим для підвищення точності розточування при проектуванні розточувальних головок слід врахувати необхідність їх високої збалансованості. У роботах відзначається, що при визначенні конструкторських і технологічних параметрів багаторізцевих різцевих головок відсутній єдиний підхід, а діючі рекомендації, що визначають їх значення, часто є суперечливими.

Порівняно невелика кількість робіт пов'язано з дослідження показань точності і шорсткості при багаторізцевому точінні і розточуванні. Похибки обробки при багаторізцевому точінні досліджені в роботах [7,8]. У цих роботах досліджено вплив жорсткості пружної системи на похибки обробки, причому переміщення розраховуються розрахунково-аналітичним методом, динаміка процесу різання враховується введенням спеціальних коефіцієнтів – коефіцієнтів впливу. До джерел динамічної похибки відносять: кількість і розташування різців, вплив послідовностей вривання і виходу різців, конструктивні особливості технологічної системи.

У зв'язку з цим слід зазначити, що деякі особливості розточування двох і триступневих отворів лише згадані або взагалі не розглянуті. Так, зокрема, не розглянуті особливості формування динамічних похибок при зміні діаметрів і довжин ступенів борштанги. Не вивчені закономірності зміни амплітуд вимушених коливань, вплив зміни жорсткостей, власних частот і масо-геометричних характеристик борштанг на статичні і динамічні похибки. Наведені результати похибок від відхилення від округлості, попередньої овальними і від зміцнювальної жорсткості різця по куту повороту не систематизовані і недостатні для аналізу взаємного впливу різців. Для вирішення вказаних проблем на кафедрі технологія машинобудування інтенсивно проводяться наукові дослідження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Суслов А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский - М.: Машиностроение, 2002. - 684 с.

2. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні параметри багато різцевих розточувальних головок з радіусними вершинами різців. / П. Д. Кривий, В. В. Крупа. // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". – Луцьк. – Випуск №33. – 2011. – с. 92 -99.

3. Кривий П. Д. Прогресивна дворізцева адаптивна розточувальна головка / П.Д. Кривий, В.О. Дзюра // ВІСНИК ЖДТУ. Серія технічні науки. – 2016. – Вип. №3. – С. 20-27.

4. Кирсанов С.В. Инструменты для обработки точных отверстий / С.В. Кирсанов, В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе, В.И. Кокарев. – М.: Машиностроение, 2005. – 336 с.

5. Карпусь В.Е. Эффективное растачивание основных отверстий двухрезцовой оправкой / В.Е. Карпусь, Д.А. Миненко // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». –2009.–Вип. 76.–С 63-66.

6. Боярский В.Г. Об особенностях растачивания отверстий большого диаметра многорезцовой головкой / В.Г. Боярский, М.Р. Сихимбаев, К.Т. Шеров, В.Ф. Макеевич // Международный журнал экспериментального образования. – Пенза. – 2012. №12-1. - С.33-35.

7. Джигурян Т.Г. Прецизионное растачивание ступенчатых отверстий. / Т.Г. Джигурян, А.П. Пупин, А.В. Собакин. // СТИН. – М., 1994. - №3. – с. 26-27.

8. Калистру В.А. Методика прогнозирования отклонений точности формы отверстий тонкостенных корпусных деталей / В.А. Калистру, А.М. Фирсу // Актуальные проблемы в машиностроении. – Новосибирск – 2016. – Вып. 3. – с. 117-122.

9. Луців І.В. Формування шорсткості і хвилястості поверхні при багатолезовій адаптивній обробці / І.В. Луців // Вісник ТДТУ. – 1999. – Том 4. – № 3. – С. 135-138.

*Кремнев Г.П.,*  
Государственный университет «Одесская политехника»,  
Одесса, Украина.

### **НАМ УЖЕ ЗА 60!**

Совсем недавно Политех отметил свое 100-летие со дня основания и почти две трети времени его деятельности, вместе с ним шли и пока еще идут его ученики! В 1961 году тогда еще механико-технологический факультет выпустил около сотни инженеров-механиков, технологов и сорок инженеров-литейщиков, которые разъехались по всей стране.

В Украине – в Киев, Днепр, Харьков, Запорожье, Новую Каховку; в России - в Москву, Новосибирск; в Молдову – в Кишинёв, Тирасполь; в Беларуси - в Миснике; в Латвии – Рига; Казахстан, Узбекистан.

Они трудились на самых ответственных рабочих местах и на самых современных предприятиях: выпускали, проектировали космическую технику (Днепр, Южмаш), атомные подлодки (Северодвинск), станки с ЧПУ и обрабатывающие центры и грузовые автомобили (Харьков, Кишинёв), и приборы (Кишинёв, Тирасполь, Киев) и многое другое.

Это они закладывали тот фундамент, на котором уже 30 лет стоят самостоятельные государства такие как Украина, Россия, и другие.

Автор этих строк вместе с главным инженером завода в г. Кимры нашим выпускником Шестаком Ю. стояли в 1989 году около чудо-станка (ОЦ с ЧПУ), на столе которого стоял корпус космического корабля «Буран», и его обрабатывали.

Два других корпуса №2 и №3 диаметром более 7м и высотой за 10м, уже летали в космос в виде готовых челноков-кораблей.

Гордость и восхищение за труд инженеров-механиков, в том числе и политехников из Одессы, был у нас во время этого осмотра и это только один из примеров того, что могли делать и делали политехники – выпускники МТФ!

Ряд выпускников достиг высоких результатов: Гловацкий стал министром электротехнической промышленности; Шаравский В., Шнорупеев В., Черняк Ж., Бондаренко А., Шестак Ю., Наконечный С., Яценко Э., и ряд других – директорами, главными инженерами заводов и начальниками КБ! Кремнев Г., Кутяков В., Лебедев В., Кособудский В., Грищук Н., Винниченко И. и др. защитили кандидатские докторские диссертации и стали известными учеными в области машиностроения. Глазков В. стал комсомольским работником в ЦК ВЛКСМ, а затем дипломатом в Непале и Австрии.

С политехническим институтом связали свою дальнейшую судьбу после работы на предприятиях Кремнев Г., Кутяков В., Лебедев В. (кафедра технологии машиностроения),

Буртковский И. (кафедра деталей машин), Грищук Н. (кафедра литейных машин), Бондаренко Л., Щеметюк В. (автодорожный техникум), Осадчий А., Футорянская Э. (опытный завод), а некоторые из них до сегодня ещё продолжают учить студентов, готовить аспирантов, вести научную работу, писать книги, статьи, участвовать в международных конференциях (Кремнев Г., Лебедев В.), охранять университет (Осадчий А.).

Считаю, что 60 лет назад политех, выдал на-гора очень высококачественный продукт- своих выпускников, которые несли и ещё несут его имя и оставили свой след в истории института, страны в целом.

Хотелось бы вспомнить каждого из моих товарищей и друзей, и я сделаю это в день юбилея, и отдать должное их памяти, а тем, кто остался сегодня с нами, а таких людей, но очень осторожным подсчетам, ещё около 25 человек, пожелать здоровья, а если ещё могут, то успехов во всех их делах и начинаниях, и свершениях.

С 60-летием, выпускники МТФ 1961!

*Крайнюк О. В.*  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
Харків, Україна  
*Буц Ю. В.*  
Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна  
*Барбашин В. В.*  
Харківський національний університет міського господарства  
ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна  
*Лоцман П. І.*  
Харківський національний педагогічний університет  
ім. Г.С. Сковороди, Харків, Україна

## **ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

Перспективним напрямком переробки пластикових відходів є використання їх у дорожньому покритті при будівництві та ремонті автомобільних доріг. Введення в бітумний склад полімерних відходів сприяє ресурсозбереженню, вирішенню екологічних проблем, одночасно таке покриття відрізняється хорошими технологічними характеристиками [1].

Зростаюча інтенсивність руху вимагає залучення у дорожню галузь великих капіталовкладень, що сприяє збільшенню обсягів будівництва та ремонту автодоріг, підвищенню вимог до транспортно-експлуатаційних показників асфальтобетонних покриттів. Наприклад, для зведення 1 км автомобільної дороги потрібно в залежності від регіональних умов і категорії дорожнього полотна 1,2 ... 4,5 тис. тон асфальтобетону.

Витрати на оновлення доріг у 2020 році склали 82 млрд грн. Державне агентство автомобільних доріг «Укравтодор» за підсумками року виконало план оновлення та будівництва доріг на 97 %, завершивши роботи на 4056 км доріг [2]. Не складно підрахувати, що кілометр дороги коштує державі понад 20 млн.

Проблему збільшення довговічності автодоріг, запобігання проявам деформації, а також для підвищення транспортно-експлуатаційних показників дорожнього полотна ефективно можна вирішити технологією модифікування асфальтобетонних композицій.

Економічним і технологічним способом поліпшення характеристик асфальтобетонних покриттів автодоріг є додавання полімерів в дорожній бітум [3]. Ресурсозбереження реалізується за рахунок утилізації вторинних полімерів (перероблених пластикових відходів), що веде до підвищення гідрофобності і зносостійкості асфальтобетонного полотна [4].

Отримання дорожніх покриттів з високими експлуатаційними і техніко-економічними характеристиками реалізується шляхом розробки інноваційних

підходів цифрового управління автодорожнім обладнанням. Сервісне обслуговування та експлуатація технологічних автодорожніх машин вимагає організації сертифікації та ліцензування автодорожніх транспортних систем [5].

Перспективним методом підвищення якості дорожнього покриття з додаванням макромолекулярних матеріалів на базі полімерних відходів є термомеханічна обробка кремнійорганічними і хлорорганічними сполуками. Цей спосіб дозволяє конструювати дорожнє полотно з додаванням вторинних макромолекул з підвищеною водо- і зносостійкістю, еластичністю, стійкістю до біокорозії.

Формування регулярної наноструктури і адгезійної взаємодії макромолекул дозволяє значно посилити комплекс фізико-механічних (ударна в'язкість збільшується в 1,5 рази) асфальтобетонних композитів і експлуатаційних характеристик (водо-, теплостійкість), зберігати їх при підвищених і (або) знижених температурах.

Найважливішим компонентом асфальтобетону при будівництві дорожніх покриттів є бітумне в'язуче: проте в сучасних умовах інтенсивної експлуатації автодоріг, традиційний нафтовий бітум демонструє недоліки. Тому якість бітумного в'язучого збільшують за допомогою добавок, що модифікують, які за рахунок просторового розташування функціонально-активних компонентів дозволяють формувати тривимірний нанокаркас на основі термопластів, бутадієн-стирольних термоеластоластів.

При додаванні вторинних полімерів модифікована асфальтобетонна композиція стає міцнішою на 27 %, а також термін експлуатації дорожнього покриття збільшується в 1,5 рази [1].

Гумова крихта (4 ... 9 % по масі) дозволяє збільшити зносостійкість і тріщиностійкість полімерно-асфальтобетонної композиції на 25 %, а також удвічі підвищує зчеплення автомобільних коліс з дорожнім полотном. Модифікована асфальтобетонна водонепроникна композиція стає міцнішою на 25 ... 35 %, а термін експлуатації дорожнього полотна збільшується [1]. Експлуатаційна працездатність бітумних в'язучих, модифікованих полімерами, дозволяє зберігати міцність і еластичність при низьких і високих температурах, чинити опір до руйнування під впливом вантажного автотранспорту. Інноваційна технологія обробки ґрунтової основи автодоріг вторинними полімерними стабілізаторами підсилює міцність і може витримувати без руйнування дуже високі навантаження.

Таким чином, ефективно залучення в технологічний процес виготовлення затребуваних асфальтобетонних композицій з поліпшеними фізико-механічними характеристиками автодорожніх покриттів реалізується комплексною утилізацією перероблених макромолекулярних відходів.

Використання в якості модифікатора бітуму полімерних відходів дозволить вирішити екологічну проблему засмічення навколишнього середовища цими відходами, так як викинуті на звалища або закопані пластикові відходи, пляшки, одноразовий посуд, харчові плівки розкладаються в природних умовах не менше 100 років. Їх контакт з дощовими опадами та ґрунтовими водами су-

проводжується вимиванням ряду токсичних органічних сполук (дифеніламин, дибутилфталат, фенантрен), вогненебезпечні (в разі загоряння, погасити їх досить складно), при складуванні вони є місцем розмноження гризунів, комах і служать джерелом інфекційних захворювань.

Таким чином використання пластикових відходів у дорожньому будівництві ефективно вирішує екологічні проблеми.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Халиков Р. М., Иванова О. В., Короткова Л. Н., Салов А. С. Эффективное использование в конструировании дорожных покрытий автодорог рециклированных полимерных отходов // The Scientific Heritage. 2021. №68-1. С. 62-65.

2. Колісніченко Вадим. «Укравтодор» у 2020 році виконав план ремонту й будівництва доріг на 97 % / GMK center, 21 січня 2021.– URL: <https://gmk.center/ua/>

3. Karmakar S., Roy T.K. Effect of waste plastic and waste tires ash on mechanical behavior of bitumen // Journal of Materials in Civil Engineering. 2016. P.04016006.

4. Ivanov L., Khalikov K., Ivanova O. et al. Innovative creation trends of biodegradable packaging composites // The scientific heritage. 2020. No.48-1. P.51-54.

5. Иванова О. В., Халиков Р. М., Салов А. С. Технологичное управление оборудованием для 3D-аддитивной печати строительных нанокмозитов // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13. № 2. С. 117–123.

*Лавріненко В. І., Скрябін В. В., Скрябін В. О.*  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,  
Київ, Україна

## **CVD-АЛМАЗИ НА СВІТОВОМУ РИНКУ: МОНОКРИСТАЛІЧНІ І ПОЛІКРИСТАЛІЧНІ CVD-АЛМАЗИ ТА CVD-АЛМАЗНІ ПЛІВКИ**

CVD (Chemical Vapour Deposition) – одна з нових технологій лабораторного отримання алмазних продуктів шляхом хімічного осадження з парової фази. CVD-алмаз виготовляється методом газозфазного синтезу, при якому у вакуумній камері при температурі від 2000 до 3000 °С з робочої газоподібної суміші метану і водню алмаз осаджується на спеціально підготовленій підкладці із формуванням алмазної структури. Алмаз, нанесений методом CVD, є перспективним матеріалом для виготовлення інструментів для мікрорізання завдяки своїм: високій твердості, модулю Юнга і ізотропним характеристикам. За

даними [1] високоякісний CVD-алмаз може мати теплопровідність, яка не поступається теплопровідності високочистих натуральних алмазів і може досягати рівня  $\approx 2000$  Вт/(м·К) (для природного алмаза  $\lambda=900\text{--}2300$  Вт/(м·К)). За даними [2] нині при прийнятних витратах можливо забезпечити теплопровідність CVD-алмаза в межах  $\lambda=1000\text{--}1200$  Вт/(м·К). Такі алмази практично не містять домішки і забезпечують результати, практично аналогічні природним алмазам [2].

Частка алмазів, що є лабораторно-вирощеними, за даними **The Global Diamond Report 2019** ([bain.com/bain\\_report\\_global\\_diamond\\_report\\_2019.pdf](https://www.bain.com/bain_report_global_diamond_report_2019.pdf)) останнім часом зростає і, за прогнозами, складе десять відсотків алмазного ринку в усьому світі до 2030 року. За станом на 2019 рік, Китай є найбільшим в світі виробником і його частка складає 56 % світового виробництва. Частка Індії, яка є другим виробником алмазів в світі, складає 15 % лабораторних алмазів. Сполучені Штати Америки займають третє місце з 13 відсотками. За споживанням найбільший ринок є у США (80 % від загального споживання). **У відповідності до The Global Diamond Report 2019** річне зростання виробництва складає 15–20 % із збільшенням акценту на масу алмазів  $\geq 1$  карат, та білі, досконалі і оброблені мінерали.

Існують (<https://www.statista.com/topics/7108/lab-grown-diamond-industry>) два основних методи виробництва лабораторно-вирощених алмазів: при високих тисках і температурах (HPHT) та хімічному осадженні (CVD). Прогнозується, що до 2024 року загальний випуск алмазів за методом CVD складе 16,5 млрд. доларів США. При цьому, випуск алмазів за методом HPHT складе 11,7 млрд. доларів США.

Вважається, що останній метод є менш популярним, аніж алмази, отримані методом CVD, тому що він зазвичай дає жовті або коричневі алмази, які мають меншу економічну цінність.

У глобальному звіті «**CVD Diamond Market**» (<https://www.industryresearch.co/enquiry/request-sample/16690639>) досліджений ринок саме CVD-алмазів. В залежності від типу світовий ринок CVD-алмазів поділений на монокристалічні і полікристалічні сегменти. Сегмент монокристалічних CVD-алмазів зайняв найбільшу частку ринку – 66,42 %. За прогнозами до 2026 року обсяг світового ринку CVD-алмазів досягне 568,9 млн. доларів США, у порівнянні із 364,8 млн. доларів США у 2020 році при середньорічному темпі зростання 7,7 % в період з 2021 по 2026 рік.

Для порівняння наведемо дані ще з декількох джерел. Так, за даними [www.360marketupdates.com/enquiry/request-sample/15950750](https://www.360marketupdates.com/enquiry/request-sample/15950750) сегмент необроблених CVD-алмазів має більшу частку на ринку, а сегмент полірованих CVD-алмазів має частку ринка біля 47 %, як за виручкою, так і за обсягом, завдяки збільшенню їх застосування у ювелірній промисловості. Полірований CVD-алмаз високої якості вартує на 30–40 % менше, аніж добутий природний алмаз. Світовий ринок CVD-алмазів у 2019 році склав 353,2 млн. доларів США і очікується, що до кінця 2026 року він досягає 585,4 млн. доларів США, а середньорічний темп приросту складе 7,4% протягом 2021–2026 років.



Джерело [www.wiseguyreports.com/sample-request/5031536-global-cvd-diamond-market-growth-2020-2025](http://www.wiseguyreports.com/sample-request/5031536-global-cvd-diamond-market-growth-2020-2025) вказує, що протягом наступних п'яти років ринок CVD-алмазів буде мати середньорічний темп зростання виручки 7,7 %, а обсяг світового ринку досягне 464,5 млн. доларів до 2025 року у порівнянні з 345,5 млн. доларів США у 2019 році.

Згідно іншому дослідженню [absolutenewsjournal.com/703219/cvd-diamond-market-2020-share-size-growth-opportunities-analysis-and-forecasts-report-2020-2024](http://absolutenewsjournal.com/703219/cvd-diamond-market-2020-share-size-growth-opportunities-analysis-and-forecasts-report-2020-2024) протягом наступних п'яти років ринок CVD-Diamond буде мати середньорічний темп зростання виручки – 7,2 %, обсяг світового ринку досягне 460 млн. доларів США до 2024 року у порівнянні із 300 млн. доларами США у 2019 році.

Наведене вище вказує на те, що оцінки різних джерел майже співпадають і ринок CVD-алмазів буде істотно зростати протягом наступних років.

CVD-алмази розділяються на три основних групи: монокристалічні CVD-алмази, CVD-алмазні покриття та полікристалічні CVD-алмази.

**Монокристалічний CVD-алмаз** тепер доступний для різних областей застосування від електроніки та оптики до різальних інструментів. Цей метод дозволяє мати точний контроль щільності точкових дефектів у зростаючому кристалі, дозволяючи отримати високу чистоту алмазу, легованого бором. Виявлено, що у них надзвичайно низькі концентрації точкових дефектів [3].

**Полікристалічний, CVD-алмаз** має ту перевагу, що доступний у великих плоских пластинах. Встановлено [4], що твердість пластини CVD при бічною орієнтацією складає 88–92 ГПа, а при орієнтації зародковою стороною – 102–112 ГПа. Вихідна твердість пластини CVD-алмаза, виміряна на зародковій стороні (до спікання) склала 77 ГПа, тобто, твердість CVD-алмаза після спікання в алмазному шарі за умов НРНТ збільшилася на 32–45 %. Твердість алмазного полікристалічного шару склала 51–60 ГПа, тріщиностійкість – 9–10 МПа·м<sup>1/2</sup>.

Як відомо [5], колір зразків CVD алмаза визначається мірою їх чистоти і структурної довершеності, що залежать від умов отримання. Так званий «чорний алмаз» є полікристалічним CVD алмазом із високим вмістом структурних дефектів (мікродвійники, дислокації, нанометрові аморфізовані домени), що викликають у ньому сильне оптичне поглинання. Вкажемо, що саме такі полікристалічні алмази у вигляді стовпчастих пластин і можливо застосовувати в алмазному правлячому інструменті.

Переваги таких пластин: висока зносостійкість до сколів та руйнування, рівномірна зносостійкість по всій довжині пластини, ефективність, незалежна від орієнтації матеріалу, гарна термостійкість, алмаз без зв'язуючого.

CVD-алмазні плівки. За даними Diamond Coatings Market by Technology обсяг ринку алмазних покриттів свого часу (у 2017 році) оцінювався у 1,76 млрд. доларів США, а до 2022 року прогнозується на рівні 2,56 млрд. доларів США при середньорічному темпі зростання у 7,8% протягом цього періоду. Зростання ринку алмазних покриттів обумовлене підвищенням попиту на ме-

дичні пристрої з алмазним покриттям, металорізальні інструменти, механічне і електронне обладнання на зростаючих ринках Європи і Північної Америки.

Попит на ці покриття також підвищується у країнах із зростаючою економікою, таких як Індія, Китай, Таїланд, Індонезія, Бразилія і Аргентина (<https://www.market-sandmarkets.com/Market-Reports/diamond-coating-market-255400901.html>)

У повідомленні [16] досліджувалися трибологічні властивості нанокристалічних алмазних (NCD), мікрокристалічних алмазних (MCD) та легованих бором CVD-алмазних плівок, нанесених на титановий сплав (Ti-6Al-4V). Використовували мікротрибометр «куля на диску» і диски з покриттям ковзали відносно куль з оксиду алюмінію з нормальним навантаженням від 1 до 10 Н. Легований бором зразок диску з NCD-покриттям мав найнижчий середній коефіцієнт тертя  $\mu 0,0804$ , тоді як нелеговані диски з покриттям NCD і MCD мали середні коефіцієнти тертя  $\mu 0,143$  і  $\mu 0,253$  відповідно. Дослідження за допомогою раманівської спектроскопії виявили, що у першому випадку залишкові напруження були за природою розтягуючими, тоді як залишкові напруження в нелегованих NCD і MCD виявилися стискаючими.

В цілому, для абразивного застосування краще застосовувати монокристалічні CVD-алмази, леговані бором, які мають найвищу твердість і абразивність. Разом з тим, полікристалічні CVD-алмази мають найвищий модуль пружності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. E. Uhlmann; E. Wörner; M. Brücher. Leistungsfähigere Zerspanprozesse durch die wärmespreizende Wirkung von CVD-Diamant [http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002\\_2/07\\_art/art07\\_2\\_02.htm](http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002_2/07_art/art07_2_02.htm).

2. P. K. Sen. Synthetische Diamant-Abrichtrohlinge für den zukünftigen Industriebedarf. [http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002\\_2/16\\_art/art16\\_2\\_02.htm](http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm).

3. Review of recent large single crystal HPHT & CVD diamond synthesis developments / Ray Spits / [www.diamondatwork.com](http://www.diamondatwork.com) – 2<sup>nd</sup> International Industrial Diamond Conference: 19–20 April, 2007, Rome, Italy.

4. Гибридная алмазно-твердосплавная пластина / А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, Л. И. Александрова, В. Г. Гаргин, А. С. Осипов, Л. Ф. Стасюк, А. П. Загора, Р. К. Богданов, Г. Д. Ильницкая, М. В. Супрун, В. Н. Ткач, Н. А. Русинова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 17. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2014. – С. 232–240.

5. Ralchenko V., Nistor L., Pleuler E. at al. Structure and properties of high-temperature annealed CVD diamond // Diamond Relat. Mater. 2003. 12, N 10-11. P. 1964–1970.

6. Din S.H., Shah M.A., Sheikh N.A. Tribological performance of titanium alloy Ti-6Al-4V via CVD-diamond coatings // Сверхтвердые материалы. 2018. № 1. С. 37–52.

## LINEAR ELECTRIC MOTOR FOR ADAPTIVE CUTTING AND GRINDING

This article provides a theoretical justification of a linear electromotor (as a part of motorspindle), which is used for adaptive cutting and grinding as well as for similar drilling and milling applications [1]. The electromotor can be used universally and play an important role in increasing efficiency and productivity, for example through automation in cutting and grinding [2].

The linear electromotor 1 has a cylindrical housing 11 made of a ferromagnetic material (magnetic), in which a magnetic circuit 12 is fixed (Fig. 1); it has an field winding 13 which is powered by a separate adjustable power source 14 for creating a magnetic flux (shown by the arrows in Fig. 1).

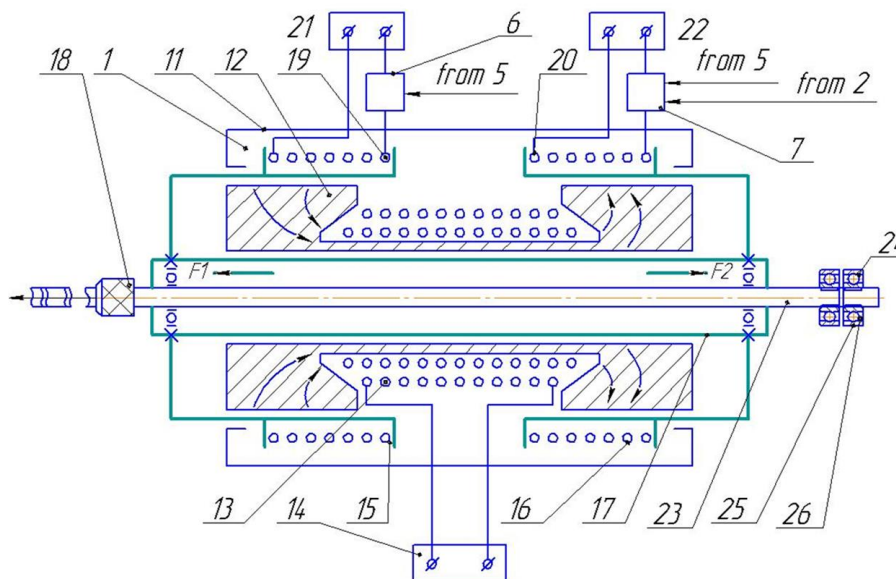


Figure 1 – Principal scheme of the experimental mechatronic head linear electromotor

Two electric armatures with windings 15 and 16 are located on the motor magnetic circuit. These armatures have the possibility of linear movements along the axis of the magnetic circuit. They are rigidly connected to the body 17 of the tool head 18, the spindle of which receives rotational motion from the motor 3 (Fig. 1), and reciprocating motion – from the armatures 15 and 16.

The armature windings 19 and 20 receive power from blocks 6 and 7, respectively, which are powered from DC sources 21 and 22. Block 6 receives a program for changing the current from the computer. The unit 7 is controlled by computer

commands additionally responds to signals from the linear motion sensor of the coupling 2 (not shown).

Both windings 19 and 20 are switched on in such a way that when a current passes through them, oppositely directed forces arise which act on the body 17 of the tool head and create reciprocating motion to it. The magnitude of these forces ( $F_1$  and  $F_2$  in Fig. 1) will be determined below. Thus, the resulting force of two forces  $F_1$  and  $F_2$ , which act simultaneously on the body of the tool head, creates to this head a movement in one direction or another in accordance with the computer commands and the algorithm of functioning as a whole.

This design of the linear motor with two electric armatures which are creating opposite forces allows performing fast-flowing processes during reciprocating movements of solids in space without changing the direction of electric current through the linear motor windings.

Let's consider the theoretical substitution schemes of the real motor design in order to determine the magnitude of the electromagnetic force  $F_1$  and the electrodynamic force  $F_2$ .

A magnetic core with magnetic permeability  $\mu_a$  is pushing into the solenoid, the area of the circular cross-section of which is  $S$ , the length  $l_s$ , having  $n$  turns per one meter of length [3]. Let's find the force acting on the magnet core, neglecting the edge effects, if a current  $I$  flows through the solenoid field winding (Fig. 2).

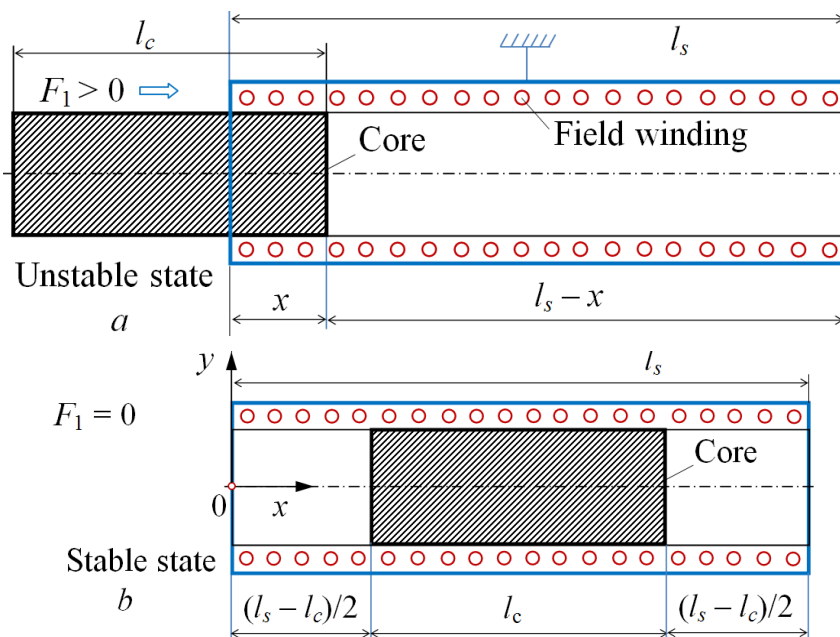


Figure 2 – Magnetic system unstable state (a) with electromagnetic force  $F_1 > 0$  and stable state  $F_1 = 0$  without electromagnetic force (b)

Since the magnetic susceptibility of a magnet  $\chi \gg 1$ , then in the first approximation the magnetic field intensity in a vacuum and a magnetic, i.e., everywhere can be considered equal, i.e.,  $H_0(x) = H(x) = nI$ . Therefore, the magnetic field energy of the magnetic system is equal to

$$W = 0.5[H(x)B(x)x + H_0(x)B_0(x)(l_s - x)]S, \quad (1)$$

where  $B(x)$  and  $B_0(x)$  are the induction in a magnetic and a vacuum, respectively, T. Given that  $B(x) = \mu_a H(x)$  and  $B_0(x) = \mu_0 H_0(x)$ , we get

$$W = 0.5(n^2 I^2)[\mu_a x + \mu_0(l_s - x)]S. \quad (2)$$

Therefore, according to [3] the electromagnetic force is equal to

$$F_1(x) = \left( \frac{\partial W}{\partial x} \right) = \frac{1}{2}(\mu_a - \mu_0)n^2 I^2 S. \quad (3)$$

Or we have

$$F_1 = \frac{1}{2}\mu_0(\mu_r - 1)n^2 I^2 S, \quad (4)$$

where  $F_1$  is the traction force developed by the armature winding, N;  $\mu_a$  and  $\mu_r$  are the absolute (in N/A<sup>2</sup> or H/m) and relative (dimensionless) magnetic permeability of the magnetic core substance, respectively,  $\mu_r = \mu_a / \mu_0$ ;  $\mu_0$  is the magnetic permeability of vacuum (magnetic constant),  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  N/A<sup>2</sup> or H/m);  $n$  is the number of turns of the winding on the current coil (i.e., the number of turns of the armature winding) per unit length of this winding, 1/m;  $I$  is the current in the coil winding (current in the armature winding), A;  $S$  is the area of the circular cross-section of the coil winding (armature winding), m<sup>2</sup>.

Thus, the magnitude of the electromagnetic force  $F_1$  is proportional to the difference between the magnetic permeability of the magnetic and the vacuum ( $\mu_a - \mu_0$ ). This is confirmed by the relevant literature [4-7]. In this regard, it is possible to formulate (as a rule) the following regularity of the force  $F_1$  action of the active coil and the passive magnetic core: at the active solenoid, the passive core tends to occupy a certain fixed position (relative to the solenoid active coil) at which the magnetic circuit reluctance is the smallest and the magnetic field induction in the core (from the action of the active coil) is maximum (Fig. 3, *a*).

The current  $B(l_s, \theta_1, \theta_2)$  and maximum  $B_{\max}(\theta_1, \theta_2)$  value of the magnetic induction of the active solenoid can be found from the following expressions [4, 5]

$$B(l_s, \theta_1, \theta_2) = \frac{\mu_a N I}{2l_s} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2), \quad (5)$$

$$B_{\max}(l_s, R) = \frac{\mu_a N I}{\sqrt{4R^2 + l_s^2}}. \quad (6)$$

It is proposed to replace the passive core with an equivalent active one with conditional surface currents (Fig. 3, *b*), which can also be used to calculate the electromagnetic force  $F_1$  [6].

Then, it is required to calculate the force with which one solenoid is pulled in or pushed out of the other. The winding densities and the currents in them are equal  $n_1, I_1$  and  $n_2, I_2$ , respectively, when their cross-sectional areas are the same.

The solenoids are quite long, and the winding is quite dense, so the field away from their ends can be described by formulas for an infinitely long solenoid. The  $x$  value is large, as a result of which it is possible to neglect the edge effects.

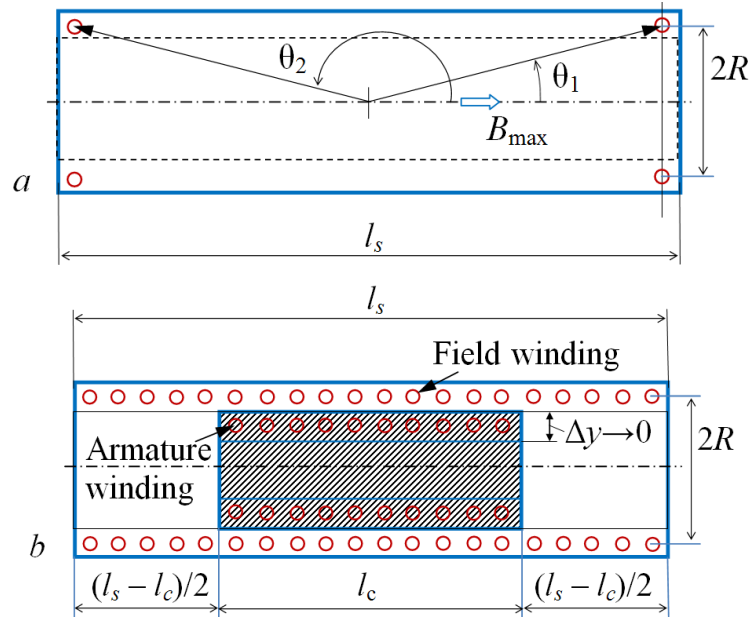


Figure 3 – Maximum magnetic field induction  $B_{max}$  at the lowest magnetic reluctance (a) and an equivalent scheme for replacing the passive core with an active coil (b)

Let's find the mutual inductance, using the known rules of electromagnetism. The first solenoid creates a flow  $\mu_0 n_1 I_1 S$  through each turn of the second solenoid, and the entire flow through the turns  $n_2 x$  of the second solenoid in the intersection area is equal to  $\Phi_{21} = \mu_0 n_1 I_1 S n_2 x$ . Therefore, the mutual inductance will be equal to  $L_{21} = \Phi_{21} / I_1 = \mu_0 n_1 n_2 S x$ .

Now we can find the electrodynamic force  $F_2$  [3]

$$F_2 = F_2(x) = I_1 I_2 \left( \frac{\partial L_{12}}{\partial x} \right) = \mu_0 n_1 I_1 n_2 I_2. \quad (7)$$

If the currents  $I_1$  and  $I_2$  have the same direction, then  $I_1 I_2 > 0$  and  $F_2(x) > 0$ , and therefore, the solenoids are repelled. For different directions of the currents  $I_1$  and  $I_2$  we have  $I_1 I_2 < 0$  and  $F_2(x) < 0$ ; it means the attraction of solenoids.

## REFERENCES

1. Larshin V. P., Gushchin A. M. Mechatronic Technological System Information Support. Applied Aspects of Information Technology. 2021; Vol. 4 No. 2: 153–167. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.02.2021>.
2. Larshin V. P., Lishchenko N. V., Babiychuk O. B., Ján Pitel'. Computer-Aided Design and Production Information Support. Herald of Advanced Information Technology. 2021; Vol. 4 No. 2: 111–122. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.02.2021.1>

3. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1983. – 463 с.
4. Gaur R. K., Gupta S. L. Engineering physics (for B.Sc. and B.E. students). – Delhi: Dhanpat Rai & Sons, 1993. – 1020 p.
5. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. Изд. второе, испр. – М.: Наука, 1964. – 848 с.
6. Калашников С. Г. Электричество: Учеб. пособие. – 5-ое изд., испр. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. ф.-мат. лит., 1985. – 576 с.
7. Попов В. С. Теоретическая электротехника. Учеб. для техникумов. – М.: Энергия, 1971. – 608 с.

*Larshin V.P., Gushchin A.M., Zhang Yunxuan*  
Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine

## PONDEROMOTIVE FORCES REGULATION IN SMALL DIAMETER DRILLING

The article discusses the theoretical foundations of the formation of ponderomotive forces (mainly electrodynamic force), which provide an axial force when drilling small diameter holes while stabilizing this force and the cutting torque. Such a task has been repeatedly set in the technology of drilling small diameter holes [1-3]. However, there are still no theoretical prerequisites for creating a mechatronic mechanism with automatic adjustment of the axial force and cutting torque when drilling small diameter holes.

For the design of mechatronic force-setting elements, for example, in drilling, the authors conducted a thorough analysis of the literature in this field [4-10], which allowed formulating the corresponding theoretical prerequisites.

The force interaction of two coils (with the field winding and the armature winding in a feed linear electromotor) is based on the phenomenon of self-inductance  $L$  and mutual inductance  $M$ , which determine the arising mechanical (electrodynamic) force between them.

This is ponderomotive (here electrodynamic) force (Fig. 1). One of these coils with a number of turns  $w_1$  can perform the function of a field winding, and the other coil with a number of turns  $w_2$  can perform the function of a movable electric armature in a linear electric motor feeding a metal-cutting machine with adaptive control.

For an infinitely long solenoid, wound with  $m$  turns per unit length and carrying a current  $I$  (in Amperes), the magnetic field intensity  $H$  (in A/m) inside is uniform and given by equation [4]

$$H = \frac{l_1}{w_1} I = mI. \quad (1)$$

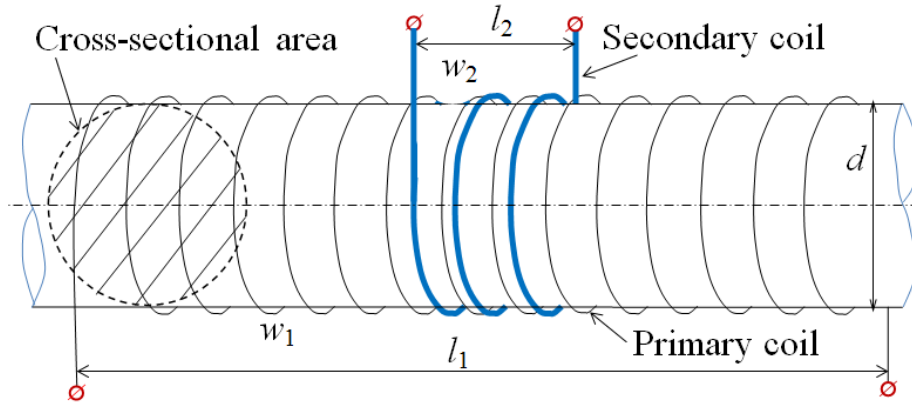


Figure 1 – Solenoid equipped with primary  $w_1$  and secondary  $w_2$  coils [4]

If the core of the solenoid has permeability  $\mu_a = \mu_r \mu_0$ , the magnetic flux  $\Phi'$  through each turn is

$$\Phi' = \mu_r \mu_0 S m I, \quad (2)$$

where  $S$  is the cross-sectional area of the solenoid (Fig. 1),  $m^2$ .

The self-inductance  $L'$  per solenoid unit length is therefore

$$L' = \frac{m \Phi'}{I} = \mu_r \mu_0 m^2 S. \quad (3)$$

For a solenoid of length  $l_1$ , large compared with its diameter, this formula is still very nearly correct, and then we will have [4]

$$L = \mu_r \mu_0 m^2 S l_1. \quad (4)$$

If a second short coil of  $n$  turns, insulated from the first, is wound on the solenoid as in Fig. 1, the mutual inductance is

$$M = \mu_r \mu_0 m \frac{w_2}{l_2} S = \mu_r \mu_0 m n S. \quad (5)$$

Another simple case is that of two “plane” coaxial coils with windings  $w_1$  and  $w_2$  (Fig. 2). The coils  $A$  and  $B$  have radii  $R$  and  $r$ , and total numbers of turns  $w_1$  and  $w_2$  respectively (Fig. 2). It is assumed that the width of coils  $A$  and  $B$  can be neglected compared to the distance between the coils  $z$  (in m), up to  $l_1 \rightarrow 0$  and  $l_2 \rightarrow 0$ . That is why these coils are named “plane” [4]. So, when  $z \gg l_1$ ,  $z \gg l_2$ ,  $z \gg R$ , and  $z \gg r$ , the magnetic field intensity  $H$  at the center of coil  $B$  due to a current  $I$  (in A) is [4]

$$H = \frac{I R^2 w_1}{2 z^3}. \quad (6)$$

The total flux through the coil  $B$  is

$$\Phi_B = \pi r^2 w_2 \mu_r \mu_0 H \quad (7)$$

If it is assumed that the field through the coil  $B$  will be uniform in the first approximation when the inequalities  $z \gg R$  and  $z \gg r$  hold.

Hence the mutual inductance which determines the electrodynamic force is

$$M = \frac{\mu_r \mu_0 \pi R^2 r^2 w_1 w_2}{2 z^3}. \quad (8)$$



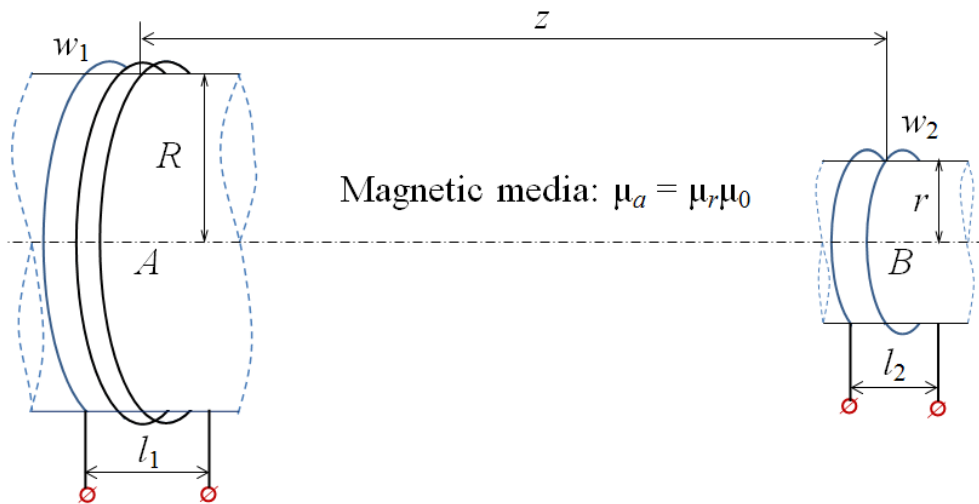


Figure 2 – Mutual inductance experienced between two “plane” coaxial coils [4]

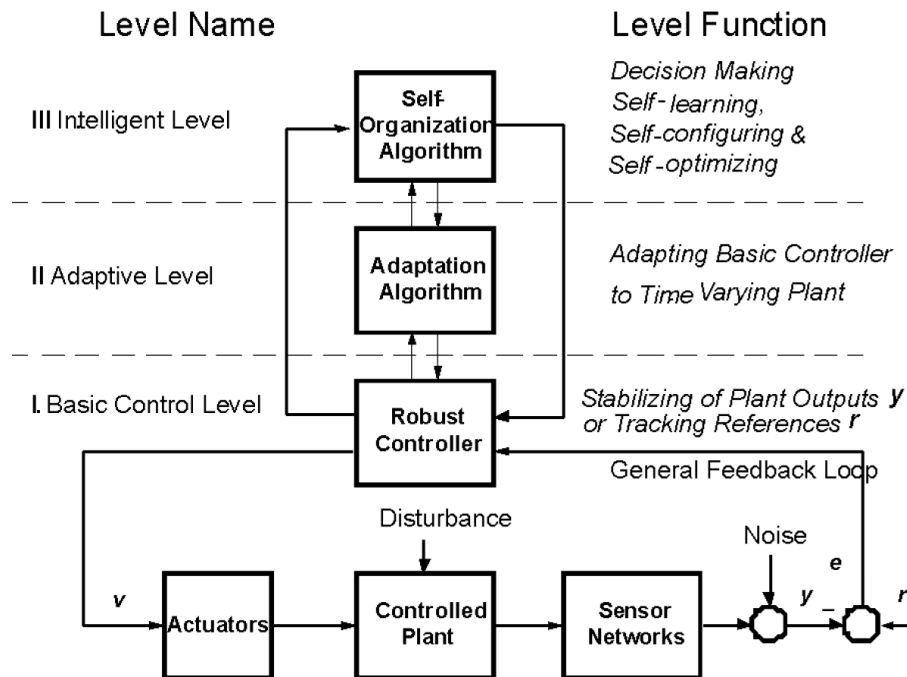
The found values of self-induction and mutual induction for two interacting coils can be used to determine the corresponding ponderomotive (electrodynamical) force in a linear electric feed motor, for example, when drilling small diameter holes.

## REFERENCES

1. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
2. Бондарь А. Е., Брон Л. С., Касьянов О. Н и др. Защита инструмента на агрегатных станках и автоматических линиях (Обзор). – М.: НИИМАШ, 1972. – 81 с.
3. Высокопроизводительные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация. Часть 1. Под ред. М.Н. Ларина. – М.: Цент. ин-т научн.-техн. инф. машиностроения, 1960. – 52 с.
4. Bleaney B.I., Bleaney B. Electricity and magnetism, 2 nd ed., London, 1965. – 759 p. Available at: <https://ru.scribd.com/doc/295728887/Bleaney-Electricity-and-Magnetism-2ndEd>.
5. Savelyev I. V. Physics. A general course in three volumes. V.II. Electricity and magnetism, waves, optics. – М.: MIR Publishers, 1980. – 508 p.
6. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1983. – 463 с.
8. Боровой А. А., Финкельштейн Э. Б., Херувимов А. Н. Законы электромагнетизма. – М.: Наука, 1970. – 168 с.
9. Баев Е. Ф., Фоменко Л. А., Цымбалюк В.С. Индуктивные элементы с ферромагнитными сердечниками. – М.: Сов. радио, 1976. – 143 с.
10. Ванин В. А. Скалярный и векторный анализ для классического инженерного образования: специальные главы курса высшей математики: в 3 т. – Т.3 / В. А. Ванин, Ю. Л. Геворкян, А. Л. Григорьев. – Х.: Підручник НТУ «ХП», 2012. – 464 с.

## SELF-BRAKING, BALANCE, AND HIERARCHICAL CONTROL PRINCIPLES IN MECHANICAL AND COMBINED MACHINING

The literature analysis was carried out from the position of automatically controlled cutting processes and taking into account the possibility of multi-level control [1, 2]. At the lower level of the hierarchy, the control device performs automatic robust control. Adaptive and intelligent control is performed at the middle and upper levels, respectively (Fig. 1). However, the principles of operation and the structure of these subsystems are not disclosed.



*Figure 1 – General configuration of three levels hierarchical control system [1]*

This mechatronic technological system can be attributed to “intelligent machines” that operate according to the well-known principle of the “control configured vehicle” for which speed and maneuverability are priority [3]. Moreover, the technical system created on the principles of the “configurable control device” operates in the mode of mechanical instability. This mode provides high dynamic characteristics of any technical and technological processes due to information and control connections that are integrated with the mechanical units of the system.

The fundamental difference between these kinds of devices is the combination of mechanism self-braking with its absence. Conventional machines, including ma-

chine tools, have self-stability due to the use of self-braking friction pairs in their kinematic schemes: screw-nut, gear-rail, etc. This allows stopping the working body of the CNC machine tool in any fixed position, both at working and idle. This property of the machine provides the coordinate to be needed when positioning the working body and the static balance of the tool in space. Moreover, the resistance forces in this space (cutting forces) are not taken into account.

The proposed mechatronic technological system (Fig. 2) uses the idea of “contactless mechanisms” in which, by definition, there is no self-braking effect and the working body of the mechanism is held in the desired position by constantly acting on it by oppositely directed forces. These forces ( $F_1$  and  $F_3$  in Fig. 2) provide a non-contact dynamic equilibrium of a solid body in space due to the “checks and balances”.

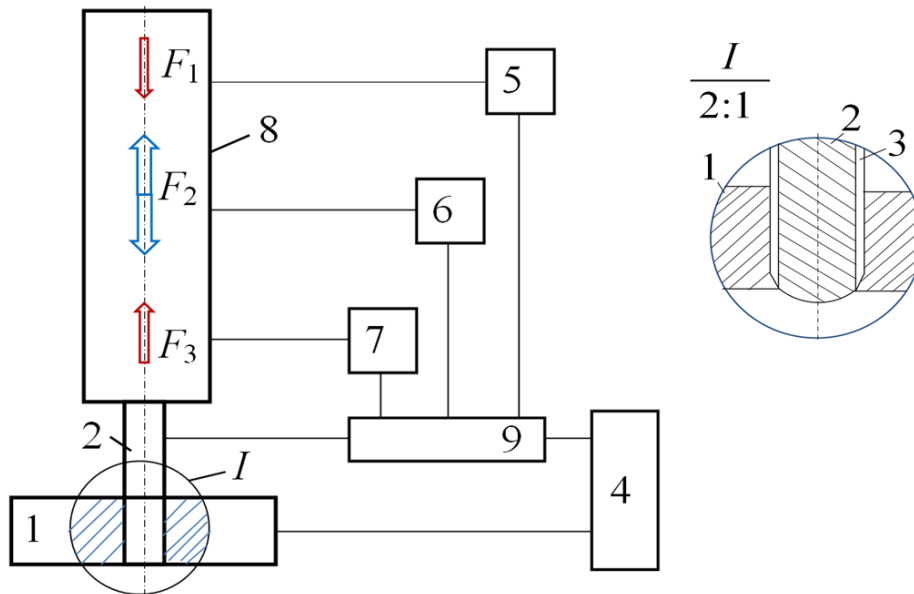


Figure 2 – Balance of forces in combined electromechanical machining

In Fig. 2 the following designations are made: 1 – workpiece to be machined; 2 – electrode-tool; 3 – abrasive-insulating coating of the tool; 4 – process current source (pulse generator); 5, 6, 7 – power supply and control units; 8 – tracking drive for feeding the electrode-tool; 9 – control signal sensor for the feed tracking drive.

Thus, the mechatronic technological system under consideration in the process of performing the electromechanical machining functions when cutting forces and torques of resistance act on its working body. In such conditions, the actual (unpredictable in advance, floating in time) speed of the tool penetration into the material of the workpiece is automatically formed, taking into account the actual physical and mechanical characteristics of this material. The “driving force” of the electromechanical process in this case is the load on the cutting electrode-tool, i.e. programmable forces from the CNC machine tool and reactive forces from the workpiece (forces  $F_1$ ,  $F_2$ , and  $F_3$  in Fig. 2). The equilibrium of these forces in accordance with Newton’s third law is the basis for the operation of the sensitive mechatronic mechanism of the “automatic control system by disturbance”, the speed of which is not available for traditional “automatic control system by deviation”.

## Conclusions

1. A hierarchical automatic control system “by disturbance” has been developed, containing three control levels: the lower (robust automatic control system “by disturbance”), the intermediate (adaptive system with a configurable functioning algorithm) and the upper level (intelligent control system corresponding to the stage of technological preparation of production). The system allows setting the necessary cutting forces during electromechanical machining and control them based on the technological considerations, including self-tuning of the functioning (operation) algorithm and making adjustments to the control program of the CNC machine.

2. In the course of experimental studies of the mechatronic technological system developed, it was found the following:

- the tool working feed when machining super-hard and artificially created hard-to-machine materials with pronounced anisotropic properties should not be rigidly connected with the tool rotation speed (this condition is usually maintained on CNC machines);

- actual speed of tool penetration into the workpiece material (material removal rate) is selected adaptively and with the help of a robust automatic control system based on a combination of the following elements: structure and physical-and-mechanical properties of the workpiece material – cutting ability of the tool – cutting speed and forces – tool wear;

- when machining workpieces made of glass, jade (nephrite), and leuco sapphire, the tool penetration speed into the workpiece to be machined which is obtained in the automatic mode differ tenfold under otherwise equal conditions;

- machining the workpieces made of glass, jade (nephrite) and leuco sapphire in one package showed that the rates of tool penetration in each of these materials are determined by a ratio of 1:0.3:0.03, i.e. they differ by more than 30 times.

3. The developed “balance of forces principle” and the manufactured tool head can be used for any methods of mechanical and combined machining on CNC machines.

## REFERENCES

1. Larshin, V. P., Gushchin, A. M. Mechatronic technological system information support Scientific Journal Applied Aspects of Information Technology. – Vol. 4(2), 2021. – P. 153–167. Retrieved from <http://aait.ccs.od.ua/index.php/journal/article/view/105>.

2. Mitrishkin, Yuri Habe & Rodolfo E. “Hierarchical Control System for Complex Dynamical Plants”. Conference: ICINCO 2009, Proceedings of the 6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Intelligent Control Systems and Optimization. Milan: Italy. July 2-5, 2009. – P. 56-65. Retrieved from <https://www.scitepress.org/papers/2009/22669/22669.pdf>.

3. Ishii, T., Shimoyama, I., Inoue, H., Hiros, M. & Nakajima, N. “Mechatronics. Translated from Japanese by S. L. Maslennikov, under Editorship of Candidate of Technical Sciences V. V. Vasilkov. M.: Mir Publishing House, 1988. – 314 p. (in Russian).

## ВПЛИВ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ПОКРИТТІ НА КОНТАКТНІ НАПРУЖЕННЯ В ІНСТРУМЕНТІ

Перспективним напрямком підвищення працездатності різальних інструментів є нанесення на його робочі поверхні вакуумно-дугових покриттів. При цьому, наявність покриття, яке характеризується залишковими напруженнями, обумовлює зміну контактних напружень, що мають місце в інструменті при експлуатації. Розглянемо це на прикладі інструменту, оснащеного надтвердим композитом на основі кубічного нітриду бору (РсВN).

Для визначення характеру впливу покриття на напружений стан інструменту, проведено його моделювання. Значення залишкових напружень  $\sigma$  в покритті встановимо у відповідності з даними, отриманими у ході рентгенівських дифрактометричних досліджень. Для простих мононітридів титану  $\sigma \approx -1$  ГПа, для наночарових покриттів та плівок з комплексним складом  $\sigma \approx -5$  ГПа. Проміжне значення ( $\sigma \approx -3$ ) використано для оцінки нелінійних ефектів.

Величини контактних напружень встановимо за даними експериментів по торцевому точінні сталі ШХ15 (60 HRC) різцем, що оснащений композитом РсВN «борсиніт» типорозміру RNUN070300 (з  $S = 0,05; 0,12; 0,17$  мм/об),  $t = 1,9$  мм,  $v = 1,0$  м/с). Розрахунок складових сил, що діють на передню та задню поверхні різця здійснено екстраполяцією на нульову товщину зрізу. За отриманими даними задано граничні умови та виконано розрахунки пружно-деформованого стану інструменту з покриттям МКЕ.

Еквівалентні напруження, що характерні для контактних поверхонь гострого різця зі сторони передньої та задньої поверхонь розглянуті при відсутності покриття ( $\sigma = 0$ ), а також при величинах залишкових напруг в покритті  $\sigma = -1$  ГПа,  $-3$  ГПа,  $-5$  ГПа.

Розгляд впливу залишкових напружень на величину еквівалентних напружень  $S_{eqv}$  коректно здійснювати в межах ділянок, поза контактними зонами, так як в межах контактних зон при різанні загартованих сталей руйнування покриття відбувається в перші секунди різання. Небезпечні точки, в яких цей параметр має максимальне значення за межами зон контакту, знаходиться на відстані  $1,25l_c$  та  $1,25h_z$  від різальної кромки зі сторони передньої та задньої поверхонь відповідно. За таких умов  $S_{eqv}$  зі сторони передньої поверхні знижуються від 0,37 (без покриття) до 0,13 ГПа тільки при  $\sigma = -1$  ГПа. У випадку збільшення  $\sigma$  до  $-3 - 5$  ГПа спостерігається зростання  $S_{eqv}$  до 0,62 та 1,1 ГПа відповідно.

На відміну від передньої, на задній поверхні збільшення  $\sigma$  приводить до зростання  $S_{eqv}$  у всьому діапазоні величин залишкових напружень, які використовувались при розрахунках – від 0,29 ГПа при  $\sigma = 0$ , до 1,35 ГПа при  $\sigma = -5$  ГПа. Таким чином, за умов початкового різання, позитивний вплив на міцність

інструменту має лише покриття з залишковими напруженнями  $\sigma = -1$  ГПа. При цьому при  $\sigma = -3$  ГПа,  $S_{eqv} = 0,89$  ГПа, що не перевищують критичних значень межі міцності при розтягу для РсВН «борсиніт» (1,1 ГПа) та є допустимими.

Розглянемо випадок, коли інструмент характеризується наявністю зношеної ділянки максимально допустимої довжини ( $h_z = 0,3$  мм) зі сторони задньої поверхні, на яку діють нормальні та дотичні навантаження, середні величини яких відповідають контактним напруженням на передній поверхні.

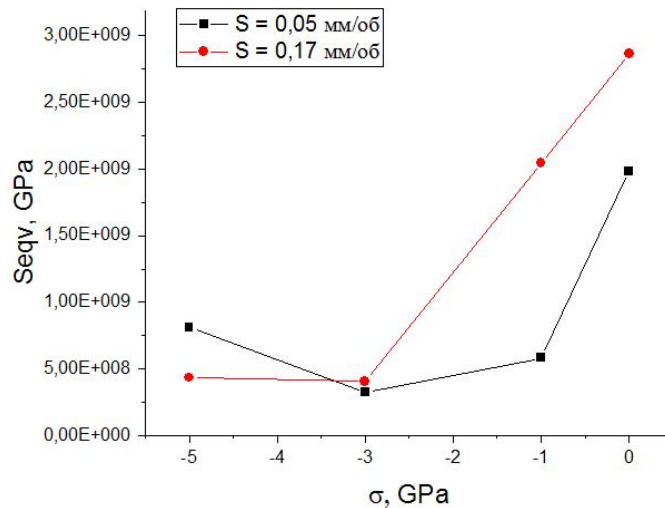
На зношених ділянках покриття відсутнє, тому розглянемо лише частину ділянки контакту з координатами  $> 0,12$  мм (передня поверхня),  $> 0,3$  мм (задня поверхня). Аналіз дає змогу зробити висновок, що вплив покриття на еквівалентні напруження на передній поверхні призводить виключно до їх зростання, що є негативним фактором. Вказане обумовлено суперпозицією напружень стиску, які виникають внаслідок дії складової сили різання зі сторони задньої поверхні та від'ємних залишкових напружень в покритті. На задній поверхні покриття компенсують напруження, що мають характер розтягу, найбільше зниження напружень в небезпечних точках зі сторони задньої поверхні спостерігається за  $\sigma = -1 - -3$  ГПа.

Значимий ефект від напружень стиску в покриттях спостерігається коли схема навантаження на контактних поверхнях зумовлює деформації розтягу і розтягуючи напруження. Така картина спостерігається у випадках, коли контактні навантаження на передню поверхню суттєво перевищують сили, що діють зі сторони задньої поверхні. Найбільша різниця у величинах напружень на передній і задній поверхнях буде спостерігатися у випадку ударних навантажень (коефіцієнт динамічного навантаження  $K_d$  до 2-х раз).

При величині подачі  $S = 0,05$  мм/об ( $l_c = 0,12$  мм), середній величині нормальних напружень 1,3 ГПа, коефіцієнті тертя 0,26 та  $K_d = 2$ , максимальні значення  $S_{eqv}$ , які виникають на передній поверхні інструменту без покриття поза зоною контакту (на дистанції 0,15 мм від кромки) складає 1,9 ГПа. Така величина напружень призведе до появи тріщини на поверхні інструменту. Наявність покриття у цих умовах значно знижує  $S_{eqv}$  в небезпечних точках – при  $\sigma = -3 - -5$  ГПа,  $S_{eqv} = 0,4 - 0,7$  ГПа, що є допустимим з точки зору умови міцності матеріалу інструменту.

Для випадку  $S = 0,17$  мм/об ( $l_c = 0,35$  мм) –  $S_{eqv} = 2,8$  ГПа. При наявності залишкових напружень у покриттях, еквівалентні напруження у інструменті в точці за контактною ділянкою ( $1,25l_c$ ) знижуються. Ця залежність має мінімум при  $\sigma = -3$  ГПа (рис. 1),  $S_{eqv}$  при таких значеннях залишкових напружень знижується до величин 0,40–0,45 ГПа при яких забезпечується міцність інструменту. При подальшому зростанні параметру  $\sigma$  до -5 ГПа еквівалентні напруження практично не змінюються.

Таким чином, наявність стискаючих напружень величиною -1,0 ГПа в покриттях сприяє зниженню еквівалентних напружень в небезпечних точках на передній поверхні інструменту у початковий період різання. Для зменшення еквівалентних напружень зі сторони задньої поверхні у інструментах зі значним ( $\approx 0,3$  мм) зносом оптимальними є покриття з залишковими напруженнями стиску -3 ГПа.



*Рисунок 1 – Залежність еквівалентних напружень в небезпечних точках на поверхні інструменту від залишкових напружень в покритті*

Найбільш суттєве зменшення еквівалентних напружень з небезпечних точках на передній поверхні інструменту спостерігається при наявності ударних навантажень, в цьому випадку еквівалентні напруження зменшуються з 1,9 до 0,4–0,7 ГПа.

*Михайлова Є. О.*  
Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна

## **СТАН ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЯК ОСНОВА ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇНИ**

Соціальне та економічне благополуччя людини нерозривно пов'язано з земельними ресурсами, які відносяться до основного засобу виробництва у сільськогосподарському господарстві. Головне призначення цієї галузі економіки полягає у забезпеченні населення якісними продуктами харчування у достатній кількості, що, у свою чергу, формує продовольчу безпеку будь-якої країни та світу взагалі.

Одним із міжнародних показників, які характеризують рівень забезпеченості країни продовольством, є Глобальний індекс продовольчої безпеки, діючий з 2012 року. Цей показник оцінює аспекти доступності, наявності, якості та безпеки продуктів харчування, а також ризик змінності природних ресурсів та їх стійкість під впливом техногенного навантаження у 113 країнах світу. За даними 2020 року Україна займає 54 місце у рейтингу з Глобальним індексом продовольчої безпеки, що дорівнює 63 (рис. 1), поступаючись іншим країнам, таким як Нідерланди, Австрія, Великобританія, які мають набагато меншу площу сільськогосподарських земель [1].

В Україні сільськогосподарські угіддя займають 42 млн га, що відповідає 70 % загального земельного фонду. За площею чорноземів (28 млн га – 8 % світових запасів) наша країна займає четверте місце у світі після Росії, США і Китаю. Згідно розрахунків Україна має потенційну можливість прогодувати понад 600 млн осіб. Таке становище з земельними ресурсами свідчить про унікальні можливості України з точки зору формування високого рівня продовольчої безпеки як на національному, так і на глобальному рівнях.



*Рисунок – Рейтинг деяких країн світу згідно Глобального індексу продовольчої безпеки 2020*

Незадовільний стан продовольчої безпеки країни можна пояснити низьким рівнем державних витрат на дослідження, розробки та фінансову підтримку в агропромисловому секторі, а також швидкими темпами поширення деградації земель. Деградаційні процеси розвиваються за умов перевищення ступеня техногенного навантаження на ґрунти можливості останніх відновлювати свої властивості, насамперед, родючість без додаткових заходів. Родючість обумовлена здатністю ґрунту забезпечувати потреби рослин у воді, гумусі та елементах живлення, а їхні кореневі системи – сприятливими екологічними умовами. За даними [2] площі деградованих земель в Україні становлять від 6–8 до 10–15 млн га. Щорічно від ерозії втрачається до 500 млн т ґрунту. З продуктами ерозії виноситься близько 11 млн т гумусу, 0,5 млн т нітрогену, 0,4 млн т фосфору, 0,7 млн т калію [3]. Залежно від ступеня деградаційних процесів урожаї сільськогосподарських культур можуть знижуватися на 10–50 %. Одночасно погіршується якість сільськогосподарської продукції, а отже з’являється явище прихованого голоду.



Одна з причин розвитку деградації земель полягає у низьких ресурсних вкладеннях, а саме. низькому ступені застосування добрив, і, як наслідок, утворенні дефіциту біогенних елементів і гумусу у ґрунті, що знижує його родючість. У сучасному агропромисловому комплексі найбільше розповсюдження тримали органічні (біодобрива) та мінеральні добрива (туки). До органічних добрив відносять органічні сполуки тваринного, рослинного, промислового та побутового походження, що володіють різним ступенем розкладання з утворенням комплексу поживних речовин, які добре засвоюються рослинами. Мінеральні добрива – це штучно синтезовані хімічні сполуки, які потрібні для збереження балансу неорганічних сполук у ґрунті. За основним поживним елементом у своєму складі розрізняють нітрогенні, фосфорні, калійні та комплексні мінеральні добрива.

За даними Державної служби статистики України станом на 2020 рік внесення органічних добрив скоротилося майже в 23 рази, а мінеральних – в 1,5 рази, порівняно з 1990 роком. Такий стан використання органічних добрив пов'язаний із зменшенням поголів'я тварин у тваринництві та нераціональним використанням (спаленням) залишків рослинництва. Зменшення обсягів внесення мінеральних добрив пояснюється припиненням дії програм підвищення родючості ґрунтів, диспаритетом цін на сільськогосподарську продукцію та високими темпами зростання вартості туків [3].

Наукові дослідження і передовий досвід свідчить, що саме добрива найбільш суттєво впливають на формування колообігу речовин у ґрунтах, агроекологічний їх стан і якість сільськогосподарської продукції. Характерною особливістю мінеральних добрив є більш високий вміст поживних елементів в одиниці маси продукту, порівняно з органічними, і можливість цільового їх застосування на ґрунтах певної якості. Екологічна роль туків полягає у підтриманні колообігу біогенних елементів в біосфері, оскільки саме завдяки мінеральним добривам у ґрунт надходять необхідні елементи живлення рослин в достатній кількості, та в процес формування врожаю залучаються запаси атмосферного азоту, поклади апатиту і фосфориту, відклади калійних солей. Причому елементи живлення мінеральних добрив, які введено у колообіг речовин у землеробстві, потім використовуються багаторазово. Під час використання органічних добрив у ґрунт повторно повертаються лише ті поживні елементи, які вже були використані рослинами для формування врожаю. Таке відшкодування неповне через те, що з органічними відходами до ґрунту не повертаються речовини, які увійшли до складу товарної продукції і вивезені за межі господарства. Але це не зменшує значення біодобрив для аграрного сектору. Згідно сталого землеробства у разі нестачі мінеральних добрив обов'язкове використання органічних залишків, які сприятимуть підвищенню вмісту поживних елементів і, особливо, гумусу у ґрунті. Цього принципу необхідно дотримуватися незалежно від ґрунтово-кліматичних умов і спеціалізації сільського господарства [4].

Отже, підвищити рівень продовольчої безпеки в Україні можливо шляхом ефективного державного регулювання розвитку агропромислового комплексу та його основи – сільського господарства за умови високого рівня платоспро-

можності населення. В цьому випадку, пріоритетними напрямками державної регуляторної політики має бути розв'язання проблем щодо:

- застосування і охорони земельних ресурсів;
- підвищення, збереження та відтворення родючості ґрунту;
- запобігання розвитку деградаційних процесів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. The Global Food Security Index. Retrieved from <https://foodsecurityindex.eiu.com>.

2. Балюк С. А. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С. А. Балюк, Л. І. Воротинцева, В. В. Шимель // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 8(95). – С. 5–11.

3. Ходаковская О. В. Еколого-економічні аспекти відтворення родючості ґрунтів / О. В. Ходаковская, С. Г. Корчинская, А. П. Матвиенко // Землеробство. – 2017. – Вип. 1. – С. 16–21.

4. Kurzemann F., Plieger U., Probst M., Spiegel H., Sandén T., Ros M., & Insam H. Long-term effect of organic amendments, mineral fertilizers and combinations thereof, on plant yield, soil physic-chemical and microbiological properties. EGU General Assembly 2021, 19–30 April, 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-8182>.

*Новиков Г. В.*

Научный центр НТК «Эльбор», Харьков, Украина

#### **О НОВОМ НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННОМ ИЗДАНИИ, ПОСВЯЩЕННОМ ЯКИМОВУ АЛЕКСАНДРУ ВАСИЛЬЕВИЧУ**

В 2021 году в издательстве «Лира» (г. Днепр) вышло в свет научно-информационное издание, в котором приведены расширенные биографические сведения и результаты научно-педагогической и общественной деятельности Якимова Александра Васильевича – выдающегося ученого-технолога, теплофизика, механика и материаловеда, Заслуженного деятеля науки Украины, Лауреата Государственной премии Украины, академика Инженерной Академии Наук Украины, почетного профессора НТУУ «Киевский политехнический институт», доктора технических наук, профессора Одесского национального политехнического университета, основателя всемирно известной научной технологической школы:

**Профессор Якимов Александр Васильевич в становлении технологических знаний: научно-информационное издание / Под редакцией Ф. В. Новикова, А. А. Якимова, В. А. Жовтобрюха. – Днепр : ЛИРА, 2021. – 292 с.**



**ПРОФЕССОР  
ЯКИМОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ  
В СТАНОВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ЗНАНИЙ**

Под редакцией Ф. В. Новикова, А. А. Якимова,  
В. А. Жовтобрюха

В издании приведены также воспоминания учеников и друзей профессора Якимова Александра Васильевича, в которых отражен его высочайший профессионализм, самоотверженный и благородный труд по организации подготовки квалифицированных специалистов-технологов, аспирантов и докторантов, развитию технологической науки и повышению эффективного применения научных разработок в промышленном производстве.

Издание иллюстрировано большим количеством фотографий Якимова А. В. со своими коллегами, друзьями, учениками и родственниками в разные годы жизни, будучи аспирантом Московского авиационного института, доцентом Запорожского машиностроительного института, профессором, заведующим кафедрами «Технология машиностроения» Пермского и Одесского политехнических институтов.



*Якимов А. В., аспирант Московского авиационного института*



*Якимов Александр Васильевич со старшим братом  
Виктором Васильевичем*



*Якимов А. В. на праздничной демонстрации (г. Запорожье, 1958 г.)*



*Якимов А. В. на праздничной демонстрации (г. Запорожье, 1959 г.)*



*Якимов А. В. в Пермском политехническом институте. Слева направо: Мишинаевский Л.Л. (третий), Сагарда А.А. (четвертый), Маталин А.А. (пятый)*



*Якимов А. В. с аспирантом Казимирчиком Ю. А.*



*На праздничной демонстрации: эмблема механико-технологического факультета Одесского политехнического института.*

*Слева направо: Гуцин Л. К., Якимов А. В., Линчевский П. А., Григорян Г. Д.*

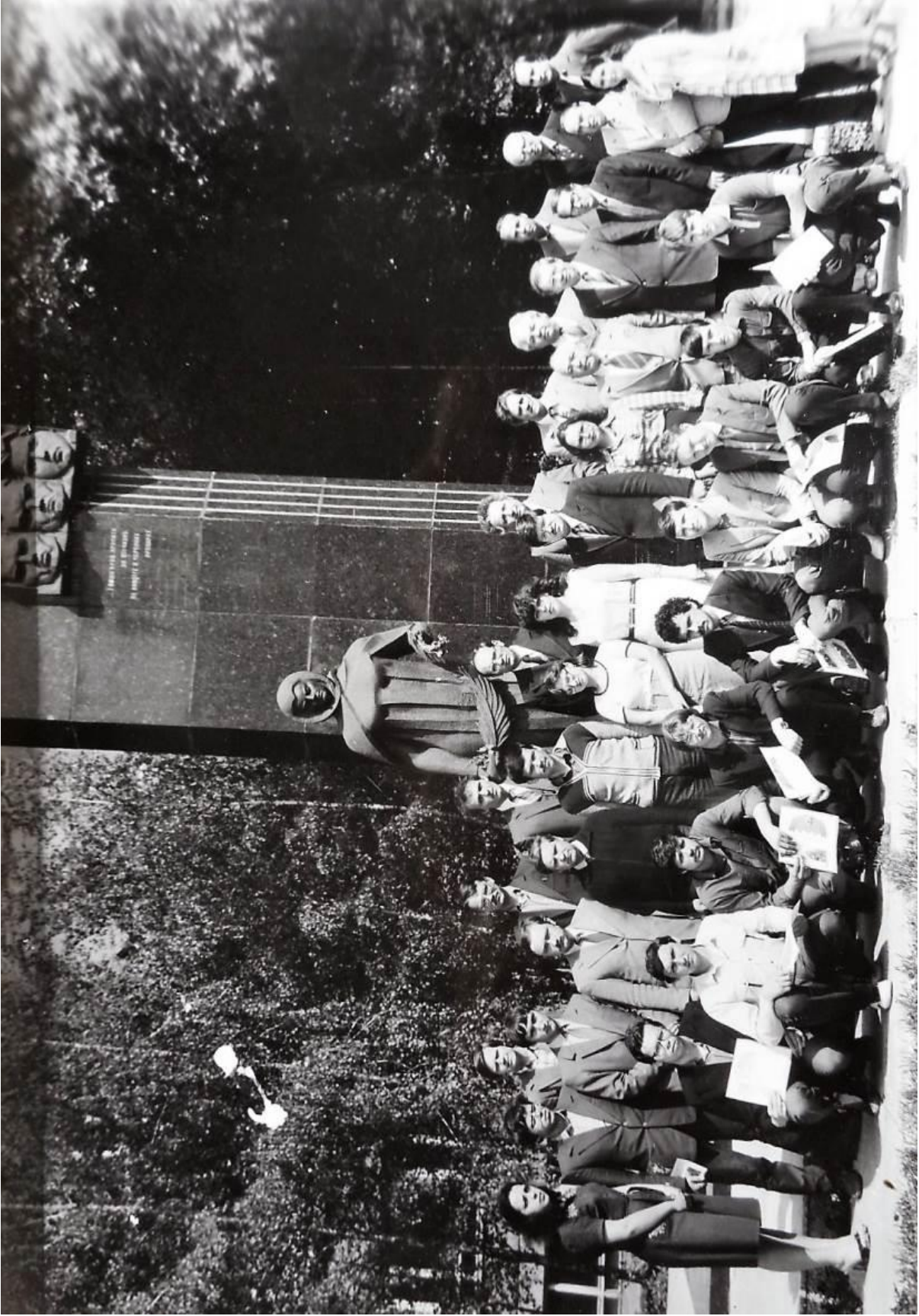


*На праздничной демонстрации.*

*Справо налево: Якимов А. В., Волощенко А. П., Григорян Г. Д., Линчевский П. А.*



*Якимов А. В. среди сотрудников Одесского политехнического института – участников  
Великой Отечественной войне на фоне памятника погибшим политехникам*



*Якимов А. В. с преподавателями Одесского политехнического института и выпускниками механико-технологического факультета из группы МТ-771*

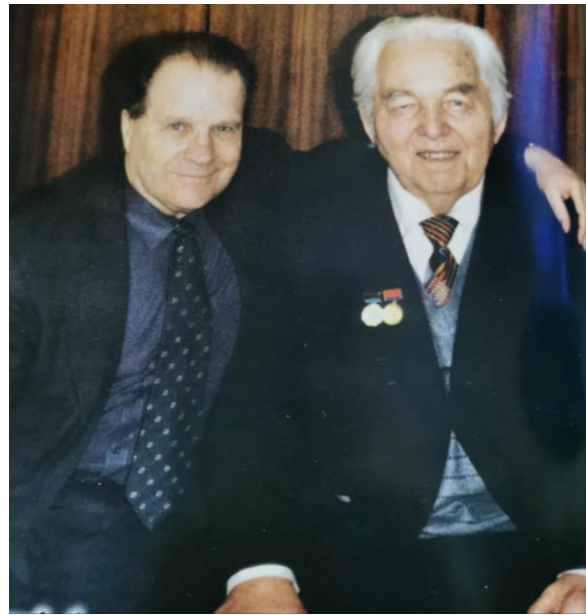




*Якимов А. В. среди участников Международного семинара  
«Сверхтвердые материалы» (17 – 21 июня 1981 г., Киев,  
Институт сверхтвердых материалов АН УССР)*



*Якимов А. В. во время поездки в Болгарию*



*Якимов А. В. со своими учениками: Грисенко Е. В. и Ларишным В. П.  
(Одесса, 2000 г.)*



*Грисенко Е. В., Раиса Васильевна и Александр Васильевич Якимовы*



*Якимов А. В. проводит экзамен  
(Одесский политехнический институт, 2005 г.)*



*Якимов А. В. на заседании специализированного ученого  
совета ОНПУ. Защита кандидатской диссертации  
Яценко С. М. (2007 г.)*



*Мубаракшин Ринат Музакирович со своим Учителем – профессором Якимовым Александром Васильевичем (Одесса, 2009 г.)*



*Коллектив кафедры «Технология машиностроения» Одесского национального политехнического университета в день 88-летия профессора Якимова А. В. (2013 г.)*

Профессор Якимов Александр Васильевич оставил глубокий след в НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ. Еще при жизни он был признан классиком технологии машиностроения. В своей докторской диссертации на тему «Технологические основы процесса шлифования кругами с прерывистой рабочей поверхностью», защищенной в 1970 году в Московском авиационном институте, он предложил принципиально новые теоретические подходы к созданию наукоемких чрезвычайно эффективных технологий шлифования. Разработанный метод прерывистого шлифования стал важным достижением в его научном творчестве и одновременно важным этапом в становлении всеобщих технологических знаний. Он открыл новые горизонты покорения человеком законов физики, механики, химии, материаловедения и других наук. Метод прерывистого шлифования вошел в мир НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА с новыми технологическими возможностями высококачественного изготовления машин и систем и получил всемирное признание. Более 60 его учеников защитили докторские и кандидатские диссертации, в том числе связанные с созданием и развитием этого прогрессивного метода шлифования. За свою многолетнюю научную деятельность Якимов Александр Васильевич подготовил более 500 научных трудов, включая учебники, монографии, статьи, патенты и изобретения [1 – 29].

Александр Васильевич обладал большим даром научного предвидения, могучим талантом, энциклопедическими знаниями и опытом работы в производстве. К нему, как магнитом притягивало молодых исследователей, посвятивших себя научной деятельности. Он очень любил студенческую молодежь и всеми силами старался развивать у студентов тягу к знаниям и познаниям неизвестного. Это ему удавалось, за что многочисленные выпускники всю жизнь благодарили своего УЧИТЕЛЯ. И сейчас, все, кто знал Александра Васильевича, чтят и помнят его приятную улыбку на лице, доброжелательность, отзывчивость, поддержку всех интересных начинаний и очень поучительные советы будь то в научных или жизненных вопросах.

Таким остался в нашей памяти Якимов Александр Васильевич – великий ученый-технолог с незаурядными физико-математическими и инженерными знаниями и замечательный ЧЕЛОВЕК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Качество изготовления зубчатых колес / А. В. Якимов, Л. П. Смирнов, Ю. А. Бояршинов и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
3. Управление процессом шлифования / А. В. Якимов, А. Н. Паршаков, В.И. Свирцев, В. П. Ларшин. – К.: Техніка, 1983. – 184 с.
4. Якимов А. В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
5. Якимов А. В. Прерывистое шлифование. – К.; О.: Вища школа, 1986. – 175 с.

6. Технология автоматизированного шлифования / А. В. Якимов, В.П. Ларшин. – К.: О-во «Знание» Укр. ССР, 1988. – 15 с.
7. Теплофизика механической обработки: учебное пособие / А. В. Якимов, П. Т. Слободяник, А. В. Усов. – К.; Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с.
8. Обоснование маршрута обработки и размерный анализ технологических процессов: учебное пособие / А. В. Якимов, П. А. Линчевский, А. А. Якимов. – К.: УМК ВО, 1993. – 125 с.
9. Технология автоматизированного машиностроения: учебник / А. В. Якимов, В. С. Гусарев, А. А. Якимов, П. А. Линчевский. – К.: УМК ВО, 1993. – 440 с.
10. Технологія автоматизованого машинобудування: підручник / О. В. Якимов, В. С. Гусарев, О. О. Якимов, П. А. Лінчевський. – К.: ІСДО, 1994. – 400 с.
11. Високопродуктивна обробка абразивно-алмазними інструментами: навчальний посібник / О. В. Якимов, Ф. В. Новіков, О. О. Якимов. – К.: Техніка, 1993. – 152 с.
12. Високопродуктивне шліфування: навчальний посібник / О. В. Якимов, Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, О. О. Якимов. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.;
13. Оптимизация технологических процессов в машиностроении: учебное пособие / А. В. Якимов, В. П. Ларшин, А. А. Якимов, Б. О. Ткаченко, Н.И. Решетнев. – К., 1995. – 105 с.
14. Теория и прогрессивные технологии глубинного алмазного шлифования: учебное пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Харьков, 1995. – 102 с.;
15. Алмазная обработка: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А. А. Якимов. – Киев: ІСДО, 1996. – 167 с.;
16. Теоретические основы интегрированных технологических систем: учебное пособие: В 5 кн. / Под общ. ред. А. В. Якимова. – Одесса: ОГПУ, 1997.
17. Тепловые и механические процессы при резании металлов: учебное пособие / Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, С. Г. Зимин, Г. В. Новиков, В. А. Вайсман. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 179 с.;
18. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании: учебное пособие / А. В. Якимов, Б. О. Ткаченко, С. Г. Зимин, А. А. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1998. – 272 с.;
19. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: учебное пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.;
20. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учебное пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков, Б. С. Серов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.;
21. Теплофізика механічної обробки: підручник / О. В. Якимов, О. В. Усов, П.Т. Слободяник, Д. В. Іоргачев. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.

22. Технология машиностроения: учебник / А. В. Якимов, В. Н. Царюк, А.А. Якимов, Г. А. Оборский, В. П. Ларшин, А. В. Самойленко. – Одесса: Астропринт, 2001. – 608 с.
23. Технология машиностроения: учебник / А. В. Якимов, А. А. Якимов, В. П. Ларшин, В. И. Свирцев. – Пермь, 2002. – 563 с.
24. Теоретические основы технологии машиностроения: учебник / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков, Н. И. Решетнев. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.
25. Технологія машино- та приладобудування: підручник / О. В. Якимов, В. І. Марчук, П. А. Лінчевський, О. О. Якимов, В. П. Ларшин. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2005. – 712 с.
26. Технологія машино- та двигунобудування: підручник / О. В. Якімов, Ф. В. Новіков, В. М. Тонконогий, О. О. Якімов, Г. О. Оборський, В. П. Ларшин, Г. В. Новіков, Ю. М. Кривошапка. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 720 с.
27. Технологические процессы изготовления высокоточных деталей гидро- и пневмоаппаратуры: учебное пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Е.В. Грисенко, В. П. Ларшин, А. А. Якимов, Г. В. Новиков; Под общ. ред. проф. А. В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2006. – 328 с.
28. Технологія автоматизованого машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В. С. Гусарев, О. О. Якимов, П. А. Лінчевський, Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, В. П. Ларшин. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 410 с.
29. Технология машиностроения: учебник / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, П. А. Линчевский, В. П. Ларшин, Е. В. Грисенко, А. А. Якимов, А. В. Фадеев, Г. В. Новиков. – Одесса: ОНПУ, 2012. – 693 с.

*Новиков Д. Ф.*

Харьковский национальный экономический университет  
им. Семена Кузнеця, Харьков, Украина

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРИБЫЛЬЮ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СОЦИАЛЬНО-ОТВЕТСТВЕННОГО МАРКЕТИНГА**

С развитием общества все больше уделяется внимание вопросам социальной ответственности. Связано это с тем, что практически в каждой сфере деятельности можно обнаружить товар, который не соответствует всем предусмотренным техническим характеристикам. При проведении рекламных компаний предприятия ищут недоработки законодательства, чтобы обойти ограничения и получить конкурентное преимущество на рынке.

Анализ рынка потребительских и промышленных товаров показал, что имеются отличительные особенности, из-за которых необходимо использовать

разные подходы для ведения маркетинговой деятельности предприятия на этих рынках. Именно поэтому на рынке потребительских товаров существует большое количество различных контролирующих органов, которые следят за соблюдением прав покупателя. На рынке промышленных товаров количество таких контролирующих органов минимально, а рынок направлен на саморегулирование: когда производитель допускает какие-то махинации в своей деятельности, покупатели его товара, отказываясь от сотрудничества с ним, оказывают серьезное влияние на дальнейшую деятельность такого производителя. Поэтому промышленные предприятия стремятся не участвовать в различных махинациях с продвижением товара, его качеством и т.п.

Многие предприятия, понимая, что они являются частью общества и способны оказывать большое влияние на него, инвестируют значительные средства в социальные проекты. Одним из направлений инвестиций является социально ответственный маркетинг предприятия. Одна часть руководителей в этом направлении видит новый способ продвижения своей продукции, а другая часть руководителей стремится с помощью социально ответственного маркетинга улучшить повседневную жизнь людей и оказать влияние на развитие общества.

Социально ответственный маркетинг является одним из направлений социальной ответственности субъектов хозяйствования и характеризуется следующим образом: это неукоснительное выполнение требований государственных нормативных актов в сфере обеспечения социальной ответственности на территории страны базирования и стран, в которые экспортируются их товары и услуги; недопустимость участия в коррупционных схемах, недопустимость осуществлять мошенничество; недопустимость производства и/или реализации продукции, опасной для имущества, морали, здоровья, жизни людей, окружающей природной среды и общества в целом, а также недобросовестной рекламы и методов психологического воздействия на потребителей с целью навязать выгодное для себя решение или любую покупку; проявление социально направленных инициатив [1].

Согласно принципам социально ответственного маркетинга, выпускаемая продукция должна соответствовать требованиям заказчика, быть безопасной в эксплуатации и не наносить ущерб окружающей среде. Ввиду специфики машиностроительной продукции большинство такой продукции разрабатывается под конкретного заказчика по его техническим требованиям. Заказчик указывает в техническом задании перечень параметров, которым должна соответствовать продукция, а разработчик совместно с производителем проектирует новую продукцию или модернизирует существующий образец под требования конкретного заказчика.

В большинстве случаев заказчик указывает в техническом задании набор функций, которые должно выполнять изготовленное изделие, его соответствие экологическим нормам и т.п. Задача разработчика указать необходимый перечень параметров качества, которые следует соблюдать при производстве, чтобы продукция соответствовала требованиям заказчика. При этом весь производственный процесс предприятия-производителя должен быть рентабельным и



приносить прибыль от производства продукции. На предприятии должна быть внедрена система качества ISO 9001:2015, которая позволит проводить многократную проверку качества выпускаемой продукции. Следует отметить, что выпускаемая продукция должна соответствовать нормам сертификата ISO 14001 и быть экологически безопасной в производстве и эксплуатации, а также соответствовать положению ISO 26000:2010 о социальной ответственности предприятия. В основном все промышленные предприятия, которые ассоциируют себя как социально ответственное, имеют сертификаты о внедрении у себя ISO 9001:2015 и ISO 14001.

Вопросам социальной ответственности маркетинга уделяется пристальное внимание многих ученых [2–6]. При этом многие из них рассматривают социальную ответственность маркетинга на рынке потребительских товаров, а рынок машиностроительной продукции является малоизученным. В научной литературе сложно найти теоретическую информацию об основных направлениях нарушений, которые используют руководители машиностроительных предприятий при реализации своей продукции. Слабоизученным является вопрос влияния социально ответственного маркетинга на себестоимость и прибыль машиностроительного предприятия. Проблема заключается в том, что отсутствует единый подход к управлению себестоимостью выпускаемой продукции и ее качеством. В классической экономической литературе предлагается оптимизировать укрупненные составляющие процесса производства. Однако при этом существует множество вариантов оптимизации составляющих укрупненного показателя, которыми занимаются уже технические специалисты и у которых иное понимание сущности оптимизации, чем у экономистов. В итоге экономисты дают задание на оптимизацию себестоимости продукции, а технологи, получая от экономистов это задание, оптимизируют в большей степени параметры процесса производства и качества продукции.

При управлении себестоимостью необходимо анализировать затраты на выполнение операции, т.к. они непосредственно связаны с производственным циклом, и управление этими затратами позволяет уменьшать или увеличивать прибыль предприятия. При изменении затрат на операцию изменяется качество продукции. В этом случае необходимо знать предельный уровень качества, при превышении которого продукция будет бракованной. Реализуя такую продукцию, руководство предприятия умышленно нарушает принципы социально ответственного маркетинга, что влечет за собой возможность наложения штрафных санкций со стороны заказчика или контролирующих государственных органов и, соответственно, снижение прибыли предприятия, а в некоторых случаях и ликвидацию предприятия.

В научной литературе имеется большое количество информации об эффективных методах и моделях управления прибылью предприятия [7 – 9].

Во многих случаях управления прибылью предприятия параметры качества продукции рассматриваются как укрупненный показатель, который характеризует продукцию: качественная или некачественная. При анализе такого параметра сложно определить какие показатели качества продукции учитываются

и поэтому возможны случаи, когда в некоторых моделях управления прибылью предприятия рассматриваются в основном экономические показатели. Вследствие такого управления прибылью можно расчетами добиться положительных теоретических результатов получения прибыли, но на практике выпускаемая продукция может не соответствовать всем предъявляемым требованиям со стороны заказчика.

При управлении затратами на операции для каждой конкретной продукции необходимо определить существенный показатель качества или интегральный показатель нескольких показателей. В машиностроении одним из основных показателей качества является шероховатость обработанной поверхности детали. Поэтому на основе разработанной математической модели технологических затрат на операции шлифования установлена взаимосвязь затрат на выполнение операции и показателя качества продукции (рис. 1) [10]. Под затратами на выполнение операции подразумеваются следующие затраты: заработная плата основных рабочих с социальными отчислениями, расходный инструмент и материалы, электроэнергия на технологические нужды.

На рис. 1 пунктирной линией показано предельное значение показателя качества продукции, превышение которого указывает на то, что продукция является бракованной. Продукция, показатель качества которой принимает значения, меньшие предельного значения (расположены слева от пунктирной линии), при реализации на рынке будет соответствовать заявленным в контракте требованиям, т.е. соответствовать принципам социально ответственного маркетинга. Продукция, показатель качества которой принимает значения, большие предельного значения (расположены справа от пунктирной линии), будет бракованной, т.е. несоответствующей некоторым или всем требованиям, прописанным в контракте. Следовательно, в этом случае не выполнены принципы социально ответственного маркетинга. Анализируя значения показателя качества продукции, которые расположены на схеме слева от предельной границы, видно, что существует большое количество вариантов производства продукции (рис. 2)

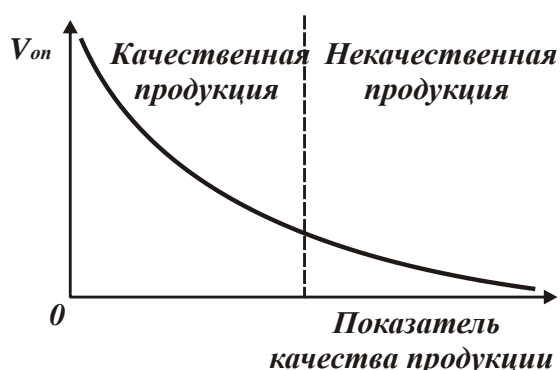


Рисунок 1 – Зависимость затрат на операцию  $V_{on}$  от показателя качества продукции

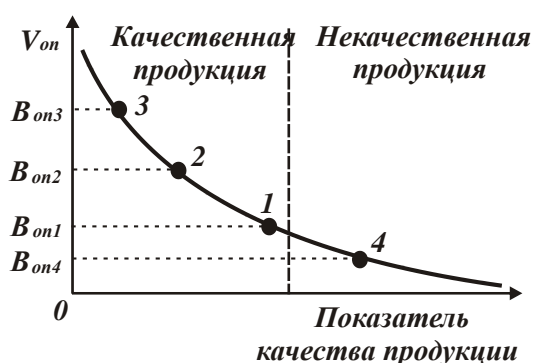


Рисунок 2 – Затраты на операцию  $V_{on}$  при разном уровне показателя качества продукции

Из рис. 2 видно, что в точке 1 продукция является качественной и соответствует наименьшим затратам. В точке 2 качество продукции выше, чем в точке 1, но и затраты на операцию выше. В точке 3 качество продукции, а, соответственно, и затраты выше, чем в точках 2 и 1. В точке 4 качество продукции ниже, чем в точках 1; 2; 3. При этом продукция может быть даже бракованной, хотя затраты меньше, чем в других точках на схеме. Предприятие, которое приняло решение повысить качество выпускаемой продукции, т.е. перейти из состояния, определяемого точкой 1 на схеме, в состояние, определяемое точкой 2, увеличивает свои затраты. Однако одновременно с повышением качества производимой продукции произойдет повышение ее конкурентоспособности, увеличится занимаемая ею доля на рынке. Так же у предприятия появится возможность выхода со своей продукцией на зарубежные рынки и участие в активной конкурентной борьбе. Переход в состояние, определяемое точкой 3 на схеме, позволит предприятию еще больше увеличить свою конкурентоспособность на отечественном и зарубежных рынках вплоть до завоевания лидерства на них.

Получение дополнительной прибыли предприятия в результате повышения качества продукции и снижения затрат на операцию возможно за счет увеличения объемов производства и реализации продукции на новых рынках.

На рис. 3 показан еще один вариант повышения прибыли за счет снижения затрат при неизменном качестве или повышении качества со снижением затрат.

Согласно рис. 3, при использовании новых технологий, оборудования и других технических новшеств в производстве затраты на выполнение операции снижаются при неизменном показателе качества продукции (переход из точки 1 в точку 5). В этом случае можно добиться повышения качества продукции без изменения затрат (осуществляя переход из точки 1 в точку 6) или даже снижая их (при переходе из точки 1 в точку 7). Данное решение обеспечит предприятию существенное конкурентоспособное преимущество, что приведет к увеличению объемов реализации и, тем самым, к увеличению прибыли предприятия.



Рисунок 3 – Затраты на операцию  $V_{on}$  при использовании новых технологий

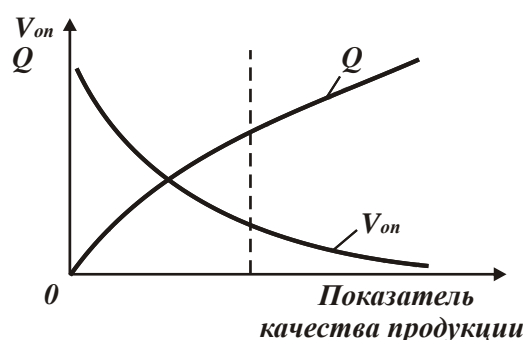


Рисунок 4 – Взаимосвязь затрат на операцию  $V_{on}$ , производительности  $Q$  и показателя качества продукции

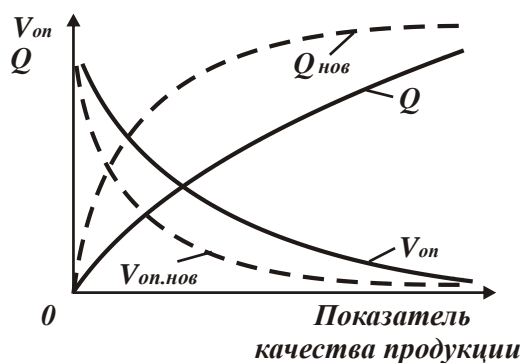
Руководство предприятий, опираясь на взаимосвязь затрат на операцию и показателя качества выпускаемой продукции, может выбирать необходимые уровни качества производимой продукции и затрат, которые достигаются с приобретением нового оборудования, технологий, инструментов и т.п. На рис. 4 показана взаимосвязь трех показателей: затрат на операцию, производительности и качества продукции. Используя эту взаимосвязь, можно определить величину затрат и производительность при определенной величине показателя качества продукции.

Из анализа взаимосвязи производительности производства и качества продукции, вытекает, что при достижении высоких показателей производительности производства качество продукции значительно ухудшается. Социально ответственный маркетинг выступает в роли ограничителя, согласно которому производительность производства не может быть выше определенной величины, так как превышение ее приводит к выпуску бракованной продукции (рис. 4). В таких случаях у руководителя предприятия возникают три альтернативных решения:

- работать с минимальной производительностью, но при этом соблюдать принципы социально ответственного маркетинга и выпускать качественную продукцию;

- повышать производительность и тем самым снижать затраты на выполнение операции для обеспечения возможности конкурировать на рынке за счет более низкой цены или получения сверхприбыли, нарушая при этом принципы социально ответственного маркетинга, реализуя бракованную продукцию;

- внедрять новые технологии в производство, позволяющие увеличивать производительность без снижения качества продукции (рис. 5).

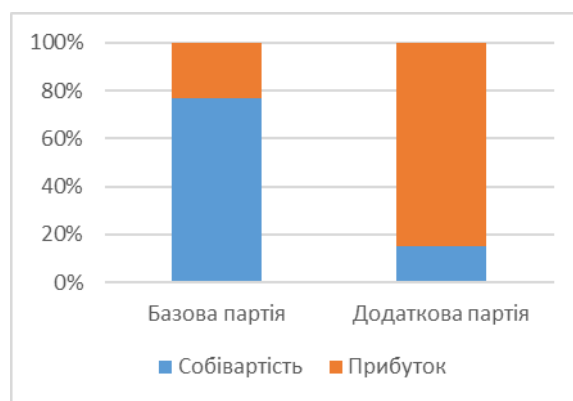


*Рисунок 5 – Взаимосвязь старой и новой технологий производства относительно качества продукции ( $V_{on}$  – затраты на операцию,  $Q$  – производительность)*

Согласно рис. 5, внедряя в производство новые технологии, у руководителя предприятия появляется возможность увеличения производительности без ухудшения качества продукции. Это связано со значительным изменением структуры затрат на выпуск продукции по новой технологии. Затраты на выпуск дополнительной продукции за счет повышения производительности будут включать: затраты на сырье и материалы, расходные инструменты, электро-

энергию, используемую на технологические цели, на изменение амортизации производственного оборудования на всю партию продукции. Постоянные затраты учитываются в себестоимости партии продукции, изготавливаемой по старой технологии. Затраты на заработную плату с учетом социальных отчислений (если не изменяется тарифная ставка рабочего) будут одинаковы для старой партии продукции и для новой партии продукции, увеличенной за счет повышения производительности.

Если, например, новое оборудование и технология позволяют увеличить производительность на 100 %, то предприятие сможет выпускать за определенное время не одно изделие, а два изделия. Затраты на производство второго изделия будут равны сумме стоимости сырья, расходного инструмента, дополнительно использованной электроэнергии и дополнительной амортизации оборудования. Остальные постоянные затраты и затраты на фонд оплаты труда основных рабочих будут определять экономический эффект и увеличат валовую прибыль предприятия (рис. 6).



*Рисунок 6 – Структура стоимости продукции при внедрении новой технологии производства*

Основным требованием для окупаемости данной модернизации является возможность заключения новых контрактов на производство продукции, увеличение доли рынка и выход на новые зарубежные рынки. С этих позиций можно объяснить эффективность применения в настоящее время на промышленных предприятиях Украины нового высокопроизводительного оборудования производства зарубежных фирм. Как показывает практика, его применение позволяет увеличить производительность производства до 10 раз при обеспечении высокого качества изготавливаемой продукции и, соответственно, при соблюдении принципов социально ответственного маркетинга. Это приводит к значительному повышению прибыли предприятия. Добиться такого же эффективного результата другими маркетинговыми методами для машиностроительных предприятий Украины фактически невозможно. Несмотря на достаточно высокую стоимость указанного высокопроизводительного оборудования иностранного производства, срок его окупаемости относительно небольшой. Например, в ЧАО «Свет шахтера» (г. Харьков) срок окупаемости приобретенного современного зубошлифовального станка с ЧПУ модели HOFLEER RAPID

1250 (производство Германии) составил всего 6 месяцев в связи с достигнутым увеличением производительности более чем в 5 раз и высоким качеством изготавливаемой продукции. При этом приобретенный станок заменил работу 4-х зубошлифовальных станков устаревшей конструкции, применявшихся ранее на предприятии. Поэтому в настоящее время применение иностранного оборудования на машиностроительных предприятиях Украины является важнейшим условием повышения интенсивности производства и создания высококачественной конкурентоспособной продукции, отвечающей принципам социально ответственного маркетинга, способной вывести предприятия из кризисного состояния и добиться их безубыточной деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П. А. Важнейшие факторы масштабного повышения социальной ответственности субъектов хозяйствования и их маркетинга для эффективного социально-экономического развития стран / П. А. Орлов // Економіка розвитку № 3(83). – 2017. – С. 20–33.

2. Auer M. Social Marketing als unternehmerisches Erfolgskonzept / M. Auer, M. Gerz. – Stuttgart: [s. n.], 1992. – 280 p.

3. Брун М. Внутрішньофірмовий маркетинг як елемент орієнтації на клієнта / М. Брун // Проблеми теорії та практики управління. – 2009. – № 6. – С. 66–69.

4. Carroll A. B. The Pyramid of Corporate Social Responsibility: Toward the Moral Management of Organizational Stakeholders // Business and Horizons. Vol. 34. № 4. 1991. P. 39–48.

5. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс. 2-е изд./пер. с англ. под ред. С. Г. Божук. – СПб.: Питер, 2006. – 464 с.

6. Шталь Т. В. Социальный маркетинг и социальная ответственность бизнеса: взаимосвязи и результаты / Т. В. Шталь, О. О. Тищенко // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2012. – № 4. – С. 97–104.

7. Яркіна Т. В. Основы экономики предприятия: краткий курс: Учебное пособие / Т. В. Яркіна. – Москва: Российский гуманитарный интернет-университет (РГИУ), 2005. – 85 с.

8. Жариков В. Д. Экономика машиностроения: учеб. пособие / В. Д. Жариков, Р. В. Жариков, Е. Б. Попова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с.

9. Проскурович О. В. Моделювання адаптивного управління прибутком підприємства / О. В. Проскурович, В. А. Бойчук // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2010. – № 1, т. 2. – С. 71–76.

10. Новіков Д. Ф. Соціально-відповідальний маркетинг в управлінні прибутком промислового підприємства. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 075 – маркетинг. – Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця Міністерства освіти і науки України. – Харків, 2020. – 278 с.

*Новиков С. Г.*  
ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт»,  
Курск, Россия  
*Малыхин В. В., Яцун Е. И.*  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,  
Курск, Россия

## РАЗРАБОТКА ДЕМПФИРУЮЩЕГО СБОРНОГО РЕЗЦА

Проведенные исследования показывают, что на повышение качества обработки и стойкости режущего инструмента в значительной степени влияют вибрации.

Недостатком известного резца (патент РФ №2009768, МПК<sup>5</sup> В23В27/00, опубл. 30.03.1994) является низкое качество обработки из-за неэффективности демпфирования возникающих в процессе резания вибраций, так как не виброизолированы подвижный упор и державка.

Сборному резцу (а.с. СССР №1816540, кл.В23В27/16, опубл.23.05.93, Бюл. №19) присущи также ряд недостатков:

Наличие в конструкции двух цилиндрических и пакета тарельчатых пружин, расположенных последовательно в державке, значительно снижает жесткость резца и не позволяет достигнуть требуемых качества обработки и стойкости инструмента.

Втулка, фиксирующая на державке опорную пластину, изготовлена из материала, не обладающего свойством высокого демпфирования, поэтому не уменьшает возникающие вибрации. Толкатель, цилиндрический штифт и шток не виброизолированы от державки, что также не позволяет создать обработанную поверхность необходимого качества.

Технической задачей предлагаемой разработки является повышение качества обработки и стойкости инструмента.

На рис. 1 представлен демпфирующий резец, содержащий державку 1, в которой размещены режущая пластина 2 с центральным цилиндрическим отверстием, установленная на опорной пластине 3, закрепленной на державке 1 с помощью фиксирующей втулки 4, механизм сброса режущей пластины 2, включающий толкатель 5, взаимодействующий с боковой поверхностью режущей пластины 2 и размещенный в регулировочно-направляющей втулке 6, и механизм закрепления режущей пластины 2, включающий пластинчатую пружину 7 для взаимодействия с передней поверхностью режущей пластины 2 и зафиксированную на державке 1 посредством винта 8, шток 9 с регулировочной гайкой 10, цилиндрический штифт 11 для взаимодействия с отверстием режущей пластины 2, установленный с возможностью осевого перемещения в отверстиях, выполненных в опорной пластине 3 и державке 1. На штоке 9 выполнен клиновидный участок 12 для взаимодействия с наклонной лыской 13 на цилиндрическом штифте 11, размещенным соосно с регулировочным винтом 14.

## Демпфирующий сборный резец

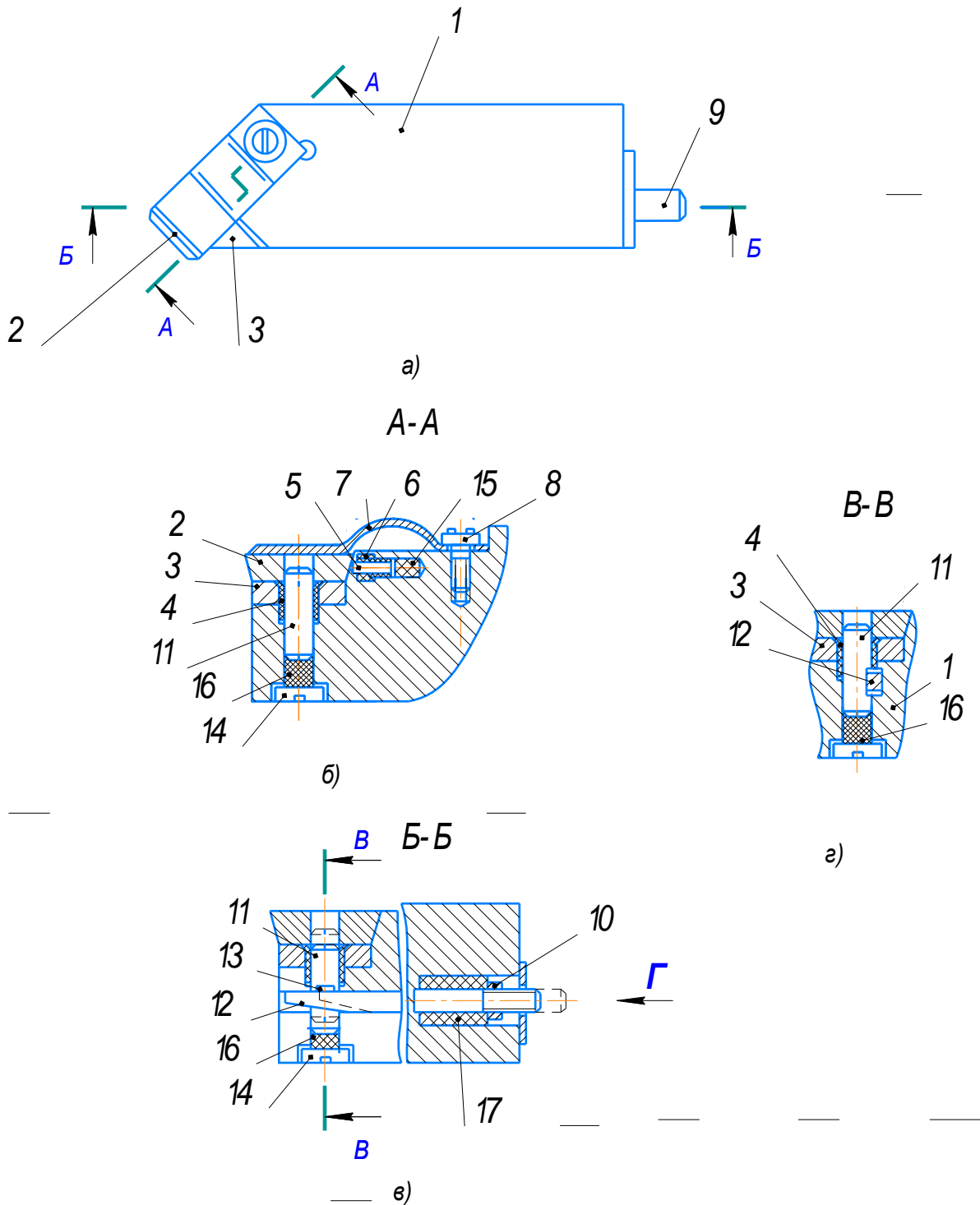


Рисунок 1 – Сборный демпфирующий резец

Толкатель 5 установлен с возможностью взаимодействия с вставкой 15 между его торцом и державкой 1.

Цилиндрический штифт 11 расположен на подпятнике 16, установленном над регулировочным винтом 14.



Шток 9 размещен в цилиндрической втулке 17 с возможностью взаимодействия с упомянутой регулировочной гайкой 10.

Вставка 15, подпятник 16, цилиндрическая 17, фиксирующая 4 и регулировочно-направляющая 6 втулки выполнены из материала с высоким демпфированием.

Вставка 15 и подпятник 16 установлены в державке 1 с предварительным напряжением сжатия.

Подготовку демпфирующего сборного резца к работе производят в такой последовательности.

Вставка 15, подпятник 16, цилиндрическая 17, фиксирующая 4 и регулировочно-направляющая 6 втулки изготовлены из материала с высоким демпфированием, могут гасить радиальные и осевые вибрации, а также эксплуатироваться под различными напряжениями и испытывать значительные деформации.

Подпятник 16 устанавливают регулировочным винтом 14 в державке 1 с предварительным напряжением сжатия, обеспечивающим усилие для расположения цилиндрического штифта 11 в центральном отверстии режущей пластины 2.

Регулировочно-направляющей втулкой 6 обеспечивают сжатие вставки 15 и необходимое взаимодействие толкателя 5 с боковой поверхностью режущей пластины 2.

Клиновой участок 12 штока 9 располагают в наклонной лыске 13 цилиндрического штифта 11 таким образом, чтобы штифт 11 находился в режущей пластине 2, а регулировочная гайка 10 взаимодействовала с цилиндрической втулкой 17.

Пластинчатую пружину 7, взаимодействующую с передней поверхностью режущей пластины 2, фиксируют посредством винта 8 на державке 1.

Процесс обработки конструкционного материала демпфирующим сборным резцом осуществляют следующим образом.

При обработке изделия в сборных частях резца возникают колебания, которые необходимо минимизировать. Радиальные и осевые колебания толкателя 5 демпфируют регулировочно-направляющая втулка 6 и вставка 15; цилиндрического штифта 11 – соответственно фиксирующая втулка 4 и подпятник 16; радиальные вибрации штока 9 - цилиндрическая втулка 17. В результате происходит значительное снижение вибраций всего резца, а, следовательно, повышение качества обработки, т.к. составные сборные части виброизолированы от державки 1.

При необходимости сменить изношенную режущую пластину 2 выключают станок, на шток 9 в направлении стрелки «Г» воздействуют, например, штоком гидро- или пневмоцилиндра. При этом шток 9 при помощи гайки 10 сжимает цилиндрическую втулку 17, смещается в направлении цилиндрического штифта 11, и клиновой участок 12, воздействуя на стенку наклонной лыски 13, перемещает штифт 11 вниз. Верхняя часть штифта 11 выходит из отверстия в режущей пластине 2, и толкатель 5 под действием силы упругости предвари-

тельно сжатой вставки 15 выталкивает режущую пластину 2 из-под пластинчатой пружины 7. Длину и ход толкателя 5 выбирают такими, чтобы часть поверхности режущей пластины 2 оставалась под пластинчатой пружиной 7 при полном выдвигении толкателя 5.

В этом случае зазор от нижней поверхности пластинчатой пружины 7 до верхней плоскости опорной пластины 3 сохраняется равным толщине режущей пластины 2. Исполнительный орган загрузочного устройства (не показан) устанавливает новую режущую пластину на открытый участок опорной пластины 3 (рис. 1,а), проталкивает режущую пластину под пружину 7, сжимает торцом толкателя 5 вставку 15 и одновременно выталкивает изношенную режущую пластину 2. В тот момент, когда отверстие новой режущей пластины окажется под штифтом 11, снимается усилие на штоке 9. Под действием первоначально сжатой цилиндрической втулки 17 шток 9 смещается вправо (рис. 1,в), штифт 11 под действием усилия сжатия подпятника 16 входит в центральное отверстие режущей пластины 2.

Включают станок и продолжают процесс резания с эффективным демпфированием вибраций, так как возможно осуществлять регулирование жесткостей сборных частей и самого резца в зависимости от обрабатываемого материала и технологических режимов резания, что повышает качество обработки, увеличивает стойкость инструмента и время между сменами режущей пластины.

Оригинальностью предложенного демпфирующего сборного резца является то, что толкатель 5 установлен с возможностью взаимодействия с вставкой 15 между его торцом и державкой 1, цилиндрический штифт 11 расположен на подпятнике 16, установленным над регулировочным винтом 14, шток 9 размещен в цилиндрической втулке 17 с возможностью взаимодействия с упомянутой регулировочной гайкой 10, при этом вставка 15, подпятник 16, цилиндрическая 17, фиксирующая 4 и регулировочно-направляющая 6 втулки выполнены из материала с высоким демпфированием, кроме того, вставка 15 и подпятник 16 установлены в державке с предварительным напряжением сжатия.

Это позволяет:

Повысить качество обработки и стойкость инструмента путем увеличения эффективности демпфирования колебаний резца за счет виброизоляции его сборных частей от державки материалом с высоким демпфированием.

Увеличить время между сменами режущей пластины, так как возможно осуществление регулирования жесткостей сборных частей и самого резца в зависимости от обрабатываемого материала и технологических режимов резания.

Таким образом предлагаемый демпфирующий сборный резец позволяет достичь технического результата по повышению качества обработки и стойкости инструмента.

Разработка относится к механической обработке конструкционных материалов и может быть использовано в инструментальном производстве и технологии машиностроения.

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВОГО МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ**

В останні роки на багатьох промислових підприємствах України здійснюється модернізація виробництва. На зміну застарілому металообробному обладнанню приходять нові високооборотні верстати із ЧПУ типу "обробний центр", що дозволяє багаторазово збільшити продуктивність праці при забезпеченні високоякісного виготовлення продукції, що випускається [1 – 4]. Це відкриває нові технологічні можливості виготовлення конкурентоспроможної машинобудівної продукції та виходу на світові ринки. В особливій мірі це відноситься до таких наукомістких галузей промисловості як літакобудування, енергетичне і транспортне машинобудування, а також інших галузей, де використовуються останні досягнення науки і техніки.

Характерною особливістю машинобудівної продукції, що випускається, є її високий технічний рівень і складність виготовлення. Це пов'язано із високими вимогами до точності та якості її виготовлення, особливо складнопрофільних деталей, що входять, наприклад, до складу виробів гідроапаратури, оскільки вони повинні забезпечувати задану гідросільність і витримувати високі тиски в системах, здійснювати впорскування порції рідини за час, що обчислюється в сотих і тисячних частках секунди.

В значній мірі це стосується прецизійних деталей пар тертя, які працюють в умовах інтенсивного тертя та зносу. У зв'язку з цим потрібно забезпечити високу точність розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей (1 ... 10 мкм), шорсткість поверхні на рівні  $Ra = 0,04 \dots 0,2$  мкм. При цьому на оброблених поверхнях не повинно бути припикань, мікротріщин, відколів та інших температурних дефектів. Необхідно виключити глибокі структурні перетворення в поверхневих шарах оброблюваної деталі, викликані температурним фактором, оскільки це може привести до прихованих дефектів обробки і передчасного виходу із ладу деталі. Необхідно також при обробці домогтися суттєвого зменшення теплової напруженості процесу, щоб виключити появу небажаних температурних деформацій тонкостінних оброблених деталей, які широко застосовуються у гідроапаратурі. При цьому надзвичайно важливо домогтися максимально можливої продуктивності праці та знизити собівартість обробки до економічно прийняттого рівня.

Однак, як показує виробничий досвід, виконати зазначені вимоги достатньо складно, тому що деталі виготовляються із матеріалів із високими фізико-механічними властивостями (високоміцні сталі та сплави, високотверді крихкі магнітні сплави, пластичні кольорові метали та ін.) і їх обробка пов'язана з

утворенням різноманітних похибок обробки, температурних дефектів і окремих рисок-подряпин на оброблюваних поверхнях.

Для їх усунення технологічними процесами передбачено виконання великої кількості додаткових трудомістких операцій доведення, полірування та ручної обробки, що значно підвищує собівартість і, відповідно, знижує ефективність виготовлення деталей. Тому вдосконалення технологій їх обробки на основі критеріїв максимальної продуктивності та найменшої собівартості обробки є актуальним завданням, спрямованим на створення конкурентоспроможної машинобудівної продукції.

Для підвищення ефективності механічної обробки відповідальних деталей гідравлічних систем, виготовлених із матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями, як зазначено вище, в останні роки широко застосовуються сучасні високооборотні металообробні верстати із ЧПУ типу “обробний центр” і різальні лезові твердосплавні та керамічні інструменти, що характеризуються підвищеною зносостійкістю. Однак, здійснення обробки на цих верстатах на режимах різання, що рекомендують виробники та які традиційно використовують в економічно розвинених країнах, в умовах виробництва України призводить до збільшення собівартості обробки й зниження продуктивності обробки. Це зажадало розробки нових підходів до вибору оптимальних параметрів процесу різання в умовах високошвидкісної обробки із урахуванням особливостей технологічних і економічних умов машинобудівного виробництва України.

Для забезпечення максимального використання потенційних можливостей нових металообробних верстатів та інструментів проведено комплекс теоретичних і експериментальних робіт щодо розробки ефективних технологій обробки різанням і пластичним деформуванням складнопрофільних високоточних деталей, виготовлених із спеціальних високоміцних сталей, сплавів і пластичних металів, в тому числі із застосуванням прогресивних конструкцій абразивних і лезових інструментів із синтетичних надтвердих матеріалів. Виявлено нові технологічні можливості високошвидкісної обробки і на цій основі створено високопродуктивні кінематичні схеми формоутворення поверхонь деталей, що реалізуються на високооборотних верстатах із ЧПУ, і оптимальні технологічні маршрути обробки із мінімально можливою кількістю фінішних операцій. Розроблено системи технологічної підготовки виробництва, що базуються на нових фізико-математичних підходах до оптимізації, проектування та управління технологічними процесами фінішної механічної обробки складнопрофільних високоточних деталей і науково обґрунтованому виборі оптимальних структур і параметрів технологічних систем.

В основу створення прогресивних технологічних процесів металообробки покладено нові підходи до їх техніко-економічного обґрунтування, в яких розрахунок основних статей витрат здійснюється із використанням аналітичних залежностей, що пов'язують між собою собівартість і технологічні параметри обробки. Оптимізація умов обробки за критерієм найменшої собівартості дозволила визначити оптимальні режими різання, характеристики інструменту,

оптимальну економічну стійкість інструменту, а також такий найважливіший економічний параметр як вартість інструменту. Це відкрило нові можливості вибору і придбання на світовому ринку у провідних фірм-виробників цілком конкретних за вартістю економічних інструментів.

Отримано нові теоретичні рішення щодо умов зменшення температури різання й глибини проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі. Доведено, що основною умовою зменшення цих двох найважливіших параметрів обробки є перехід в область високошвидкісного різання лезовими інструментами із застосуванням зносостійких інструментальних матеріалів – твердосплавних і керамічних пластин із нанесеними на їх робочі поверхні зносостійкими покриттями та ін.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень температури різання й стійкості різальних інструментів встановлено нові співвідношення параметрів режиму різання, які дозволяють зменшити собівартість і збільшити продуктивність обробки при забезпеченні високої якості оброблених поверхонь. Це дозволяє ефективно застосовувати нове дороге імпортне обладнання та різальні лезові твердосплавні та керамічні інструменти зі зносостійкими покриттями. В результаті на ряді провідних машинобудівних підприємств завдяки інвестиційній діяльності в даний час експлуатується від 10 до 100 одиниць сучасного високоточного металообробного обладнання. Це дозволило перевести виготовлення найбільш відповідальних деталей і вузлів машин на нові технології із застосуванням високопродуктивних прогресивних ріжучих інструментів. Перспективними в цьому напрямку є високошвидкісні методи точіння (розточування) і фрезерування, що дозволяють суттєво зменшити силову й теплову напруженість процесу різання, тобто знизити сили й температуру різання.

Впровадження розроблених на цій основі нових технологій металообробки на ряді машинобудівних підприємств дозволило скоротити трудомісткість виготовлення складнопрофільних високоточних деталей в 2 – 3 рази і за рахунок стабільного забезпечення параметрів точності та якості оброблених поверхонь підвищити на 30 – 50 % ресурс роботи виготовлених машин, вузлів і агрегатів.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Ф. В. Оптимальные решения в металлообработке: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Д. : ЛИРА, 2017. – 476 с.
2. Новиков Ф. В. Оптимальные решения в технологии машиностроения: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. Г. Шкурупий. – Д.: ЛИРА, 2018. – 423 с.
3. Жовтобрюх В. А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ: монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2019. – 480 с.
4. Технологи и технологии : научно-информационное издание / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, Д. Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 352 с.

*Новиков Ф. В.*  
Харьковский национальный экономический университет  
им. С. Кузнецца, Харьков, Украина  
*Новиков Г. В.*  
Научный центр НТК «Эльбор», Харьков, Украина

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Повышение экологической безопасности производства путем снижения и даже исключения опасных (вредных) воздействий на жизнедеятельность человека и состояние окружающей среды является одним из основных факторов развития экономики страны и улучшения благосостояния населения. Важную роль в этом играет применение в производстве экологически чистых технологий, например, исключающих использование химически вредных для здоровья рабочего технологических сред. Так, правка алмазных кругов на металлических связках, которые широко применяются при механической обработке материалов повышенной твердости, осуществляется электрохимическим методом. Для этого используют электролиты, вредные для здоровья рабочего и для оборудования, загрязняющие рабочее место химически активными веществами. В результате оборудование подвергается интенсивному коррозионному износу и теряет свои технические характеристики.

Более перспективным в этом направлении является метод электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках, который не требует применения вредных электролитов [1 – 3]. Правка круга производится с применением обычной технической воды, что не оказывает отрицательного воздействия на здоровье рабочего и технические характеристики оборудования, позволяет повысить экологическую безопасность технологического процесса. Примером эффективного применения электроэрозионной правки могут быть операции шлифования и огранки природных алмазов в бриллианты. Так, на операции круглого наружного шлифования используется алмазный круг на металлической связке формы 1А1 и диаметром 150 мм. Традиционно правка этого круга производилась электрохимическим методом. Для этого вращающийся круг в процессе шлифования помещали в ванночку с электролитом и это позволяло непрерывно растворять поверхностный слой металлической связки и удалять верхний ряд затупившихся алмазных зерен. Однако это требовало снижения скорости вращения круга из-за разбрызгивания электролита и загрязнения им рабочего места огранщика. Электролит оказывал вредное воздействие на руки огранщика и его органы дыхания. Применение электроэрозионной правки алмазного круга не требует его помещения в ванночку и использования вредного электролита. Поэтому внедрение электроэрозионной правки позволило существенно улучшить экологию технологического процесса шлифования алма-

зов, исключить вредное воздействие электролита на здоровье человека и окружающую среду, а также повысить производительность и точность обработки.

При огранке природных алмазов в бриллианты использовали специальные круги, у которых алмазоносный слой наносили на диск круга электрогальваническим методом. Диск круга изготавливали из специального чугуна, а алмазный порошок закреплялся составом ряда металлов. После электрогальванического нанесения алмазного порошка на диск круг уходил на укатку алмазоносного слоя и, тем самым, упрочнялся. Толщина алмазоносного слоя измерялась сотыми долями мм. Работоспособность такого круга составляла несколько рабочих смен, после чего круг уходил на переработку – необходимо было удалить остатки алмазоносного слоя с диска и снова электрогальваническим методом нанести на него алмазный порошок. Очистку поверхности диска производили в среде свободного абразива (карбида кремния зеленого с мелкой фракцией зерен). Использовали специальный станок с ванной, где смешивали порошок с водой, а также бронзовый диск, который вращался вместе с закрепленным на его оси ограночным диском в момент их прижатия. Притертая поверхность диска была всегда очень чистой и, главное, биения находилось в требуемых пределах – 0,01 мм. Однако имела место серьезная проблема экологии частого электрогальванического нанесения алмазного порошка на диск круга и удаления с него остатков алмазоносного слоя. В станках для обработки свободным абразивом, имеющих большие ванны, накапливалось много грязи, их приходилось постоянно чистить и вывозить много отходов.

Использование алмазных кругов на металлических связках (например, на связке МЗ-04 с характеристиками 6А2 300х60х5х50 АС6 10/7 4, изготовленном методом порошковой металлургии) с большой толщиной алмазоносного слоя могло бы решить эту экологическую проблему. Однако 100%-ой концентрации алмазных кругов оказалось недостаточно, чтобы заменить круги, изготовленные электрогальваническим методом. Разница в концентрации этих кругов была огромна. Поэтому на операции огранки природных алмазов в бриллианты, по-прежнему, используются специальные круги, у которых алмазоносный слой наносится на диск круга электрогальваническим методом, что загрязняет рабочее место химически активными веществами и снижает экологическую безопасность производства. Попытки увеличить поверхностную концентрацию спеченного алмазного круга путем введения в зону обработки дополнительной массы свободного алмазного порошка к успеху не привели. Качество огранки природных алмазов оставалось ниже, чем при обработке кругами, изготовленными электрогальваническим методом. Следовательно, вопрос повышения поверхностной концентрации спеченного алмазного круга остается актуальным. С его решением появилась бы возможность уйти от экологически вредной технологии электрогальванического нанесения алмазного порошка на диск круга.

Экологически чистая технология электроэрозионной правки была эффективно использована для выравнивания алмазоносного слоя большого сборного алмазного круга (диаметром 500 мм). Данный круг применяли для обработки деталей из керамики. Для выравнивания алмазоносного слоя круга традиционно

использовали абразивные круги (разные марки, белого и оранжевого цветов) размером 900x90 мм. Диаметр посадки этого круга был тоже большим. Практикой установлено, что для выравнивания сборного алмазного круга недостаточно одного абразивного круга. При его правке расход абразивных кругов был меньше, однако на рабочем месте образовывался туман от абразивной пыли. После правки алмазного круга совковой лопатой чистили отходы абразива. Стоимость абразива была очень высокая, что вызвало необходимость применения электроэрозионной правки взамен абразивной. Результаты такой правки оказались весьма положительными как в экологическом, так и в экономическом отношении, что и привело к ее эффективному использованию на заводе.

Экологически чистая технология электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках была эффективно использована на операции шлифования блок-матриц для синтеза алмазного порошка. Блок-матрица состоит из стальной обоймы с запрессованной в нее твердосплавной камерой, в которой происходит процесс синтеза алмазного порошка. Для обеспечения плоскостности верхней части блок-матрицы выполняется ее шлифование алмазным кругом на плоскошлифовальном станке модели 3Г71. Совместная обработка стали и твердого сплава алмазным кругом 1А1 250x20x5 на органической связке, как показывает практика, приводит к его интенсивному износу и снижению производительности обработки. Применение алмазного круга на керамической связке позволяет в определенной степени повысить производительность обработки и снизить износ круга, однако полностью решить проблему высокопроизводительного шлифования не удалось. Проблема была решена за счет применения алмазного круга 1А1 300x20x5 на металлической связке М1-01 и его электроэрозионной правки. Для осуществления электроэрозионной правки была произведена модернизация плоскошлифовального станка, которая включала электроизоляцию алмазного круга и осуществление токоподвода к нему через графитовую щетку. В качестве правящего электрода сначала использовалась обрабатываемая деталь. В качестве источника технологического тока применялся специально изготовленный генератор импульсов.

Однако электроэрозионная правка алмазного круга непосредственно в процессе шлифования не позволила добиться ожидаемых результатов. Плотный контакт алмазного круга с обрабатываемой поверхностью, с одной стороны, приводил к существенному увеличению разрядного тока, а с другой стороны, вызывал интенсивное засаливание алмазного круга. Круг фактически не подвергался правке, его рабочая поверхность была полностью покрыта светло-серым слоем стальной стружки. Поэтому от такой идеи электроэрозионной правки алмазного круга пришлось отказаться. Вместо нее была предложена идея осуществления электроэрозионной правки с использованием ручного изолированного электрода. Практическая реализация данной идеи показала положительные результаты. Так, новый алмазный круг на металлической связке М1-01, который был установлен на станок и имел значительное биение рабочей поверхности, с помощью ручного электрода был подготовлен к работе за небольшой промежуток времени. Это открыло новые возможности эффективного



использования экологически чистой электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Ф. В., Жовтобрюх В. А., Новиков Г. В. Современные экологически безопасные технологии производства: монография. – Д.: ЛИРА, 2017. – 372 с.

2. Новиков Ф. В. Основы повышения качества и производительности механической обработки: монография / Ф.В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Д.: ЛИРА, 2017. – 452 с.

3. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.

*Омельченко Л. В.*

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

## **ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ВІД УТИЛІЗАЦІЇ ПЕВНОГО КОМПЛЕКТУ БОЄПРИПАСІВ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

Одним з актуальних завдань, яке необхідно вирішувати нашій державі – це утилізація боєприпасів. Основним напрямком використання отриманої вторинної сировини є будівництво доріг, але враховуючи цінність матеріалів та хімічних елементів, що входять до складу боєприпасів згідно їх призначення пошук шляхів з інших напрямків її використання є економічно доцільним. В сучасному машинобудуванні для відновлення зношених деталей та зміцнення поверхонь нових виробів є наплавлення. В процесі наплавлення з метою підвищення експлуатаційної стійкості властивостей деталей використовуються модифікуючі та мікролегуючі домішки, які при внесенні в рідку ванну суттєво впливають на структуроутворення, яке можливо корегувати складом домішки, її часткою та параметрами технологічного процесу.

Якість відновлення в значній мірі залежить від структури і властивостей матеріалу деталі що відновлюється але при наплавленні за рахунок модифікування можливо значно підвищити міцність і експлуатаційну стійкість наплавленого шару.

Домішки нано- та дисперсних алмазів одержують, згідно діючої нормативно-технічної документації, а також у вигляді шихти з алмазною фракцією по додатковим технічним умовам.

В останні роки велика увага у машинобудуванні приділяється розвитку технологій, які для зміцнення та відновлення деталей використовують модифікуючі домішки з вторинної сировини одержаної з зольних відходів ТЕЦ, а в ХНТУСГ досліджено ефективність використання у цьому напрямку вторинної сировини одержаної від утилізації спеціального набору боєприпасів, які мають у своєму складі нано та дисперсні алмази. Така шихта має різні фракції зерен та може знайти використання в різних галузях виробництва – машинобудуванні, металургії, транспорті та видобудуванні газу і нафти.

Для зменшення витрат у виробництві нами розроблено нову технологію та спосіб одержання детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, які завершили період використання та зберігання на складах.

Новий спосіб одержання шихти з алмазною фракцією полягає у підборі та детонації конкретної номенклатури боєприпасів, їх спеціальному розташуванні при такому процесі та етапах проведення з характеристикою обладнання і умовами його реалізації.

Такий спосіб одержання алмазної фази відрізняється значною ефективністю у зв'язку з тим, що відсутні принципові границі на одержання конкретних статистичних об'ємів та маси вибухових зарядів, з підвищенням яких зростає час дії високого тиску, що забезпечує необхідну якість та розміри формуємих включень. Вони базуються на специфічних керуючих параметрах одержання алмазної дисперсної фракції та мають лише конкретне призначення.

Цей спосіб є економічним, та достатньо екологічним. Крім того, враховуючи матеріал з якого виготовлені конкретні боєприпаси та хімічний склад діючих речовин згідно їх призначення отримує сировину для високоякісного модифікатора, яка має не тільки наноструктурну алмазну фракцію, що не розчинюється при нанесенні покриттів, а і відіграє роль мікроохолоджувачів, та суттєво знижує структуроутворення.

В процесі проведення досліджень знайдені ефективні напрями використання магнітної складової шихти. Вона відрізняється формуванням дисперсних алмазних включень, які покриті кисневими плівками металів FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO. Підвищена температура цих сполук не дозволяє ідентифікувати при дослідженнях складу шихти – зерен конгломерату тому їх аналіз, поведінки у експлуатації та склад дисперсних алмазів вивчали лише при різних параметрах та технологіях нанесення покриттів.

Одержану при утилізації шихту поділили на фракції за розміром, а потім за складом, використовуючи магнітну обробку. Комплексними дослідженнями встановили, що магнітна фракція зерен конгломерату включає і частку не магнітної з наноалмазами та плівковими покриттями різних сполук комплектів. Тому для ефективного використання такої шихти детально визначили вміст такої вторинної сировини для розробки новітніх технологій нанесення покриттів.

Нами запропоновано три нових методи одержання покриттів на деталі з різних матеріалів: низьковуглецевих, низьколегованих та дисперснозміцнених, в яких досягались необхідні властивості якості та ефективності у використанні. До них відносяться: підвищення споживчих властивостей; гальмування зміц-

нюючих фаз в відновлювальному покритті деталі та одноразове зміцнення і за лікування дефектів. Для цього використовували різні технологічні підходи введення модифікуючої домішки в рідку ванну при наплавленні з попереднім її відпалом для корегування частки кисню також одноразово корегували і частку модифікуючої домішки, яка змінювалась в межах від 5,0 до 15,0 % ваги електроду.

Стендовими та промисловими дослідженнями в умовах виробництва ДП «Завод імені В.О. Малишева» показана ефективність використання модифікуючої магнітної частки домішки для споживчих властивостей. Введення такої домішки підвищує зносостійкість отриманих покриттів до 25 %, а зносостійкість відновлених таким методом деталей, котрі працюють у спряженні до 37 %. Це досягається за рахунок створення вторинних кисневих захисних плівок, які формуються та оновлюються у період експлуатації. Така киснева плівка на поверхні тертя включає до 0,34 % кисню.

Економічний ефект від впровадження технології відновлення 100 шт. карданних валів, згідно розробленої технології та параметрів їх зміцнення досягає 187,5 тис. грн.

*Опарина И.Б., Колмаков А.Г.*

Институт металлургии и материаловедения РАН, Москва, Россия

## **МОНИТОРИНГ ПОДАЧИ ВОЗДУХА В СТЕКЛОВАРЕННУЮ ПЕЧЬ**

На предприятиях стекловарения применяются разные стекловаренные печи. Все они представляют собой энергозатратные объекты. Для получения качественного продукта и энергосбережения на современных предприятиях устанавливаются системы автоматизации на разные технологические задачи.

### **Процесс стекловарения**

В процессе варки стекла в регенеративной стекловаренной печи непрерывного действия с поперечным направлением пламени (рис. 1) происходит последовательное превращение шихты в расплавленную стекломассу с последующим формованием изделий. Выделяют три стадии стекловарения, которые протекают в печи в следующей последовательности:

- нагрев до максимальной температуры (стеклообразование, силикатообразование);
- выдержка при максимальной температуре (осветление, гомогенизация);
- охлаждение до температуры формования (студка).

Температура, необходимая для стекловарения, достигается сжиганием природного газа над слоем шихты и расплавленной стекломассой. На разных участках печи поддерживается определенная температура с температурным профилем от 1080 до 1600 °С.

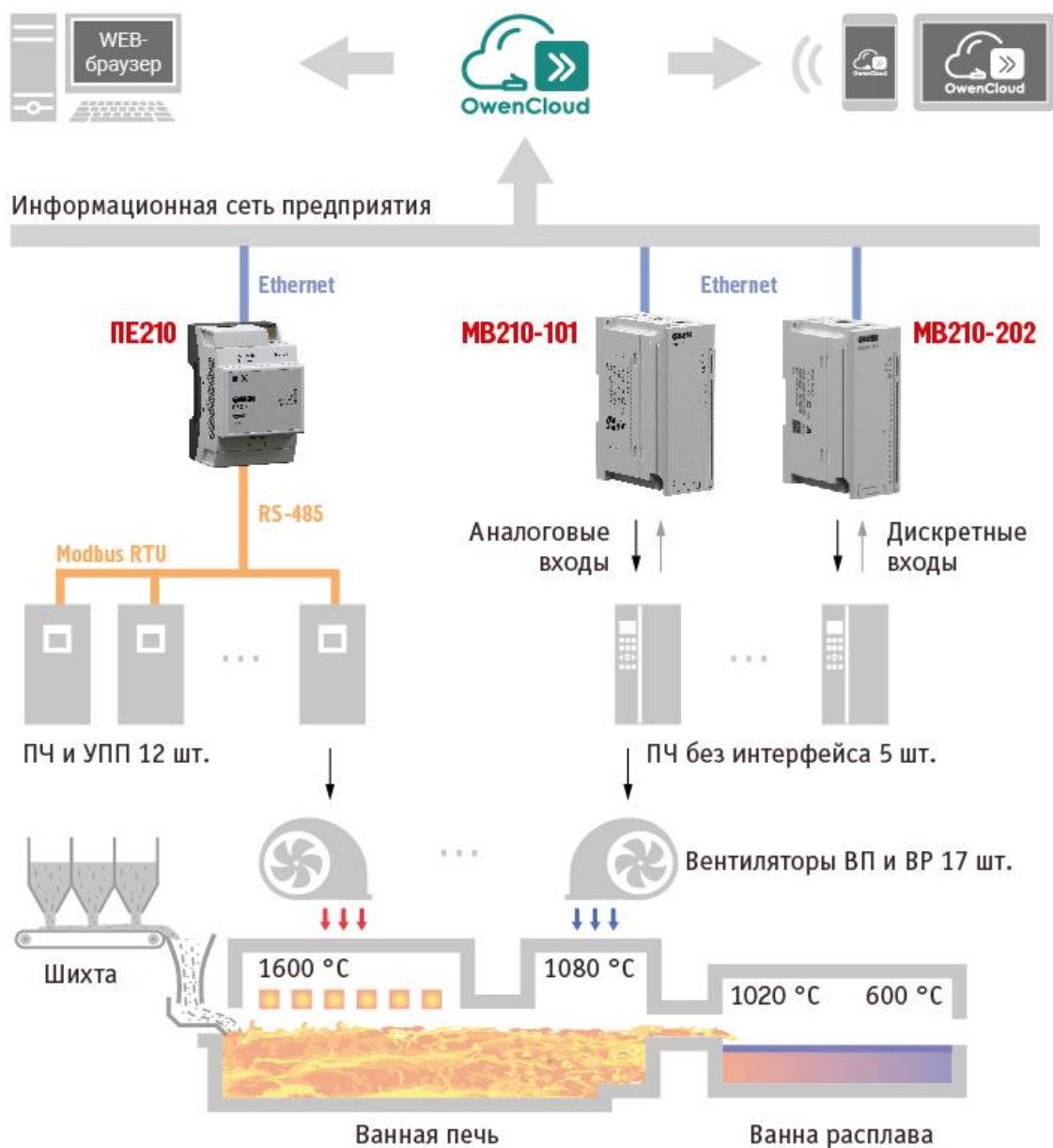


Рисунок 1. – Функциональная система мониторинга работы регенеративной печи

Температура и давление регулируются с помощью подаваемого воздуха. Система подачи воздуха состоит из нескольких подсистем. Каждая из них включает несколько вентиляторов (от 2 до 4), половина из которых находится в резерве. Производительность вентиляторов составляет от 7,5 до 220 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Подсистемы выполняют следующие функции:

- подачу воздуха на горение и поддержание гидравлического режима печи;
- охлаждение нижнего строения (бассейна) печи;
- охлаждение стекломассы в студке;
- обеспечение избыточного давления в студке;

- охлаждение задней подвесной стены печи;
- охлаждение верхнего строения (балок) печи.

Поскольку процесс варки стекла является непрерывным и энергоемким, то любые отклонения от технологического регламента могут привести не только к экономическим потерям, но и к аварийной ситуации, вплоть до разрушения печи, поэтому контроль параметров подачи воздуха является чрезвычайно важным. Так, плановая остановка печи, так называемый «холодный ремонт» происходит один раз в 7-10 лет. Современные системы мониторинга предотвращают аварийные ситуации.

### **Система мониторинга**

Для оповещения ответственных лиц о любых неисправностях в системе подачи воздуха (броски тока, выход из строя вентилятора, ошибки частотного привода и пр.) внедряют системы мониторинга. Принцип построения системы применим для разных технологических процессов, где требуется постоянный контроль 30-50 и более параметров (зависит от требований к частоте опроса).

Система может оснащаться частотными приводами (ПЧ) и устройствами плавного пуска (УПП) разных производителей, в том числе Schneider Electric, Control Techniques и Danfoss. Система может быть укомплектована автоматикой российского производителя ОВЕН. Система передает данные от ПЧ и УПП в локальную сеть предприятия с помощью сетевого шлюза ОВЕН ПЕ210, который опрашивает 17 приборов с интерфейсом RS-485 по протоколу Modbus RTU. Кроме этого, в системе могут применяться приводы, не оборудованные интерфейсными модулями. Сбор и передача данных с них производится с помощью модулей аналогового ввода ОВЕН МВ210-101 и дискретного ввода ОВЕН МВ210-202. Все данные передаются в облачный сервис OwenCloud через корпоративную информационную сеть предприятия.

Для пользователей вход в облачный сервис производится через учетную запись, зарегистрированную на сервисе предприятия. Для каждого пользователя настраивается индивидуальный профиль с правами доступа и паролем.

Контроль нештатных ситуаций ведется в журнале аварийных и предупредительных событий с автоматической рассылкой сообщений на e-mail, а также звуковых и push-уведомлений на мобильные устройства.

Система мониторинга обеспечивает просмотр архива на компьютере пользователя через web-интерфейс или на мобильных устройствах в приложении OwenCloud. В архиве хранятся параметры вентиляторов:

- аналоговые (ток нагрузки, частота сети, скорость вращения);
- дискретные (вкл./выкл., норма/авария);
- цифровые (код неисправности), которые могут быть представлены в виде графиков, таблиц и событий.

Период архивации составляет несколько секунд, в зависимости от способа подключения частотных приводов к системе мониторинга. Время хранения данных составляет несколько месяцев.

При необходимости возможно подключение дополнительных вентиляторов, а также расширение системы следующими функциями:

- рассылка SMS и сообщений в Telegram;
- отображение данных в виде мнемосхем;
- создание комбинированных аварийных сообщений по нескольким параметрам.

При наличии на предприятии WiFi-сети, допустимо подключение других технологических участков к облачному сервису OwenCloud с возможностью удаленного управления устройствами.

*Пермяков О. А., Клочко О. О.,*

*Камчатна-Степанова К. В.*

Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

*Новіков Ф. В.*

Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна

## **ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА З РОЗДІЛЬНОЮ СХЕМОЮ ФОРМОУТВОРЕННЯ З ПОВОРОТНИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

З метою підвищення сумарної розмірної стійкості та економічності інструменту розроблено конструкцію черв'ячної фрези з роздільною схемою формоутворення з поворотними непереточуваними різальними елементами. На рис. 1, а показаний один із корпусів фрези. Для зручності виконання розточень під різальні елементи – вальці кожний із корпусів фрез складений із двох одновиткових блоків [1, 2, 3].

Вальці мають дві кругові кромки і встановлені в корпусі з забезпеченням необхідних передніх і задніх кутів різання. Проекція кругової різальної кромки на осьову площину співпадає з профілем бічної поверхні зуба інструментальної рейки, тобто вона розташована під кутом  $\alpha_k$ . За мірою зносу різальної кромки, обертаючи ролик навколо осі, можна ввести в процес різання нову ділянку кругової кромки, а при повному затупленні однієї кромки ролик переналагоджують на іншу сторону і до роботи залучають іншу кромку. Це значно збільшує сумарну розмірну стійкість інструменту.

На рис. 1, б показано послідовне накладення двох проекцій кругової різальної кромки вальця на поверхню зуба, що обробляється, з утворенням гребінця висотою  $h_g$ .

Розглянута конструкція черв'ячної фрези є досить перспективною у випадку оснащення інструменту твердим сплавом. Як відомо, напаявання твердосплавних пластин до держалець із конструкційної сталі призводить до

структурних змін у твердому сплаві, знижує механічну міцність пластин, а також викликає внутрішні напруги в сплаві [1, 4].

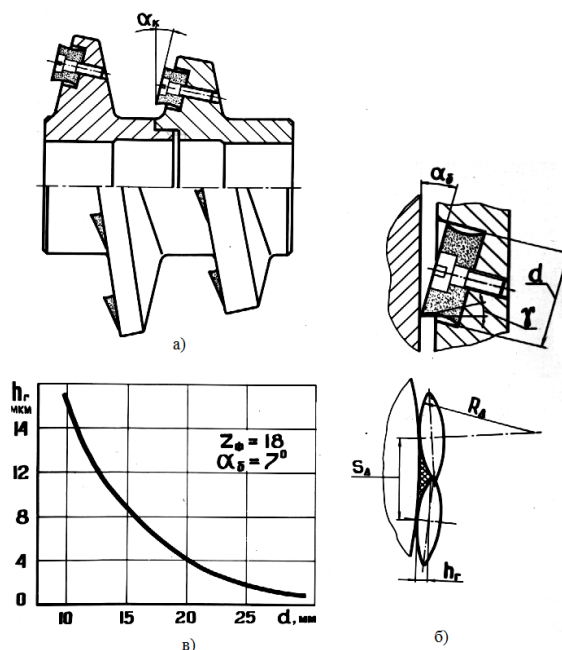


Рисунок 1 – Черв'ячна фреза з роздільною схемою формоутворення з поворотними непереточуваними різальними елементами – вальцями; а – загальний вигляд правого корпусу фрези; б – утворення гребінця нерівності в процесі обкатування зуба колеса; в – залежність висоти нерівностей від діаметру різального елемента – вальця

Це призводить до появи мікротріщин при заточуванні зубів та їх викришуванню в процесі роботи фрези. Тому оснащення черв'ячних фрез твердосплавними непереточуваними пластинами слід розглядати як один із шляхів підвищення стійкості інструменту. запропонованої конструкції надзвичайно економічні, оскільки не вимагають для своєї експлуатації спеціальних заточувальних верстатів.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kamchatna-Stepanova K. Influence of waviness parameters on the operational properties of cylindrical large-modular gears / K. Kamchatna-Stepanova, A. Klochko, A. Naydenko, A. Manokhin // International journal of engineering and advanced technology studies. - London. United Kingdom, 2021. – [Vol. 9, Issue 1.](#) – № 9. - P. 30–37.
2. Klochko A. Современные методы технологии формообразования крупномодульных зубчатых колес / A. Klochko, A. Skorkin, K. Kamchatna-Stepanova, E. Starchenko, M. Ishchenko // Znanstvena misel journal - Ljubljana, Slovenia, 2020. – № 48. – С. 25 - 26.
3. Ключко А. А. Технологическое основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко,

А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во «ОНИКС». – Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014–299 с.: ил., табл.; - (Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю. М. Соломенцев). ISBN 978-5-906703-02-6.

4. Ключко А. А. Предпосылки исследования новых направлений комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес / А. А. Ключко, С. В. Рябченко, О. А. Анцыферова, Е. В. Перминов // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 29 червня – 01 липня 2017 року. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – Т. 4. – С. 346–347.

*Пермяков О. А., Скидан Н. П.*  
Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна  
*Кондратюк О. Л., Скоркін А. О., Півень Л. В.*  
Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна

## **НАУКОВИЙ ПІДХІД ВВЕДЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ**

Прийняті металорізальні верстати з ЧПУ передаються в Механоскладальні цеху для забезпечення подальшої експлуатації із заповненням паспортів і зазначенням точностних параметрів після перевірки на відповідність норм точності. Паспорт складається на кожну одиницю основного обладнання з відображенням основних технічних даних металорізальних верстатів з ЧПУ. Точність верстатів ділять на два види: геометричну і кінематичну. Геометрична точність верстата визначається в його ненавантаженому стані. Кінематична точність залежить від похибок переміщення ланок в кінематичних ланцюгах механізмів верстата, що порушує теоретичні закони рухів інструменту і заготовки при формоутворенні [1].

Верстати по точності діляться на наступні групи: Н – нормальна; П – підвищена; В – висока; А – особливо висока; З – особливо точні. При переході від групи до групи точність верстатів зростає, приблизно, в 1,58 рази. Допуски на геометричну точність верстатів групи Н складають соті частки міліметра. Зокрема, допускається радіальне биття шпинделя токарних і фрезерних верстатів нормальної групи точності становить 0,01 – 0,015 мм, торцеве – 0,01 – 0,02 мм

Допуск відхилень від прямолінійності та паралельності напрямних токарних і поздовжньо-стругальних верстатів становить на довжині 1000 мм – 0,02 мм. Допуски на геометричну точність особливо точних верстатів менше, при-



близно, в 5–6 разів. Відповідно в стільки ж разів зростає вартість верстатів. Точність верстатів з ЧПУ безпосередньо впливає на геометрію оброблених поверхонь. При введенні в експлуатацію системи ЧПУ враховуються система введення і виведення даних – RS232, PCMCIA; межі переміщення (stroke limit); математичні, фізичні одиниці введення і їх дискретність (input unit) мм / дюйми; структура ЧПУ; конфігурація системи ЧПУ; відомості про конфігурацію, що знаходяться в пам'яті системи; програмне забезпечення ЧПУ (параметри, що визначаються користувачем, програми обробки); введення і виведення даних, завантажувальний меню; методика введення / виведення даних ЧПУ інструкція по вводу / виводу даних; прив'язка деталі, установка систем координат і коректорів; діагностика ЧПУ; повідомлення про помилки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шелковой А. Имитационное моделирование в задачах механосборочного производства / А. Шелковой, А. Ключко, Е. Набока // Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 528 p.: ISBN-13: 978-3-659-69172-0, ISBN-10: 3659691720.

Пижов І. М., Федорович В. О., Волошкіна І. В.  
Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків, Україна

## ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ СПА З ВВЕДЕННЯМ В ЗОНУ ОБРОБКИ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

Процес алмазного шліфування синтетичних полікристалів алмазу (СПА) можна розглядати як пристосованість двох різних по топографії поверхонь: дискретній робочій поверхні круга (РПК) і квазісуцільної оброблювальної поверхні СПА [1]. Ефективність будь-якого процесу абразивної обробки визначається рівнем пристосовуваності взаємодіючих поверхонь і можливостями зміни цього рівня за рахунок вибору умов шліфування (режими обробки, введення в зону шліфування додаткової енергії тощо) [2]. Цей висновок підтвердила практика використання відомого керованого способу алмазного шліфування надтвердих матеріалів алмазними кругами на міцних металевих зв'язках за пружною схемою, коли заготовку підтискають до РПК постійним навантаженням [1]. Його недоліком є низька продуктивність процесу обробки та підвищені питомі витрати алмазних зерен, що пов'язане з відсутністю необхідних умов для безперервного самозаточування останніх.

Для активації цього процесу запропоновано додатково вводити в зону обробки механічних коливань з інфразвуковою частотою [3]. В цьому випадку СПА підтискають до робочої поверхні алмазного круга одночасно постійним і додатковим навантаженнями, причому додаткове навантаження прикладається

періодично з фіксованими значеннями частоти і амплітуди шляхом падіння (близького до свобідного) додаткового вантажу. Обов'язковою умовою реалізації такого способу є безперервне регульоване електрохімічне видалення металевої зв'язки алмазного круга у процесі шліфування, що створює необхідні умови для безперервного самозаточування алмазних зерен в кругах. Однак, не зважаючи на суттєво покращені значення продуктивності обробки та питомих витрат алмазних зерен круга невеликим способом є низька якість обробки, що пов'язане з одночасним використанням великих амплітуд і низьких частот (інфразвуковий діапазон) прикладення періодично діючого додаткового навантаження [4].

З метою забезпечення потрібної якості обробки при високій продуктивності і низькому значенні питомих витрат алмазних зерен у кругах, нами запропоновано амплітуду додаткового навантаження задавати в зменшеному інтервалі (0,5 – 8) мм, а діапазон фактичних частот його застосування приймати вище верхнього значення частоти інфразвуку виходячи з нерівності:

$$f_i < f_\phi \leq \frac{C_f \cdot \eta}{\sqrt{(2 \cdot A/a)}}, \quad (1)$$

де,  $A$ ,  $f_\phi$ ,  $a$  – відповідно амплітуда (мм), фактична частота (Гц) додаткового навантаження і його прискорення (мм/с<sup>2</sup>);  $f_i=16 - 20$  – верхнє значення діапазону частот інфразвуку;  $\eta=0,85 - 0,90$  – коефіцієнт корисної дії механізму реалізації додаткового навантаження;  $C_f$  – конструктивний коефіцієнт, значення якого призначають з виразу:

$$C_f = 0,95 \cdot \exp(-0,012 \cdot A) \quad (2)$$

Тобто суть пропозиції полягає в тому, що використання механічних коливань в зоні менших амплітуд повинно позитивно вплинути на якість обробки. Процес треба реалізовувати в зоні частот які з одного боку перевищують верхнє значення діапазону частот інфразвуку, яке складає 16 – 20 Гц (ліва частина нерівності (1)), а з іншого – можуть бути практично достатньо легко реалізовані з використанням механічної системи створення періодичних навантажень. Мова йде про використання того ж самого пристрою для створення коливань [3]. Права частина нерівності (1) враховує теоретично можливу частоту з урахуванням часу падіння додаткового навантаження близького до свобідного (цей час залежить від параметрів  $A$  та  $a$ ). Отримана теоретична частота на практиці підлягає корегуванню (зменшенню до фактичного значення), як цього вимагає реальна конструкція механічного пристрою (наприклад, кулачковий механізм для підняття додаткового вантажу у вихідне положення). Саме для цього у склад нерівності (1) введено конструктивний коефіцієнт  $C_f$  значення якого призначають з виразу (2). Максимальне значення амплітуди додаткового навантаження  $A=8$  мм гарантує знаходження його частоти за межами інфразвукового діапазону. Використання значення амплітуд  $A < 0,5$  мм не рекомендується по причині необхідності використання занадто великих частот. Сказане вище пояснюється рис. 1.

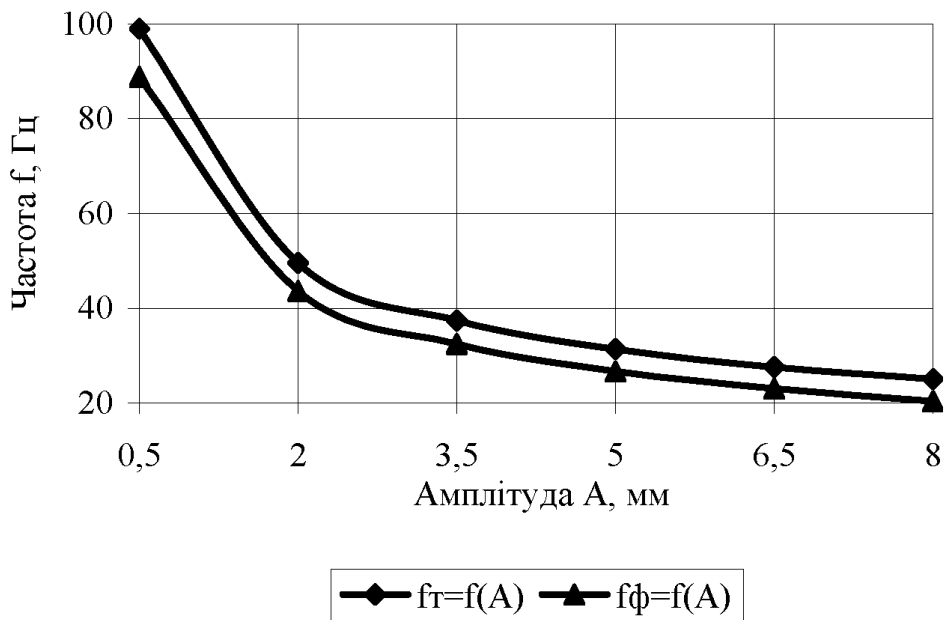
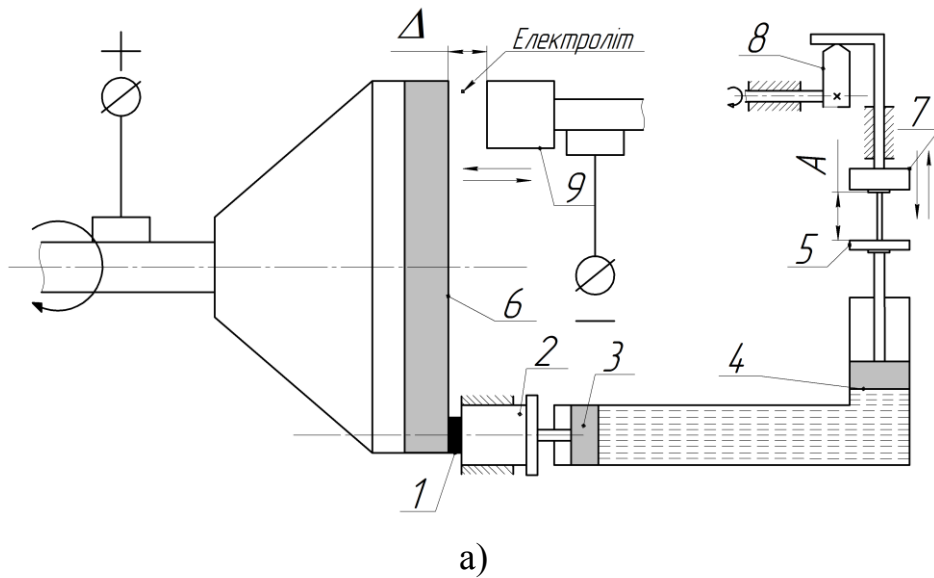


Рисунок 1 – Схема реалізації способу (а) та раціональні значення параметрів механічних коливань (б)

Як видно з рис. 1,а, оброблювальний матеріал 1 встановлюється в пристосуванні 2 і притискається за допомогою поршнів 3 та 4 гідравлічного пристрою постійним вантажем 5 до робочої поверхні круга 6. Періодично діюче додаткове навантаження на оброблювальний матеріал створюється додатковим вантажем 7 який періодично піднімається у граничне верхнє положення змінним кулачком 8 (в залежності від потрібної величини амплітуди А), а потім падає з прискоренням близьким до вільного. На практиці більші значення амплітуди (з меншими частотами) призначають на чорнових, а менші (з більшими частотами) на чистових етапах обробки. Для реалізації електрохімічної правки робочої поверхні круга використовується спеціальний електрод 9 (катод). Катод 9 підключають до негативного, а круг 6 до позитивного полюсів

джерела постійного струму. У зазор  $\Delta$  між ними подають електроліт, а силу струму ( $a$ , отже і інтенсивність електрохімічного розчинення металевої зв'язки круга  $b$ ) регулюють шляхом зміни величини цього зазору.

На рис. 1,б показано взаємозв'язок між частотою  $f$  (теоретичною  $f_T$  та фактичною  $f_\phi$ ) і амплітудою  $A$  додаткового навантаження. Криві  $f_T (f_\phi) = f(A)$  побудовані на базі використання формул (1) та (2).

Таким чином ці частоти з одного боку виходять за межі інфразвукового діапазону ( $\geq 20$  Гц), а з іншого мають значення реальні для реалізації їх на практиці ( $\leq 100$  Гц). Як показала практика, використання встановлених значень амплітуд і частот прикладення додаткового навантаження дає можливість забезпечення потрібної якості обробки при високій продуктивності і низькому значенні питомих витрат алмазних зерен у кругах. Експериментальні дослідження проводилися на базі модернізованого універсально-заточувального верстата мод. 3D642E. Для шліфування були обрані заготовки з синтетичного алмазу СКМ-Р. Технологічна рідина (електроліт) – 3%  $\text{NaNO}_3$ , 0,5%  $\text{CaCO}_3$  – інше вода. Використовували чашковий алмазний круг 12A2 45° 150x20x3x32 AC6 125/100 100% M2-01. Загальні умови обробки: постійний вантаж  $P_n=48$  Н, додатковий вантаж  $P_d=50$  Н, сила електричного струму у ланцюгу електрохімічної правки круга  $I=100$  А, повздовжня подача  $S_{\text{под}}=1$  м/хв. Порівнювали запропонований спосіб ( $f_\phi=20 - 100$  Гц) з прототипом ( $f_\phi=2 - 16$  Гц). У якості критеріїв для порівняння приймали брак виробів, питомі витрати алмазів круга ( $q$ ), а також рівень продуктивності ( $Q$ ).

Таким чином, як видно з даних таблиці, запропонований спосіб алмазного шліфування (діапазон частот вище інфразвуку) забезпечує значно кращі показники за всіма критеріями оцінювання у порівнянні з базовим варіантом (інфразвуковий діапазон частот).

*Таблиця. Порівняльні дані способів обробки*

Спосіб обробки	Брак виробів, %	$q$ , мГ/мм <sup>3</sup>	$Q$ , мм <sup>3</sup> /хв.
Базовий	10 – 14	10,2	15,4
Запропонований	1,5 – 3	8,8	17,1

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Семко М. Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М. Ф. Семко, А. И. Грабченко, М. Г. Ходоревский. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с.
2. Федорович В. А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Федорович Владимир Алексеевич. – Харьков, 2002. – 466 с.
3. Грабченко А. И. Повышение режущей способности токопроводящих алмазных кругов в комбинированных процессах шлифования ПСТМ /

А.И. Грабченко, И. Н. Пыжов, Д. М. Алексеенко // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». – №1, т. 1. – 2011. – С. 105–116.

4. Пат. 146996 Україна, МПК (2021.01) В24В 1/00. Спосіб алмазного шліфування з введенням в зону обробки механічних коливань / Пижов І. М. (UA), Федорович В. О. (UA), Волошкіна І. В. (UA). Власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № u 2020 07567; заявл. 27.11.2020 опубл. 31.03.2021, бюл. № 13.

*Полянський В. І.*

ТОВ «Імперія металів», Харків, Україна

*Новіков Ф. В.*

Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна

## **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНОЇ ФОРМУЮЧОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Для обробки складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості традиційно використовують технології механічної обробки. Як показує практика, технології шліфування та обробки традиційними лезовими інструментами, що застосовуються, є достатньо енергоємними, малопродуктивними та трудомісткими. У зв'язку із цим у ТОВ «Імперія металів» було прийнято рішення перейти до лезової обробки із застосуванням сучасних збірних лезових твердосплавних і керамічних різальних інструментів зі зносостійкими покриттями (закордонного виробництва) і сучасних високооберткових металорізальних верстатів із ЧПУ типу «обробний центр» [1, 2]. Для оцінювання ефективності такого переходу було проведено комплекс експериментальних досліджень енергоємності, температури різання та підвищення продуктивності й якості за різними методами механічної обробки.

Визначення енергоємності обробки (питомої роботи різання) здійснювали за залежністю  $A_{num} = N / Q$  (де  $N$  – ефективна потужність різання, Н;  $Q$  – продуктивність обробки, м/с<sup>3</sup>), яка співпадає із залежністю для визначення умовного напруження різання  $\sigma$ . Спочатку було визначено умовне напруження різання  $\sigma$  на операції плоского шліфування на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Л723АФ2И абразивним кругом ПП450x80x203 64С 40СМ деталі зі сталі 3 із режимом різання: глибина шліфування  $t = 0,01$  мм; швидкість деталі

$V_{det} = 15$  м/хв; поперечна подача за подвійний хід круга – 25 мм, швидкість круга  $V_{кр} = 35$  м/с. Експериментально встановлено, що  $N = 1,4$  кВт, а  $Q = 3750$  мм<sup>3</sup>/хв (рис. 1). Тоді енергоємність обробки дорівнює  $A_{шт} = N/Q = 22,4$  Дж/мм<sup>3</sup>, а умовне напруження різання  $\sigma = 22400$  Н/мм<sup>2</sup>.

Як видно, умовне напруження різання  $\sigma$  багаторазово перевищує межі міцності на стиск і зсув оброблюваного матеріалу. Це показує, що основну частину енергетичного балансу шліфування складає енергія, що витрачається на подолання сили тертя, яка виникає при шліфуванні. Енергія «чистого» різання в цьому випадку незначна, що приводить до збільшення температури різання.

Для визначення температури різання  $\theta$  було використано аналітичну залежність:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{det} \cdot t}{\lambda \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}}}}, \quad (1)$$

де  $c$  – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·град);  $\rho$  – щільність матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·град);  $R_{кр}$  – радіус шліфувального круга, м.

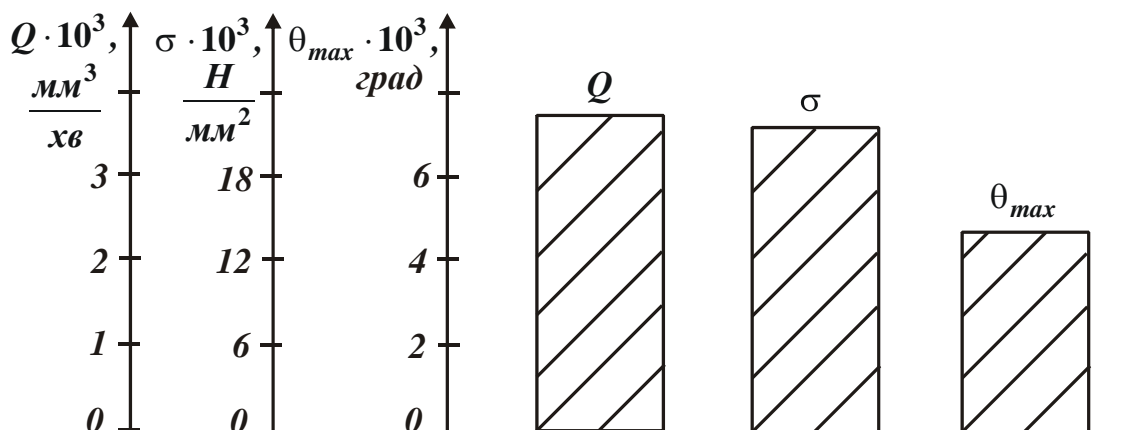


Рисунок 1 – Значення параметрів  $Q$ ,  $\sigma$  і  $\theta_{max}$  при плоскому шліфуванні деталі зі сталі 3

Для аналізу теплової напруженості шліфування було проведено оцінювання максимальної температури різання за залежністю  $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ . Теплофізичні властивості оброблюваного матеріалу – сталі 3:  $c \cdot \rho = 4,93 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·град);  $\lambda = 40,8$  Дж/(м·с·град). Розрахунками встановлено  $\theta_{max} = 4544$  °С, що значно перевищує температуру плавлення оброблюваного матеріалу. Із залежності (1) встановлено відношення  $\theta / \theta_{max} = 0,055$ . Для значення  $\theta_{max} = 4544$  °С отримано:  $\theta = 250$  °С.

Для значень  $t = 0,02$  мм і  $t = 0,03$  мм розрахункові значення  $\theta / \theta_{max}$  і  $\theta$  дорівнюють: 0,08; 0,12 і  $\theta = 363,5$  °С;  $\theta = 545$  °С (рис. 2). У цьому випадку отримані відносно невеликі значення температури різання  $\theta$  обумовлені незнач-

ною продуктивністю обробки, а також тим, що використовується лише до 12 % теплового балансу шліфування. Зі збільшенням продуктивності обробки температура різання  $\theta$  може досягти рівня температури плавлення оброблюваного матеріалу. Тому для забезпечення більш високої продуктивності та зниження енергоємності обробки  $A_{num}$  (умовного напруження різання  $\sigma$ ) доцільно перейти від операції шліфування до операцій лезової обробки.

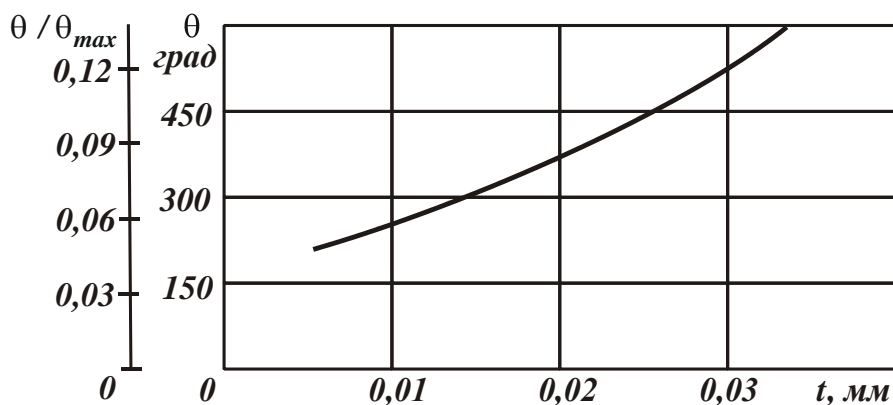


Рисунок 2 – Залежність температури різання  $\theta$  та відношення  $\theta / \theta_{max}$  від глибини шліфування  $t$

В роботі також наведено результати експериментальних досліджень операції розточування отворів  $\varnothing 25$  мм в деталі зі сталі 3. Обробку здійснювали на верстаті QUASER MV204P із ЧПК FANUC 31iB із застосуванням розточувальної головки TRM 50 із додатковим її балансуванням. Різальний інструмент оснащено змінною багатогранною пластиною TPGX09020LDC100T, виготовленою із кермету зі зносостійким покриттям TiN. Режим різання: швидкість різання  $V=157$  м/хв; глибина різання  $t=0,1$  мм; подача  $S=0,03$  мм/об.; частота обертання  $n=2000$  об./хв. Продуктивність обробки  $Q=V \cdot t \cdot S= 471$  мм<sup>3</sup>/хв. (рис. 3). Як видно, в даному випадку номінальна (задана) продуктивність обробки менше ніж при шліфуванні.

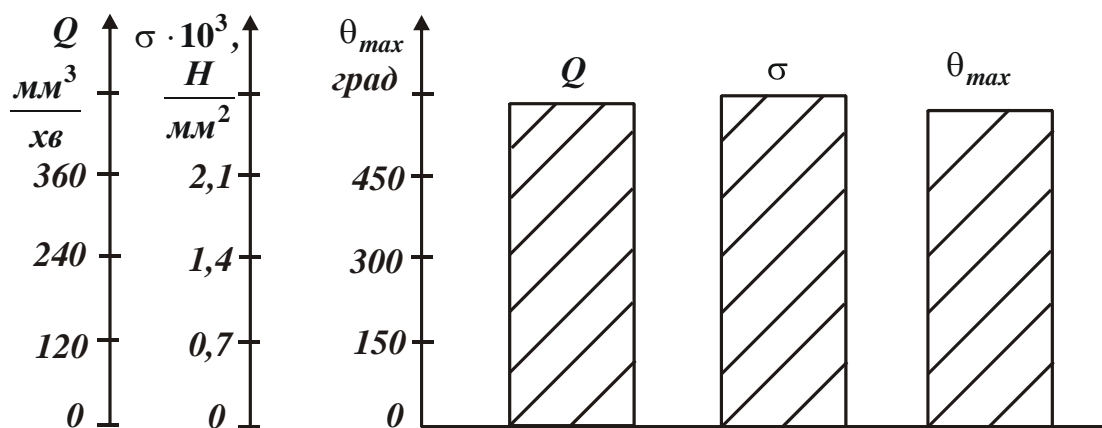


Рисунок 3 – Значення параметрів  $Q$ ,  $\sigma$  і  $\theta_{max}$  при розточуванні отворів

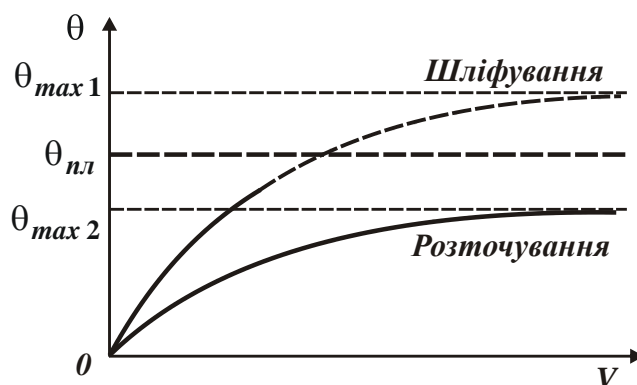


Рисунок 4 – Залежність температури різання  $\theta$  від швидкості різання  $V$

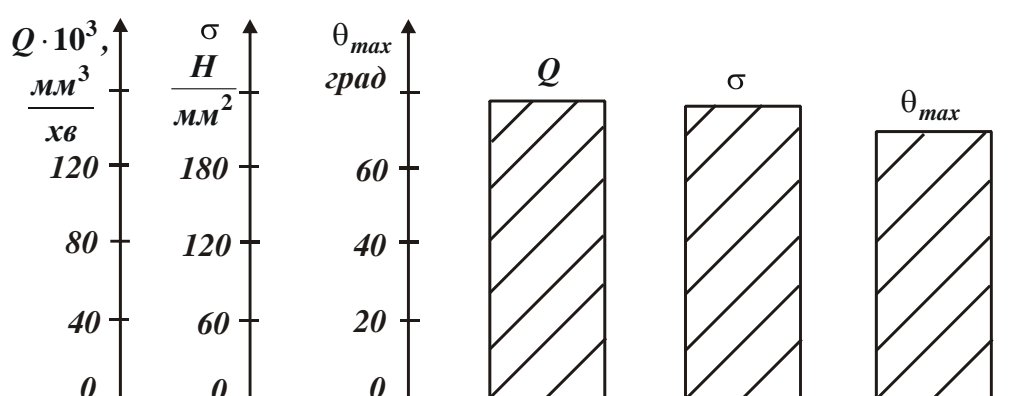


Рисунок 5 – Значення параметрів  $Q$ ,  $\sigma$  і  $\theta_{max}$  при точінні деталі «вал»

Експериментально встановлено  $N=22$  Вт. Відповідно,  $\sigma = N/Q = 2,8 \cdot 10^3 \text{ Н}/\text{мм}^2$ , що значно менше, ніж при шліфуванні.

Максимальна температура різання  $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$  із урахуванням значення  $c \cdot \rho = 4,93 \cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$  для сталі 3 дорівнює  $\theta_{max} = 568 \text{ }^\circ\text{C}$ . Як видно, отримане значення  $\theta_{max}$  значно менше температури плавлення оброблюваного матеріалу. Відповідно, температура різання  $\theta$  приймає ще менше значення. За даних умов різання  $\theta / \theta_{max} = 0,75$ . Тоді  $\theta = 426 \text{ }^\circ\text{C}$ . Це вказує на можливість суттєвого зниження теплової та силової напруженостей механічної обробки, забезпечення високої якості оброблюваної поверхні шляхом зменшення умовного напруження різання майже до межі міцності на стиск оброблюваного матеріалу – сталі 3. Тому застосування на операції розточування отворів сучасного лезового інструмента зі змінною багатогранною пластиною, виготовленою із кермету зі зносостійким покриттям TiN (закордонного виробництва), дозволяє значно підвищити ефективність обробки. Це також вказує на те, що доцільно на фінішних операціях обробки отворів перейти від традиційної технології внутрішнього шліфування до технологій високошвидкісного розточування сучасними різальними лезовими інструментами закордонного виробництва.



В цьому випадку з'являється можливість суттєвого підвищення продуктивності обробки фактично без збільшення температури різання  $\theta$ , оскільки вона незначно відрізняється від максимальної температури різання  $\theta_{max}$  (рис. 4). При шліфуванні цього домогтися неможливо, оскільки відношення  $\theta/\theta_{max} \ll 1$ . Тому зі збільшенням продуктивності обробки буде збільшуватися й температура різання, однак тільки до значення температури плавлення оброблюваного матеріалу. Обмеженням збільшення продуктивності при точінні може бути лише задана точність обробки. Виконати цю умову застосуванням традиційних технологій лезової обробки, як показано в даній роботі, надто складно.

В роботі проведено експериментальні дослідження операції точіння деталі «вал», виготовленої із латуні ЛС59, на сучасному верстаті TAKISAWA NEX-910. Для латуні ЛС59:  $c \cdot \rho = 3,23 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·град); коефіцієнт температуропровідності  $-a = 32,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Режим різання:  $V = 175$  м/хв;  $t = 1,5$  мм;  $S = 0,6$  мм/об. Продуктивність обробки  $Q = V \cdot t \cdot S = 157,5 \cdot 10^3$  мм<sup>3</sup>/хв. (рис. 5). Експериментально встановлено, що  $N = 600$  Вт. Відповідно, енергоємність обробки (питома робота різання) дорівнює:  $A_{num} = N/Q = 0,228$  Дж/мм<sup>3</sup>, а  $\sigma = 228$  Н/мм<sup>2</sup>. Отже операція точіння характеризується невеликою енергоємністю обробки, а умовне напруження різання лише незначно перевищує межу міцності на стиск оброблюваного матеріалу. Цим показано, що основну частину енергетичного балансу точіння складає енергія "чистого" різання, яка більше енергії, що витрачається на подолання сил тертя в зоні різання.

Розрахунками встановлено, що максимальна температура різання в цьому разі дорівнює  $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho) = 71$  °С. Відповідно,  $\theta/\theta_{max} \approx 1$ ;  $\theta \approx 70$  °С. Ці значення  $\theta_{max}$  і  $\theta$  значно менше температури плавлення оброблюваного матеріалу (латуні ЛС59), яка дорівнює 900 °С. Це є ще одним підтвердженням того, що в енергетичному балансі обробки лезовим інструментом переважає енергія «чистого» різання над енергією тертя, яке виникає в зоні різання.

Таким чином встановлено, що на операції точіння сучасним різальним інструментом можна суттєво підвищити продуктивність та знизити енергоємність обробки (умовне напруження різання  $\sigma$ ) і температуру різання щодо операції шліфування. При цьому температура різання  $\theta$  може досягати значення максимальної температури різання  $\theta_{max}$  (рис. 4), чого неможливо досягти при шліфуванні. Це дозволяє значно збільшити продуктивність обробки фактично без збільшення температури різання, яка може досягати значення максимальної температури різання  $\theta_{max}$ , що значно менше температури плавлення оброблюваного матеріалу.

В роботі проведено експериментальні дослідження операції фрезування деталі – фільєра макаронна "мушля", виготовленої з латуні ЛС59, на сучасному верстаті FANUC ROBODRILL  $\alpha$ -D21iB. Інструмент – твердосплавна мікрофреза LNE0808,  $D=0,8$  мм. Для латуні ЛС59:  $c \cdot \rho = 3,23 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·град);  $a = 32,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Режим різання:  $V = 50$  м/хв;  $n = 20000$  об./хв.;  $t = 0,2$  мм;  $S = 1200$  мм/хв.; ширина фрезування дорівнює діаметру мікрофрези  $D=0,8$  мм.

Продуктивність обробки  $Q = D \cdot t \cdot S = 192 \text{ мм}^3/\text{хв}$ . (рис. 6). При цьому експериментально встановлено, що  $N = 3 \text{ Вт}$ . Відповідно, енергоємність обробки (питома робота різання) дорівнює:  $A_{\text{нм}} = N/Q = 0,937 \text{ Дж/мм}^3$ , а  $\sigma = 937 \text{ Н/мм}^2$ . Таким чином, умовне напруження різання незначно перевищує межу міцності на стиск оброблюваного матеріалу, тобто основну частину енергетичного балансу при фрезуванні складає енергія «чистого» різання.

Розрахунками встановлено, що  $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho) = 290 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta / \theta_{\text{max}} = 0,2$ . Відповідно,  $\theta = 58 \text{ }^\circ\text{C}$ . Як видно, температура різання при фрезуванні деталі, виготовленої із латуні ЛС59, значно вище, ніж при розточуванні. Це пов'язано із підвищенням інтенсивності тертя в зоні різання. Тому для зменшення температури різання при фрезуванні необхідно застосовувати охолоджувальну рідину.

В результаті застосування нових розроблених технологій лезової обробки вдалося суттєво – до 10 разів підвищити продуктивність і приблизно в стільки ж разів зменшити трудомісткість обробки при одночасному підвищенні якості та точності оброблюваних поверхонь. Також, завдяки застосуванню спеціально розроблених сучасних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, вдалося скоротити на 90 % персонал слюсарів – складальників, фахівців із ручного доведення поверхонь деталей, які займалися виконанням традиційних технологій механічної обробки.

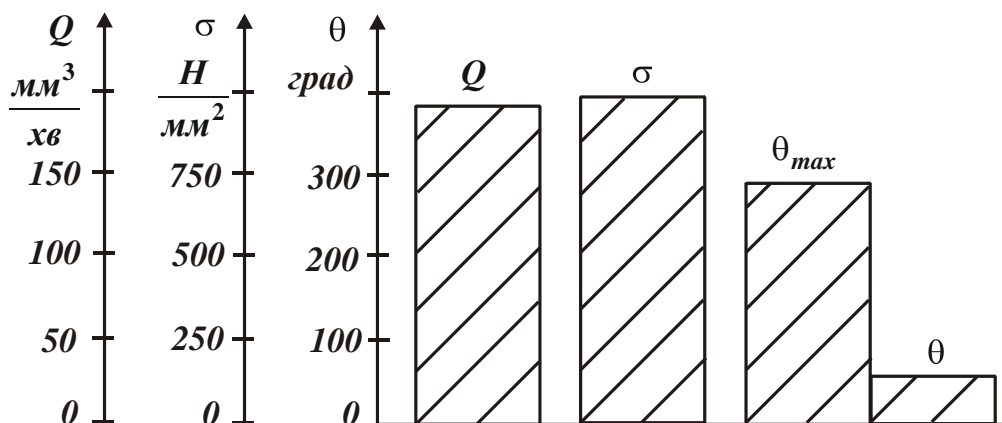


Рисунок 6 – Значення параметрів  $Q$ ,  $\sigma$ ,  $\theta_{\text{max}}$  і  $\theta$  при фрезуванні деталі – фільєра макаронна «мушля»

Слід зазначити, що раніше в умовах великосерійного виробництва у ТОВ «Імперія металів» виготовлялось до 20 тис. фільєр в місяць (не більше 7 видів в місяць), тобто 3000 на 1 вид виробу. Однак ринок вимагав гнучкості – переходу до дрібносерійного і навіть штучного виробництва зі середньосерійністю – не більше 200 деталей одного виду виробів. Тому застосування нового сучасного обладнання і технологій механічної обробки дозволило здійснити потужний стрибок – забезпечити виробництво 20 ... 22 тис. фільєр на місяць, але вже 60 ... 70 видів, тобто в 10 разів збільшити асортимент виготовлених виробів на місяць. В результаті було вирішено важливе завдання – зни-

ження вартості виробів до цін ринку, при цьому їх якість підвищилася до світового рівня, а асортимент виробів збільшився до 10 разів.

Якщо раніше виготовлялося 25 різновидів фільтер для виробництва макаронів, то в даний час – понад 4500 різновидів, тобто за 20 років кількість різновидів фільтер збільшилася до 200 разів. При цьому займані виробничі площі в ТОВ «Імперія металів» не збільшилися. Постійне удосконалення технологічних процесів дозволило збільшити випуск виробленої продукції приблизно на 20 % щорічно. Це досягнуто в результаті постійного оновлення виробничих потужностей і устаткування без збільшення штату персоналу (кількість працівників залишалася без зміни). В даний час забезпечено виробництво в достатній кількості для підприємств харчової промисловості роторів для печива, обсадних фільтер, штампів для виробництва цукерок, фільтер для виробництва нуги та пастили, валків для виробництва пельменів, різних запасних частин для кондитерських і макаронних машин та для інших харчових агрегатів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Технологии производства: проблемы и решения: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, Крюк А. Г., Савченко Н. Ф., Шкурупий В. Г., Полянский В. И., Рябенков И. А., Новиков Д. Ф. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.

2. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.

*Омельченко Є.І., Лебедев В.Г*

Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

## **СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З МАРТЕНСИТНО-СТАРІЮЧИХ СТАЛЕЙ ВИСОКОПОРИСТИМИ АБРАЗИВНИМИ, ЕЛЬБОРОВИМИ ТА АЛМАЗНИМИ КРУГАМИ**

Високопористі абразивні круги в порівнянні зі звичайними кругами мають підвищену ефективність при експлуатації на різних операціях шліфування. При їх використанні підвищується продуктивність, зменшуються сили і температура в зоні різання, знижується або усувається ризик появи дефектів шліфувального характеру, поліпшується фізико-механічний стан поверхневого шару обробленої деталі. Також до переваг високопористих абразивних кругів можна віднести поєднання підвищеної зносостійкості з гарантованим забезпеченням безприжогового шліфування в широкому діапазоні режимів обробки. Можливість поєднувати чорнову і чистову обробки, досягнення високого знімання матеріалів при високих швидкостях різання і кращому відводу стружки, зменшу-

ється ймовірність засалювання круга, можливе шліфування без використання мастильно-охолоджуючих рідин. [3]

Актуальність використання високопористих абразивних кругів полягає в тому, що вони дозволяють підвищити продуктивність шліфування і якість оброблених поверхонь із різних матеріалів. Вони ефективні при обробці жаростійких, титанових, нержавіючих, кольорових сталей і сплавів, що відрізняються високою в'язкістю і пластичністю. До сталевих сплавів з такими характеристиками можна віднести й мартенситно-старіючі сталі. Такі сталі можна застосовувати в верстатобудуванні, літакобудуванні, космічній техніці, машинобудуванні, приладобудуванні та інструментальній промисловості. Вони йдуть на виготовлення деталей таких як: корпуси ракетних двигунів, деталей шасі літаків, штампованих вузлів і кріпильних деталей. Тому актуальною є задача дослідити закони змін сил різання при шліфуванні цими кругами.

**Мета і завдання дослідження** - за допомогою експериментів, використовуючи абразивні, КНБ і алмазні круги з'ясувати закономірності зміни сил різання в процесі шліфування деталей з мартенситно-старіючих сталей.

#### **Матеріали і методи досліджень**

Дослідження сил різання проводилися на прикладі деталі мартенситно-старіючої сталі Н8К18М14 за допомогою високопористих шліфувальних кругів – абразивних (електрокорунд), кубічного нітриду бору (КНБ) і алмазних. В ході дослідження використовувалася методика планованого експерименту. Сили різання були виміряні за допомогою приладу динамометра (УДМ 50) за стандартною методикою. [4]

#### **Дослідження**

В результаті аналізу зміни величини сили  $P_y$  і  $P_z$  мартенситно-старіючої сталі Н8К18М14 від глибини шліфування при різній структурі досліджуваних кругів були складені графіки, що наглядно демонструють цю залежність.

#### **Результати експериментальних досліджень**

Внаслідок експериментальних досліджень з'ясовано, що при шліфуванні мартенситно-старіючої сталі кругами з алмаза, електрокорунду і КНБ сили різання при структурі круга 26 приходять до величин від 2, 7Н до 30, 7Н, а при структурі круга 40 приходять до величин від 2, 49Н до 28, 2Н. Для шліфувальних кругів, виготовлених з електрокорунду, алмаза і КНБ, змінюючи їх зернистість від 25 до 8, можна спостерігати зростання величини сил різання від 2 – 2,5 разів відповідно.

Дане явище можна пояснити наступним чином: зменшуючи зернистість шліфувального круга, ми спостерігаємо істотне збільшення числа ріжучих зерен на одиниці поверхні круга, і це видно в зоні контакту шліфувального круга з заготовкою. При цьому відбувається зменшення силового навантаження на одиничне зерно, яка не може відшкодувати збільшення кількості зерен. Саме це викликає відчутне зростання сил різання. Варто звернути увагу, що сили різання також зростають через тертя між шліфувальною поверхнею і зв'язкою кола при використанні дрібнозернистих кругів.

В результаті проведених досліджень, вдалося експериментально визначити існуюче співвідношення між силами різання  $P_y$  і  $P_z$ , яке становить в середньому 1,75, тобто таке ж як при шліфуванні кругами звичайної пористості.

В ході експерименту було з'ясовано: сили різання  $P_y$  і  $P_z$  в широті допустимих режимів, які найчастіше застосовуються при круглому і плоскому шліфуванні, можуть досягати наступних значень: при структурі кола 26 приходять до величинам від 2, 714Н до 30, 721Н, а при структурі кола 40 приходять до величинам від 2, 490Н до 28, 185Н.

Зменшуючи зернистість круга, отримуємо ефект збільшення енергетичних витрат процесу шліфування, за рахунок зростання величини сил різання.

Якщо порівнювати сили різання, що виникають при шліфуванні різними кругами, то можна відзначити наступне: у порівнянні з електрокорундовими кругами при використанні кіл КНБ сили різання зменшуються на 20-25%, а, здійснюючи шліфування алмазними кругами, вплив сил різання знижується на 25 - 30%.

Слід зазначити, що сили різання зростають при збільшенні поздовжньої подачі та глибини різання, а при зростанні швидкості обертання круга відбувається зворотне - величина сил різання зменшується.

### **Висновки**

На прикладі шліфування мартенситно-старіючої сталі Н8К18М14 можна стверджувати, що в процесі необхідно вибирати круги, які мають максимальну зернистість, яка тільки допустима для задоволення заздалегідь наявних вимог до шорсткості поверхні деталі.

З огляду на умови охорони праці, необхідно швидкість обертання круга вибирати не менше 30 м/с або трохи вище.

Використовуючи при шліфуванні круги з КНБ необхідно знати, що сили різання на 20-25% менше, ніж при шліфуванні електрокорундовими кругами.

Використовуючи при шліфуванні алмазні круги слід враховувати, що сили різання на 30% менше, ніж при шліфуванні електрокорундовими кругами.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кравченко Б.А., Кравченко А.Б. Фізичні аспекти теорії процесу різання металів. Самара: Самар. держ. техн. ун-т, 2002. 167 с.
2. Ша В. і Го З. Мартенситно-старіючі сталі: моделювання мікроструктури, властивостей і застосування, Woodhead Publishing Limited, Кембридж, Великобританія 2009.
3. Старков В.К. Шліфування високопористими кругами. - М.: Машинобудування, 2007. - 688 с., Іл.
4. Фроленкова О. В. Забезпечення якісних характеристик напилення термобар'єрного шару ельборовим шліфуванням. Дис. канд. техн. наук. Одеса, 2021.
5. Маслов Е.Н. Основи теорії шліфування металів. М., Машгіз, 1951, - 190 с.

*Протасенко О. Ф.*  
Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна  
*Мигаль Г. В.*

Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## **ІНСТРУМЕНТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЕКОСИСТЕМ**

Пріоритетність питання забезпечення надійності і безпеки цифрових екосистем обумовлює посилення вимог до науково-технічних розробок, що стимулює пошук і застосування нових нестандартних рішень, які знаходяться на перетині різних наукових напрямів. Більше того, застосування таких рішень сьогодні забезпечує максимально високі показники у питаннях безпеки та ефективності роботи цифрових технологій. Таким чином, володіння знаннями в сфері безпеки технологій та обладнання, безпеки життєдіяльності людини, уміння знайти нестандартне рішення, застосовуючи поєднання знань з різних наукових галузей, навик оцінювання ризиків з різних позицій – ознаки найвищої кваліфікації фахівця. Уміння запобігти ризикам та мінімізувати можливі негативні наслідки, пов'язані із людським чинником, – це сьогодні одна з найсуттєвіших професійних навичок. Сформувати таку навичку в людини не просто, а в умовах роботи у цифровому середовищі це зробити ще складніше. Це обумовлено тим, що під час роботи у цифровій екосистемі в людини виникає помилкове відчуття захищеності і безпеки, оскільки вона має справу з високо технологічними пристроями з високим рівнем безпеки. Цей факт знижує увагу людини до питань безпеки, оскільки вона знає, що техніка виправить її помилки, забуваючи при цьому, що деякі помилки є не виправними і призводять до реалізації аварій і катастроф.

Таким чином, актуальним є акцент на питанні вивчення прояву людського чинника у цифровому середовищі.

Ефективним інструментом у цьому питанні є вивчення майбутніми фахівцями дисципліни «Інженерія людського чинника». Як галузь знань, інженерія людського чинника являє собою сукупність принципів функціонування людино-машинних систем і включає інформацію про ресурси людини, технічні можливості обладнання, безпеку робочого місця і середовища. Як складова трудової діяльності, вивчення дисципліни «Інженерія людського чинника» необхідне майбутньому фахівцю, оскільки він повинен розуміти особливості взаємодії людини і техніки, вплив чинників середовища на нього, причини виникнення помилкових дій і їх наслідки тощо.

Таким чином, головна задача дисципліни «Інженерія людського чинника» – забезпечення безпеки функціонування людино-машинної системи і, зокрема, цифрової екосистеми.

Якщо дослідити зміст дисципліни «Інженерія людського чинника» у її сучасному форматі, який використовують більшість закладів вищої освіти по всьому світу, то очевидно, що головний акцент у ній зроблено на врахуванні сильних і слабких психофізіологічних характеристик людини під час розробки ергатичних систем, в яких задіяні люди, інструменти і технології, а також робоче середовище для забезпечення безпеки та ефективності діяльності. По суті, це застосування знань про обмеження людської природи до проектування обладнання, систем і методів роботи, щоб підвищити безпеку, надійність і ефективність людино-машинних систем. Така дисципліна необхідна будь-якому сучасному фахівцю, який повинен враховувати при проектуванні та експлуатації цифрової екосистеми особливості взаємодії людини і машини, стиль діяльності, вплив стрес-чинників середовища тощо (рис. 1).



Рисунок 1 – Роль інженерії людського чинника у питаннях безпеки

Кінцева мета вивчення навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» – забезпечити ефективність і безпеку діяльності людини в системі «людина – машина» на всіх етапах її життєвого циклу – від проектування до експлуатації. Ключовий елемент для її досягнення – врахування безпосередньої залежності діяльності людини від психофізіологічних, психічних, біомеханічних, антропометричних та інших характеристик, які є визначальними при проектуванні систем та технологій. Для цього інженерія людського чинника має у своєму арсеналі всі необхідні складові – когнітивну ергономіку, нейроергономіку, когнітивну психологію, біоінженерію людини та інші науки. У підсумку це дасть можливість майбутньому фахівцю, з одного боку, навчитися керувати людським чинником, а з іншого, – розвинути крім аналітичного і синтетичне мислення. Слід зазначити, що у більшості випадків при підготовці фахівців акцент роблять на пріоритетному для даного виду професійної діяльності типі мислення. Проте цифрова екосистема є відкритою соціально-технічною системою, і тому для безпечного функціонування потребує застосування різних типів мислення.

Проаналізуємо структуру дисципліни «Інженерія людського чинника» за допомогою адаптованої моделі Using and accumulating knowledge in the two realms Charles L. OWEN (рис. 2).

Знання, які одержує майбутній фахівець, включають дві парадигми – запити і застосування. Парадигма запити є проявом аналітичного мислення і знаходиться у теоретичній площині. Вона включає теоретичне дослідження цифрових екосистем, формування гіпотез щодо їх функціонування та експериментальне тестування. Парадигма застосування – це прояв синтетичного мислення і тому знаходиться у практичній площині. Вона включає побудову моделей, вибір найбільш релевантної умовам діяльності моделі цифрової екосистеми, верифікація цієї моделі та формулювання загальних закономірностей її функціонування.

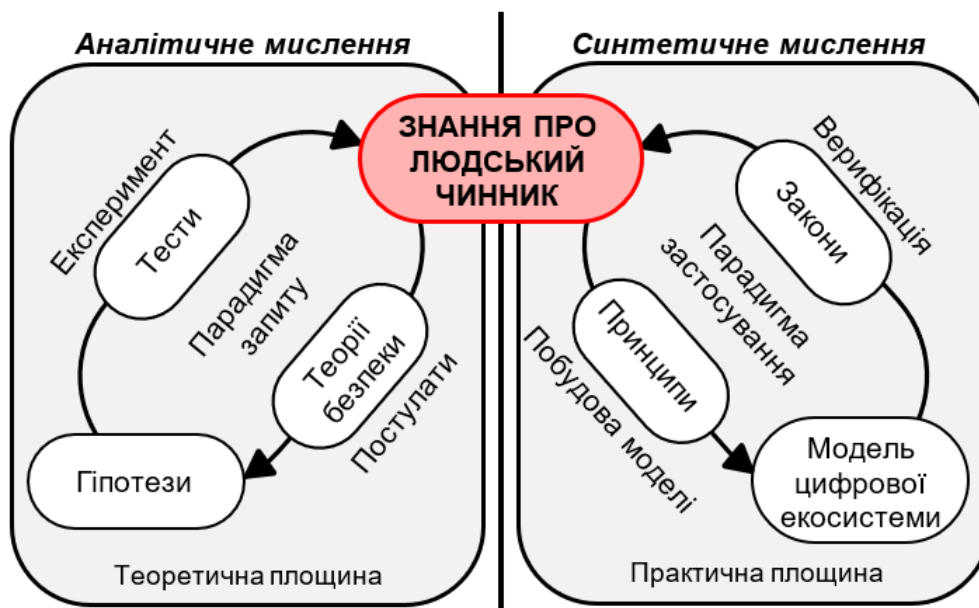


Рисунок 2 – Адаптована модель формування знань у процесі вивчення дисципліни «Інженерія людського чинника»

Саме таке поєднання знань і навичок – на стику аналітичного і синтетичного мислення – дає змогу фахівцеві ефективно функціонувати у цифровій екосистемі, управляти людським чинником, знаходити нестандартні рішення у складних ситуаціях. І для реалізації цього дисципліна «Інженерія людського чинника» – це найбільш ефективний інструмент. Більше того, застосування сучасних концепцій і системних принципів, представлених в «Інженерії людського чинника», дозволять суттєво оптимізувати роботу цифрових екосистем.

На сьогодні вже є перший позитивний досвід викладання навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» у рамках програми підготовки магістрів за спеціальностями «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування», «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», «Електроенергетика, електротехніка та електромережі», «Енергетичне машинобудування», «Теплоенергетика», «Авіаційний транспорт», «Автомобільний транспорт» у Національному аерокосмічному університеті імені М. Є. Жуковського «ХАІ». Цей факт свідчить про розуміння актуальності проблеми осучаснення навчальних програм через введення нових дисциплін, які дають студенту можливість одержати необхідні для безпечної діяльності знання і навички.



## **ВЛИЯНИЕ МЕТОДА КРЕПЛЕНИЯ РЕЗЦОВ ИЗ ПСТМ НА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ**

Отечественной инструментальной промышленностью создано и освоено производство ряда поликристаллических сверхтвердых материалов на основе нитрида бора (ПСТМ) типа эльбор-Р, гексанит-Р, киборит и др. Эти материалы обладают уникальными режущими свойствами: высокой твердостью лишь незначительно уступающему алмазу, а по теплостойкости почти в два раза превосходят его. Другим важным свойством этих материалов является их химическая инертность по отношению к железу.

Эти свойства инструментов из ПСТМ на основе нитрида бора делают их незаменимыми при обработке закаленных сталей, наплавленных и других материалов с высокими физико-механическими свойствами. В металлообработке появилась возможность изготовления лезвийного инструмента, способного эффективно обрабатывать закаленные стали с твердостью HRC > 60 и высокопрочные чугуны с твердостью HB > 300.

Резцы с режущими элементами из ПСТМ способны в 2–4 раза повысить производительность на операциях финишной обработки деталей из закаленных сталей. Это создает предпосылки для коренных изменений в технологии изготовления деталей путем замены абразивного шлифования более производительным процессом точения. Широкое применение эти резцы находят на предприятиях, имеющих в производственной программе большой удельный вес деталей, окончательная обработка которых ведется в закаленном состоянии.

Так, например, предприятия объединения «Техоснастка», производящие универсально-сборную переналаживаемую оснастку (УСПО): штампы и прессформы, начали широко использовать резцы с режущими элементами из эльбора-Р, гексанита-Р и киборита. Это связано с тем, что сложные детали этих изделий изготавливаются из износостойких сталей закаленных до твердости HRC 62–64. Шероховатость обработанных поверхностей должна соответствовать по  $Ra = 0,16–0,32$  мкм и точность изготовления 6–7 качеству. Обработка таких деталей обычными методами абразивного шлифования весьма затруднительна из-за низкой производительности. Особенно это относится к операциям внутреннего шлифования отверстий малых диаметров.

После детального изучения технологического процесса изготовления деталей технологической оснастки было установлено, что резцы из ПСТМ на основе нитрида бора целесообразно применять на операциях координатного и обычного растачивания отверстий малых диаметров. Это позволяет исключить из технологического процесса такие сложные и дорогостоящие непроизводительные операции, как координатное и внутреннее шлифование. Однако в про-

цессе внедрения было установлено, что применение выпускаемых инструментальными заводами сборных резцов с механическим креплением вставок с режущим элементом из ПСТМ имеет ограничения из-за появления вибраций при износе резца.

С этой целью были разработаны и успешно внедрены на ряде предприятий объединения «Техоснастка» сварные резцы с режущим элементом из ПСТМ на основе нитрида бора для координатно-расточных станков (рис. 1).

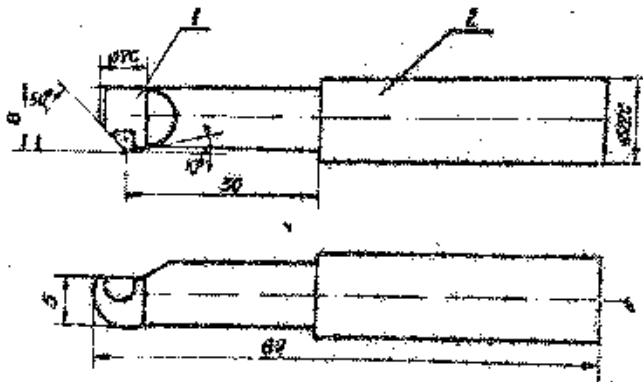


Рисунок 1 – Сварной резец: 1 – вставка с режущим элементом из ПСТМ на основе нитрида бора типа ИС 005.00.01; 2 – державка

Основным элементом такого сварного резца есть вставка 1 с режущей частью из ПСТМ типа эльбор-Р, гексанит-Р или киборит. Вставка типа ИС 005.00.00-М сваривается с державкой в среде углекислого газа тонким электродом. Державка изготавливается из закаленной стали 40Х (HRC 40...45).

Геометрические параметры резцов выбираются исходя, из конкретных условий обработки, и составляют:  $\gamma = -8...-6^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 18^\circ$ ;  $\varphi = 50^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $r = 0,2...0,3$  мм. Как показал опыт, сварные резцы с режущим элементом из ПСТМ на основе нитрида бора целесообразно применять на операциях точного растачивания отверстий диаметром от 10 до 20 мм. Они обладают большей жесткостью по сравнению с резцами, в которых вставка с режущим элементом из ПСТМ, крепится винтом, а это позволяет исключить вибрации инструмента при увеличении его износа, при котором не обеспечивается шероховатость обработки.

Например, в детали УСПО «диск» из закаленной стали Х12М (HRC 62) окончательная обработка 48 отверстий диаметром 12А ранее производилась на координатно-шлифовальном станке. Общее время обработки составляло 16 часов. Применение сварных резцов с режущим элементом из эльбора-Р позволило перевести обработку этих отверстий на координатно-расточные станки. При этом общее время обработки сократилось до 4 часов, резко уменьшился процент брака, а шероховатость обработанной поверхности стабильно находилась в пределах  $Ra = 0,16...0,32$  мкм. За величину стойкости режущего элемента принималось время нормальной работы резца, в течение которого шерохова-

тость обробленої поверхності знаходилась в межах вимог по чертежу, що становило 40...60 хвилин машинного часу при наступних режимах різання: швидкість різання  $V = 1,5$  м/с; подача  $S = 0,03$  мм/об; глибина різання  $t = 0,15$  мм.

При цьому велика розмірна стійкість різців з режущим елементом з альбора-Р забезпечувала високу геометричну точність расточки отворів.

Введення сварних різців, оснащених режущим елементом з альбора-Р, дозволило упростити технологію фінішної обробки точних отворів, різко підвищити продуктивність праці расточників. Встановлено, що застосування сварних різців з режущим елементом з ПСТМ на основі нітрида бора цілесообразно тільки в тому випадку якщо вони забезпечують значне зниження трудоемкості. В умовах заводів об'єднання «Техоснастка» застосування сварних різців з режущим елементом з альбора-Р особливо ефективно при твердості оброблюваного матеріалу  $HRC > 50$ , вимоги шершавості обробки  $Ra = 0,16...0,63$  мкм і при відсутності ударних навантажень. Так же встановлено, що при обробці з ударними навантаженнями велику працездатність показують різці з режущими елементами з гексаніта-Р і киборита.

*Рідний Р. В., Коломієць В. В.,  
Антощенко Р. В., Богданович С. А.  
Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна  
Кліменко С. А., Копейкіна М. Ю.  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля  
НАН України, Київ, Україна*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПНТМ ПРИ ОБРОБЦІ ТРУДНООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Інструменти з полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) уже більш півстоліття успішно застосовують при обробці труднооброблюваних матеріалів в різних галузях народного господарства. Вони часто замінюють інструменти з твердих сплавів і операції шліфування абразивними матеріалами. При цьому лезвийні інструменти з ПНТМ забезпечують високу продуктивність і якість обробки з додержанням потрібної точності виготовлення і відновлення деталей після їх зносу.

При проведенні семінарів по застосуванню інструментів з ПНТМ важливим є ознайомлення фахівців з передовим досвідом і практикою їх використання в конкретних умовах різних підприємств народного господарства.

В даній роботі приведено ряд прикладів застосування ряду лезвійних інструментів із ПНТМ на основі нітриду бору.

**1. Застосування обробки деталей різцями із ельбору-Р.** Практикою застосування різців із ельбору-Р встановлено, що їх використання ефективно при безударній обробці однорідних матеріалів високої твердості.

Приклад 1. Обробка зовнішніх поверхонь сідел клапанів із жароміцного сплаву ЕП616 (HRC 41). Розміри впускного і випускного сідел клапанів двигунів СМД-17К і СМД-18К дозволяють проводити обробку їх зовнішніх діаметрів на оправці по декілька штук. На підприємстві обробку сідел проводили різцями із твердого сплаву ВК2 на оправці по 6 штук на таких режимах:  $V = 0,5 \dots 0,6$  м/с;  $S = 0,11$  мм/об;  $t = 1 \dots 1,2$  мм. Весь припуск зрізали за один прохід різця. Після застосування різців із ельбору-Р операція точіння 12 сідел клапанів на оправці виконувалась при таких режимах різання:  $V = 2$  м/с;  $S = 0,11$  мм/об і  $t = 0,4$  мм на один різець. Але їх в державці було закріплено 3, тому обробка також виконувалась за один прохід. Проведені розрахунки ефективності застосування різців із ельбору-Р на цій операції показали, що продуктивність обробки підвищилась на 50 ... 60 % при дотриманні потрібної точності і якості оброблених поверхонь.

Приклад 2. При виготовленні диска технологічної оснастки обробка 48-ми отворів вставних втулок із загартованої сталі Х12М (HRC 62) операція виконувалась на координатно-шліфувальному верстаті методом внутрішнього шліфування абразивними кругами. Після заміни цієї операції на розточування різцями із ельбору-Р на вертикально-розточувальному верстаті на режимах різання:  $V = 1,5$  м/с;  $S = 0,03$  мм/об. і  $t = 0,15$  мм продуктивність обробки підвищилась в 4 рази і збільшилась точність і якість обробки без появи прижогів і тріщин в поверхневому шарі, які супроводжують абразивне шліфування.

**2. Обробка наплавлених матеріалів високої твердості різцями із гексаніту-Р.**

Проведеними дослідженнями властивостей наплавлених матеріалів встановлено, що такі матеріали мають велику неоднорідність, яка при обробці приводить до коливання навантаження на інструмент і швидкого його зносу. Лезвійні пластинки із гексаніту-Р мають підвищену границю міцності при згині в порівнянні із ельбором-Р, тому їх і успішно застосовують при обробці наплавлених матеріалів великої твердості.

Приклад 3. Обробку напавленої (проволокою Нп-30ХГСА (HRC 38)) маточини варіатора комбайна СК-5 виконували на шліфувальному верстаті абразивними кругами. Після заміни виконання операції на чистове точіння різцями із гексаніту-Р на режимах різання:  $V = 2,5$  м/с;  $S = 0,1$  мм/об;  $t = 0,3$  мм було підвищено продуктивність обробки і, головне, підвищена якість оброблених поверхонь, що привело до збільшення експлуатаційних характеристик відновлених маточин варіаторів.

Приклад 4. Обробку наплавлених деталей трактора Т-40: кронштейна і втулки підвіски, осьової цапфи і вала осьової цапфи, вилки переднього моста на підприємстві проводили точінням різцями із твердих сплавів і абразивним шлі-

фуванням. Така обробка була не ефективною і з низькою якістю відновлення робочих поверхонь деталей. Заміна такої технології обробки на точіння різцями із гексаніту-Р на режимах різання:  $V = 3$  м/с;  $S = 0,1$  мм/об;  $t = 0,3$  мм привела до підвищення продуктивності обробки і якості оброблених поверхонь деталей і звільненню ряду верстатів і обладнання з процесу відновлення зношених деталей трактора.

### **3. Обробка наплавлених деталей різцями із кіборіту.**

Практикою застосування і проведеними дослідженнями впровадження різців із полікристалічного надтвердого матеріалу на основі нітриду бору кіборіту при точінні наплавлених матеріалів великої твердості і деталей із чавунів була встановлена область їх успішного використання в ремонтному господарстві. Це обробка наплавлених матеріалів з великою неоднорідністю шарів великої твердості, а також чавунів різної структури на великих швидкостях різання з використанням ефективних мастильно-охолоджувальних рідин.

Приклад 5. Обробку валів із сірого чавуну СЧ21 проводили різцями із надтвердого матеріалу на основі нітриду бору кіборіту (К11) при наступних режимах різання:  $V = 6,7$  м/с;  $S = 0,07$  мм/об і  $t = 0,2$  мм. При чистовому розточуванні отворів втулок із такого же чавуну швидкість різання зменшувалась до 5 м/с при таких же величинах подачі і глибини різання при оптимальних величинах геометрії різців продуктивність обробки збільшилась в 1,5 ... 2 рази і різко покращились умови праці робітників.

Приклад 6. При чистовій обробці штоків підвіски самоскидів марки HD 1200 наплавлених порошковою проволокою ПП-Нп-18Х1Г1М (40-42 HRC) застосування різців із кіборіту при швидкості різання 1,83 м/с, подачі 0,2 мм/об і глибині різання 2,0 ... 2,5 мм продуктивність обробки збільшилась в 3 ... 5 разів порівняно з обробкою різцями із твердого сплаву.

*Рожко В. І.*

Харківський національний економічний університет  
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Для того щоб забезпечити конкурентоспроможну якість продукції, кожне підприємство повинно обґрунтовано здійснювати управління якістю. Сучасна концепція управління якістю ґрунтується на сукупності принципів менеджменту якості.

Забезпечення високої якості і безпеки харчових продуктів є ключовим завданням аграрних і переробних підприємств. У своїй діяльності вони повинні враховувати вимоги, що передбачені прийнятими світовою спільнотою норма-

тивними актами – системами управління, що пов'язані з якістю і безпекою харчових продуктів, а саме:

ISO 9001 – система менеджменту якості. Вимоги;

ISO 14001 – система екологічного менеджменту. Вимоги і керівництво;

ISO 22000 – система менеджменту безпеки харчової продукції. Вимоги до організації харчового ланцюга;

НАССР – система менеджменту безпеки харчових продуктів (аналіз ризиків і критичні контрольні точки);

ISO 18001 – вимоги до системи оцінки професійної безпеки та здоров'я (охорони праці і виробничої безпеки);

ISO 27000 – стандарти з інформаційної безпеки.

У країнах світу, в тому числі й в Україні, особливо актуальною постала проблема безпеки харчових продуктів. Тому дослідження цього питання є актуальним.

У країнах ЄС, в інших економічно розвинутих країнах переробні підприємства зобов'язані впроваджувати НАССР як універсального методу гарантії безпеки продовольства [1].

Дана система забезпечення якості продукції спрямована на оцінку причин небезпек, що можуть виникати по всьому продуктовому ланцюгу – виробництво, зберігання, реалізація та споживання продовольчих товарів, а також на своєчасне вжиття заходів з їх усунення з метою недопущення критичних ситуацій щодо забезпечення якості цих товарів.

З організаційно-економічної точки зору впровадження НАССР дає змогу попереджувати або швидко знаходити джерело браку і завдяки цьому мінімізувати втрати підприємства і підтримувати його імідж як виробника високоякісних безпечних товарів.

Система НАССР розробляється з урахуванням семи основних принципів, які широко висвітлюються в економічній літературі з проблем якості і безпеки харчових продуктів [2]. Дотримання їх дає змогу успішно впровадити НАССР на підприємстві:

1. Ідентифікація і аналіз потенційних ризиків, що пов'язані з виробництвом продуктів харчування по всьому технологічному ланцюгу, починаючи від виробництва сировини, її обробки, переробки, зберігання, транспортування і завершуючи реалізацією продовольчих товарів.

2. Виявлення критичних контрольних точок (ККТ) у виробничому ланцюгу виготовлення харчових продуктів, в яких необхідно контролювати та усувати потенційні ризики.

3. Розробка і введення для кожної ККТ критичних граничних значень параметрів, які можуть бути зазначені в технологічних інструкціях НАССР.

4. Здійснення постійного моніторингу з метою забезпечення контролю ККТ відповідно до запланованих заходів.

5. Розробка і встановлення коригуючих дій, які необхідно застосовувати у випадках негативних результатів моніторингу – виходу за критичні граничні межі (значення).

6. Розробка і впровадження процедур перевірки (верифікації) та їх регулярне проведення з метою забезпечення ефективного функціонування системи НАССР на підприємстві.

7. Розробка форм і способів документальної реєстрації даних, що відносяться до системи НАССР.

Впровадження підприємствами системи НАССР надає їм низку переваг: задіяння превентивних заходів з недопущення браку забезпечує значну економію завдяки істотному зниженню його частки в загальному обсязі виробництва продукції; зростання репутації підприємства як надійного виробника якісних і безпечних продуктів харчування; розширення можливостей виходу на нові ринки, у тому числі міжнародні, і зміцнення позицій на існуючих; підвищення інвестиційної привабливості і, врешті-решт, підвищення конкурентоспроможності підприємства [3].

Слід мати на увазі, що чимало країн і провідних компаній світу створюють власну систему стандартів, які базуються на принципах НАССР, але з більш суворішими вимогами до якості і безпеки продовольчих товарів, ніж закони, спрямовані на захист прав споживачів (в країні чинним є Закон України "Про безпечність та якість харчових продуктів" (2005 р.).

За інформацією О. Бута, провідні компанії роздрібної торгівлі Європи створили систему стандартів Europe GAP (GAP – належна сільськогосподарська практика), яка ставить за мету впровадження передових технологій ведення сільського господарства. Це найвищі стандарти сільськогосподарського виробничого процесу, що орієнтовані на забезпечення безпеки продукції кінцевого споживання [4].

У низці європейських країн набув поширення міжнародний стандарт безпеки харчових продуктів (International Food Standard), який також базується на принципах НАССР і містить єдині критерії для оцінки можливостей виробників харчових продуктів виробляти якісну продукцію відповідно до вимог безпеки, передбачених законодавством.

Крім того, в ньому чітко описані вимоги щодо фахової підготовки персоналу, гігієни, технологій та організації здійснення виробничих процесів, мінімізації витрат і процедури підтвердження відповідності харчових продуктів за їх реалізації на внутрішньому і зовнішньому ринках.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кройтер В.А. Защита прав потребителя. – Х.: АО «Бизнес-Информ», 2006. – 320 с.

2. Уильям Ф. Энгдаль. Семена разрушения. Тайная подоплека генетических манипуляций; пер. с англ. – СПб: Война и мир, 2009. – 320 с.

3. Фатхудинов Р. А. Стратегический маркетинг. – 2-е издание, перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.

4. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции: Сокр. Пер. с англ. / Авт. предисл. и науч. ред. А. В. Гличев – М.: Экономика, 1986. – 471 с.

*Савченко Н. Ф., Мягков В. Ю.,  
Дементеева Я. Ю., Савченко Н. Н.*  
Харьковский национальный экономический университет  
им. Семена Кузнеца, Харьков, Украина

## **ИЗ ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФАБЛАБ ХНЕУ ИМЕНИ СЕМЕНА КУЗНЕЦА**

Современный этап научно-технического развития характеризуется, прежде всего, динамичностью происходящих процессов, высокой степенью взаимного проникновения, дополнения и согласованности знаний, полученных в различных областях науки и техники.

Создаются и укрепляются новые подходы к экономике, как креативной экономики, которая дает новую жизнь производству, услугам, торговле и сфере развлечений.

Современный мировой опыт в качестве решения проблемы подготовки специалистов нового поколения предлагает создание универсальных производственных лабораторий (ФАБЛАБов) на базе вузов. Концепция ФАБЛАБ берет начало в 2001 году в Массачусетском технологическом институте (MIT), когда первая, пилотная, лаборатория была организована как конечный результат проекта «Как изобрести почти все на свете» [1]. Обучение шло с необычайным энтузиазмом, личной заинтересованностью молодых исследователей. Многие из них впоследствии добились больших успехов в своей профессиональной деятельности.

Одним из первых в Украине последователей новых идей креативной экономики с использованием концепции ФАБЛАБ, а среди экономических вузов – первым, становится Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца. В рамках международного проекта ERASMUS + FABLAB «Создание сети и инфраструктуры поддержки молодежного инновационного предпринимательства на платформе ФАБЛАБов», финансируемого Европейской Комиссией (координатор профессор Золотарева И. А.), в 2018 г. был создан ФабЛаб при ХНЭУ им. С. Кузнеца. Сегодня – это вполне современная фабрика-лаборатория для 3D-моделирования, 3D-печати, прототипирования и технического творчества (Новости и анонсы ФабЛаба: <https://www.facebook.com/FabLab.KhNUE/> ; [https://www.instagram.com/fablab\\_khnue/](https://www.instagram.com/fablab_khnue/)), функционирующая одновременно и как учебная лаборатория «Инновационные технологии».

Накопленный опыт, а также ознакомление с деятельностью других фаблабов, свидетельствует как о недостатках в коммуникациях с позиций обмена опытом, так и, в особенности недоиспользовании их возможностей в решении важнейших для их развития, в частности и общества в целом, задач.

Целью работы является ознакомление с опытом функционирования ФабЛаб при ХНЭУ им. С. Кузнеца и выбором возможных направлений его коммуникаций с другими ФабЛабами.



ФабЛаб ХНЭУ им. С. Кузнеця предоставляет свободный доступ для инициативных людей, студентов, школьников к современному оборудованию, необходимому для технического творчества: 3D принтерам, лазерно-гравировальному и фрезерному станкам, наборам и конструкторам Arduino, платам Raspberry и датчикам для IoT (Internet of Things), к другим инструментам и электронике.

Цель и задачи ФабЛабу ХНЭУ им. С. Кузнеця:

- развитие инновационного мышления и инженерной креативности молодежи;
- обучение школьников, студентов, аспирантов и творческой молодежи Харькова основам микроэлектроники, робототехники, цифрового прототипирования, 3D моделирования, 3D печати, использованию лазерного оборудования и ЧПУ-станков;
- повышение качества подготовки специалистов и улучшения способности к трудоустройству студентов посредством взаимодействия университета, бизнеса и промышленности на базе ФабЛаб;
- стимулирование молодежного предпринимательства;
- привлечение школьников к выбору инженерных специальностей;
- повышение квалификации (или получения новых компетенций) преподавателей в области разработки Internet of Things (IoT), 3D моделирование, 3D печати и цифровой прототипирования.

ФабЛаб ХНЭУ им. С. Кузнеця оборудованы в соответствии с требованиями мировой ассоциации Fab Foundation:

- наборами и конструкторами Arduino;
- лего-конструкторами Lego MindStorm;
- платами Raspberry и датчиками для IoT (Internet of Things);
- 3D принтерами;
- лазерным и фрезерным станками с числовым программным управлением;
- 3D сканером.

Целью создания ФАБЛАБ является не только овладение практическими навыками, что само по себе позитивно, но и содействие традиционному и нетрадиционному обучению студентов [1–3] с использованием идей теории конструкционизма. В ее представлении личный, приобретенный опыт студента приводит к желанию более глубокого изучения предмета, развивая положительную мотивационно-ценностную основу (рис.).

Творческая атмосфера в ФАБЛАБе дает возможность развития коммуникативной компетентности, знаний культурных норм и ограничений в общении, знаний обычаев, традиций, этикета в сфере общения, соблюдения приличий, воспитанности, ориентации в коммуникативных средствах, присущих национальному, сословному менталитету и выражающихся в рамках данной профессии [1–3].

Важнейшее значение в творческом воспитании целеустремленных специалистов могут выполнять фаблабы как технологические комплексы. Они позво-

ляют реализовать потребности любого человека в практическом воплощении своих разработок, дают возможность развить их до коммерческого воплощения.



От занятий в компьютерном классе



к практическим занятиям.

Пример работ в ФабЛаб (в учебной лаборатории ХНЭУ им. С.Кузнеця).

В фаблабах могут реализоваться самые различные, потенциально важнейшие, направления проектной деятельности, результаты которых могут улучшить и даже сохранить в критических условиях необходимый уровень качества жизни и экологии Земли.

Перспективны для задач фаблаба и проекты в сфере энергетики, ресурсо- и энергосбережения, переработки мусора, индивидуального транспорта, создания беспилотных летательных аппаратов, протезирования, в медицине (протезирование и печать жизненно-необходимых органов), а также проект – умный дом с синхронизацией со смартфоном, включающий в себя устройство для приготовления блюд, систему вентиляции и безопасности, умную розетку.

Уже реализуются проекты по использованию 3D-принтеров для производства новых 3D-принтеров, создания передвижных фаблабов. Бесконечно эффективным может быть и создание репликатора – устройства, позволяющего на субатомном, атомном или молекулярном уровне дизассемблировать объекты и собирать их в нужных конфигурациях [4].

Чрезвычайно актуальны работы и в области робототехники: от простых моделей до моделей, используемых при ликвидации экстремальных ситуаций, например, ликвидации пожаров, разминировании, нахождении и спасении человека.

ФАБЛАБ дает возможность будущим экономистам освоить науку коммерциализации своей разработки, а при более глубоком ее освоении довести до изобретения и коммерческого применения. На их базе, как учебных и производственных лабораторий, студент научится осуществлять стратегическое маркетинговое планирование.

Это бесценный опыт, позволяющий воспитать в стенах вуза творческого, смелого, реально мыслящего, но в то же время ответственного экономиста, с практическим опытом, которого так недостает современным выпускникам.

Таким образом, обучение с использованием концепции ФАБЛАБ развивает креативность обучающихся, обеспечивая переход от традиционно-консервативных проектных идей к творческим, нестандартным.

ФАБЛАБ позволяет экономить средства, снизив до минимума риск потерь от выполнения несостоятельного производственного образца.

Это свидетельствует о целесообразности на государственном уровне координировать, а, главное, стимулировать работу ФАБЛАБов и в вузах. Стимулирование определенных, важных для развития государства, направлений может привести к созданию творческих союзов ФАБЛАБов, развитию их международной коммуникации, различных форм ивентов и коворкингов.

Важнейшим достижением ФАБЛАБов может стать и возможность предупреждения оттока талантливой молодежи в зарубежье.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проривні технології в економіці і бізнесі (досвід ЄС та практика України у світлі III, IV і V промислових революцій) : навчальний посібник / за ред.

Л. Г. Мельника та Б. Л. Ковальова. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 180 с.

2. Кузнецов Ю. Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины / Ю. Н. Кузнецов // Вестник ХНТУ, 2017. № 2(61). – С. 67–75.

3. Єрмакова О. О. ФАБЛАБ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК СТАРТАПІВ В УКРАЇНІ. [http://futurollog.com.ua/publish/20160715\\_futuremanagement/Ermakova.pdf](http://futurollog.com.ua/publish/20160715_futuremanagement/Ermakova.pdf).

4. Simonite TI. Replicator: Self-replicating machines come of age. New Scientist. 2010;(206): 40-43.

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАПОВКИ**

Важнейшими задачами, стоящими перед технологией машиностроения, являются, с одной стороны, повышение эффективности использования ресурсов, а, другой – уменьшение издержек из-за необходимости их возобновлять и усложнения процессов создания все более точных и качественных изделий (или оказания услуг). С этой целью в промышленности широко используют как комплексные подходы к разработке технологических процессов: формообразование (предварительное – окончательное) с последующими дополнительными операциями на других рабочих местах, так и специальные методы совершенствования потребительских свойств изделия (структуры, качества поверхностного слоя). Такой подход позволяет обеспечить возможность осуществления сложного комплекса работ непосредственно на одном рабочем месте и при минимальном расходе ресурсов [1 – 5].

Во многих случаях с позиций максимизации эффективности использования ресурсов экономически оправданными будут методы с использованием импульсных энергоносителей, а также динамические (ударные) способы механической и электрофизической обработки заготовок и поверхностного слоя изделия или их локальных зон. Среди многих универсальных и технологически эффективных методов, с точки зрения экономии ресурсов, можно выделить струйную, гидроструйную обработку, обработку дробью, центробежную обработку, беспрессовые методы (гидровзрывную, электрогидравлическую, магнито-импульсную, с использованием эластичных и газовых сред) и другие. Предпочтение отдают тем из них, которые способны оказывать существенное влияние на качество, производительность и состояние поверхностей деталей и изделий.

**Постановка задачи.** Исходя из того, что любая технологическая система – это совокупность функционально взаимосвязанных предметов производства, средств технологического оснащения и исполнителей, можно сделать вывод о целесообразности включения в ее состав как дополнительного оснащения специально предусмотренных элементов минимизации расхода ресурсов и обеспечения безопасности технологического комплекса.

Эволюционное изменение параметров любой технологической системы по принципу «жизненного цикла» (рис. 1) свидетельствует о необходимости учитывать тенденцию совершенствования параметров технологических систем (ТС) в направлении снижения непроизводительных энергетических потерь

(прежде всего, повышения коэффициентов использования материала и снижения энергопотерь).

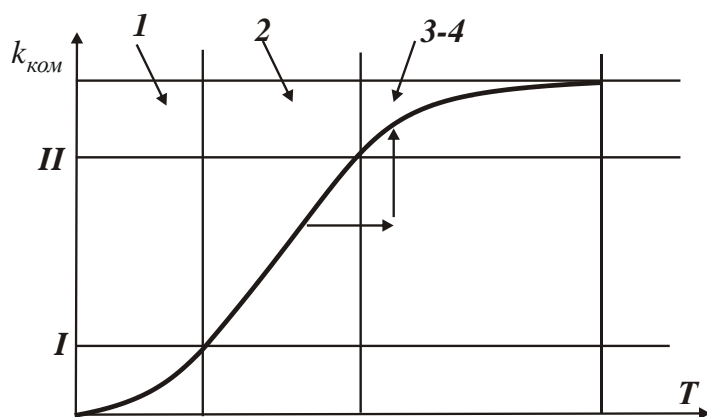


Рисунок 1 – Эволюционное изменение параметров технологической системы (ТС): 1, 2, 3, 4 – этапы изменения в течение периода времени  $T$  эффективности ТС

Важнейшими из технологических задач могут быть: повышение интенсивности воздействий на обрабатываемый материал; регулирование в широких пределах длительности воздействия на заготовку; использование преимуществ методов групповой обработки; возможность изменения параметров ТС в самых широких пределах в процессе деформирования заготовки; возможность взаимосогласования в широких пределах параметров изготавливаемого изделия

и устройств для выполнения различных операций; возможность минимизации нерационального использования энергоносителей, используемого для выполнения технологических операций (основных и дополнительных). Исходя из этого, целью работы является дальнейшее совершенствование прогрессивных импульсных технологий.

**Методика исследований.** Для разработки и усовершенствования методов проектирования импульсных устройств, кроме их известных преимуществ – минимальных капиталовложений (и недостатков – повышенных требований к технике безопасности), высоких энергетических возможностях, необходимо учитывать необходимость обеспечения экологически безопасных технологий. Особенно это может быть актуальным при использовании в качестве энергоносителей различных вариантов, например, смесей газов (газообразных и в жидком состоянии) или порошков (горючих и окислителей).

Многообразие вариантов взрывчатого превращения (продукты реакции вода, углекислый газ, сажа, ядовитый газ) с позиций синергетики свидетельствует о необходимости рассмотрения импульсных устройств как специальных и гибких технологических систем. При этом такого типа импульсные устройства, являющиеся мобильными и многофункциональными, можно классифицировать как многофункциональные системы или могущие преобразовываться в них с интеллектуально программируемым комплексом технологических операций.

**Основные результаты.** При классификации и проектировании процессов листовой штамповки с использованием импульсных устройств следует исходить из того, что технологии импульсной листовой штамповки следует рассматривать не как готовые, пассивные системы определенного технологического назначения. В соответствии с принципами синергетики их можно считать активными многофункциональными системами, специально оснащенными для адаптации к

изменению ситуации в технологической зоне специальными устройствами, например, энерго-аккумулирующими по принципу использования отходов производства. Для разработки направлений проектирования и классификации импульсных технологических процессов необходимо также учесть назначение изделия, энергозатраты на его изготовление, особенности пространственного размещения в технологической зоне, совместимость имеющегося (традиционного для предприятия) оборудования и вновь создаваемого.

Дальнейший выбор решений при необходимости может проводиться как: общий структурный синтез всей технологической системы (ТС), если определяется ее структура и принцип применения; элементный синтез, если предполагается формирование каких-то узлов, составляющих ТС (например, переход, установ).

Таким образом, на первом этапе следует разработать матрицы элементов, столбцы которых – составные части ТС, а строки – альтернативные варианты локальных решений.

Примерами такого подхода можно считать варианты ТС, в составе которых имеется:

- энергоноситель (химические взрывчатые вещества, привод: электрический, гидравлический, пневматический, термический или другой, их комбинации);

- способ воздействия на заготовку (импульсный, по всей поверхности или локально, по участкам, с использованием передающей среды различного типа, например, как высокоскоростной поток или потоки газовой, жидкой и комбинированной среды, твердое тело (снаряд, технологический блок));

- системы и устройства обеспечения надежности функционирования ТС и техногенной безопасности (импульсные, тепловые, термические, пневмовакuumные, электрические или их комбинации; изменяющие в техногенной зоне агрегатное состояние среды или нет); энерго-аккумулирующие, без аккумуляирования).

Дополнительные функции ТС, обеспечиваемые ее элементами – дробление и утилизация отходов производства в технологической или интегрированной к ней зоне, возможность их вторичного использования.

Общее количество вариантов решений может определяться как произведение количества элементов в каждой строке создаваемой морфологической таблицы как приложение к паспорту предприятия или техногенного объекта:

$$N = Z a_j \cdot Z q_e \dots Z m_w,$$

где  $a, q, \dots, m$  – элемент в соответствующей строке с характерными признаками;  $j, e, \dots, w = 1, 2, \dots, k, \dots, n$  – их количество.

С позиций системного подхода процессы, происходящие в ТС, могут быть описаны как совокупность энергетических потоков различной природы (электрическая, тепловая, механическая и др.) и интенсивности.

Таким образом, возможные конструктивные решения обнаруживаются последовательно, после полного перебора вариантов, с учетом принципов системного проектирования, при этом каждый вариант проверяется на соот-

ветствие всем условиям ограничения совместного применения. При большом количестве возможных вариантов такой подход довольно трудоемкий, но является вполне оправданным при прогнозировании эффективности имеющихся средств обеспечения предприятия возобновляемыми и, в особенности, невозобновляемыми ресурсами.

Примером новых решений могут быть модульно-блочные устройства для импульсной обработки материалов (штамповка, очистка каналов, микролегирование, получение сажи и подготовка к газовой цементации). Оригинальной особенностью можно считать их то, что внешняя нагрузка интенсивностью  $p$  (до 100 МПа) создается с использованием специального типа импульсных камер с газогенераторами (например, патент Украины № 72357). Разработанное импульсное устройство модульного типа включает такие модули как: энергоблок, состоящий из элементов модуля инициирования импульсного воздействия (детонационная трубка и блок поджига смеси); модуль энергоносителей (корпус газогенератора, реагенты, активатор); модуль контроля и управления процессами заполнения и смесеобразования, параметров нагружения.

Область применения таких устройств: мелкосерийное производство (штамповка крупногабаритных деталей, ремонтные работы, очистка газожидкостными потоками конструктивно сложных поверхностей) с использованием или без использования подвижных сред для энерго-аккумулирования избыточной энергии энергоносителей.

Разработаны подходы к совершенствованию импульсного типа устройств на основе использования легко адаптируемых к условиям производства энергоносителей. При этом в качестве энергоносителей могут быть не только вещества, традиционно относящиеся к энергоносителям типа горючих газов, но и вещества, относящиеся к отходам производства, которые после определенных воздействий могут использоваться в технологических целях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Модульное оборудование для гибких производственных систем механической обработки: Справочник / Р. Э. Сафраган, Г. А. Кривов, В. Н. Татаренко и др. – Київ: Техніка, 1989. – 175 с.

2. Технологичность конструкции изделия / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков и др. – Москва: Машиностроение, 1990. – 768 с.

3. РД-03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – Москва: НТЦ Промышленная безопасность, 2001. – 34 с.

4. Савченко Н. Ф. Особенности выбора методов изготовления крупногабаритных деталей с использованием приемов регулирования технологических несовершенств / Н. Ф. Савченко, П. А. Сыромятников // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко. Серия: "Технический сервис АПК, техника и технологии в сельскохозяйственном машиностроении". – Харьков: ХНТУСХ, 2011. – Вып. 118. – С. 254–258.

5. Савченко Н. Ф. Совершенствование ремонтных работ крупногабаритных конструкций с использованием метода локальной штамповки / Н. Ф. Савченко, А. А. Андилахай // Защита металлургических машин от поломок: сб. научных трудов / ПГТУ. – Мариуполь, 2014. – Вып. 16. – С. 104–108.

*Севидова О. К., Пупань Л. І.,  
Гуцаленко Ю. Г., Степанова І. І.*  
Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

## **ВИВЧЕННЯ КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ**

Завдяки високим значень зносостійкості, корозійної стійкості та теплостійкості, а також каталітичної активності та діелектричної міцності, покриття плазмоелектролітного оксидування (ПЕО) досить широко впроваджені в практику виробництва. Функціональні можливості ПЕО-покриттів далеко не вичерпані і можуть бути розширені як за рахунок подальшого удосконалення самих методів ПЕО, так і визначенням нових об'єктів для використання властивостей ПЕО-шарів. В НТУ «ХПІ» встановлено, що такі покриття на посадкових поверхнях алмазних кругів успішно електроізоляційно успішні в процесах електрофізичного шліфування, зокрема алмазно-іскрового (АІШ).

З огляду умов експлуатації шліфувальних кругів це стимулює вивчення корозійно-захисних властивостей покриттів ПЕО в корозійно-активному середовищі мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) або електроліті – у випадку реалізації процесу алмазно-електролітичного шліфування (АЕШ).

Важливість захисту від корозійної активності МОР збільшується щодо корпусів шліфувальних кругів, які виготовлені з алюмінієвих сплавів і, на відміну від сталевих матеріалів, менш стійкі в лужних середовищах. І хоча розчини для АЕШ найчастіше базуються на основі нітратів лужних металів з нейтральним середовищем, вони лише спочатку є безпечними для алюмінієвих сплавів, але їх корозивність може збільшуватись у динаміці дії електроліту.

Проведені дослідження дозволили отримати науково-практичні результати впливу покриттів ПЕО на корозійно-електрохімічну активність алюмінієвих сплавів та якісно оцінити зв'язок з нею поверхневої структури, зокрема морфології та її ознак у вигляді пористості.

Дослідження проводили на зразках сплавів Д16Т і АК6, які зазвичай використовують для виготовлення корпусів шліфувальних кругів. ПЕО-покриття формували гальваностатичним методом в 3-х розчинах електролітів лужно-силікатної групи: I – 12г/л РС (РС – технічний розчин натрієвого рідкого скла з густиною 1,4 г/л); II – 2г/л КОН + 12г/л РС; III – 12 г/л КОН + 6г/л РС (надалі



вони позначені як 0:12; 2:12 і 1:6 відповідно). Густина анодного струму складала 5 і 15 А/дм<sup>2</sup>. Тривалість електролізу визначали у 40 хв. для меншої густини та, керуючись принципом перебігу однакової кількості електрики, третьою цього часу для більшої. Товщина сформованих покривів в залежності від марки сплаву, складу електроліту знаходилась в межах 30...45 мкм.

В якості корозивних середовищ використовували модельні розчини технологічних рідин: 5%-ий натрію нітрат (NaNO<sub>3</sub>, рН = 6,5) і 1,5%-і розчини натрію трифосфату (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, рН = 11,2) і натрію карбонату (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, рН = 8,6).

Оцінку корозійно-захисних властивостей проводили електрохімічним методом – шляхом порівняння значень потенціалів корозії E<sub>cor.</sub> та аналізу характеристик анодних поляризаційних кривих (АПК). Швидкість змін потенціалу складала 1мВ/с, електрод порівняння – хлорид срібний.

Наскрізну пористість покривів оцінювали за контактним виділенням міді. У візуальних дослідженнях використовували мікроскоп USB Supereyes B008.

Аналіз значень потенціалів корозії дозволяє зробити висновок, що в розчині електроліту NaNO<sub>3</sub> сплав АК6 потенційно більш активний, ніж сплав Д16Т. Про це свідчать від'ємніші значення потенціалів E<sub>cor.</sub> як самого вихідного матеріалу, так і зразків з покриттями на його основі.

Спільною тенденцією поведінки поверхні обох сплавів є їх схильність до пасивування після попередньої механічної обробки, яка проявляється позитивним зсувом потенціалів E<sub>cor.</sub> Слід зазначити, що на сплаві Д16Т це явище перебігає ефективніше – за 30 хвилин витримки значення E<sub>cor.</sub> на ньому ушляхетнилось на 340 мВ, а на АК6 – тільки на 150 мВ.

Для більшості зразків з ПЕО-покривами на обох сплавах впродовж витримки теж зберігалась тенденція зсуву значень E<sub>cor.</sub> в позитивну область з різним ступенем їх ушляхетнення (від 20 до 120 мВ). Швидше за все, це теж може бути пов'язане з пасивуванням матеріалу основи в наскрізних порах покривів та ускладненням перебігу анодних реакцій.

На зразках із покриттями на основі АК6 спостерігалась ще одна особливість – однозначна якісна залежність між усталеним значенням E<sub>cor.</sub> та густиною формувального струму. Зокрема, більшому значенню густини відповідав від'ємніший потенціал корозії. Враховуючи, що інтегральне значення E<sub>cor.</sub> зразка з діелектричними покриттями, якими є ПЕО-шари, залежить від площі наскрізних пор, можна припустити, що зростання густини від 5 до 15 А/дм<sup>2</sup> сприяє збільшенню пористості покривів за умов приблизно однакової їх товщини.

Анодні поляризаційні залежності підтверджують висновки щодо підвищеної корозійної активності сплаву АК6 порівняно з Д16Т в нейтральному розчині NaNO<sub>3</sub>. Активація анодних процесів на обох вихідних сплавах починається безпосередньо від усталених значень потенціалів корозії, але на АК6 показник поляризованості (ΔE/Δj) майже вдвічі менший, а характерне пасивування поверхні з точками перегину кривих в дослідженому діапазоні потенціалів не спостерігається.

Аналіз АПК дозволяє зробити висновки, що у відносно агресивному до амфотерного алюмінію лужному середовищі Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> захисний ефект ПЕО-

покривів до основи Д16Т зберігається з тим же пріоритетом, що й у розчині  $\text{NaNO}_3$ : 0:12 > 1:6 > 2:12.

Менш виразно цей ряд спостерігається в розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  з практики АІШ на зразках із сплаву АК6, хоча у початковий період, за умов зсуву потенціалу від  $E_{\text{сog}}$  приблизно на 400мВ, порядок захисту аналогічний.

Подальше порушення порядку розміщення кривих може бути пов'язане з утворенням нерозчинних продуктів анодної реакції (корозії) і закриттям ними пор. Загалом ефективність захисту обох алюмінієвих сплавів в лужних середовищах МОР із ПЕО-покривами дещо вища, ніж в нейтральному розчині  $\text{NaNO}_3$ .

Оскільки покриття є електрохімічно інертними, за АПК можна якісно оцінювати загальну поверхню наскрізних пор. Встановлено, що найменшою наскрізною пористістю характеризуються ПЕО-шари, сформовані в розчині 0:12, найбільшою – сформовані в розчині 2:12. Відповідно, якщо порівнювати корозійно-захисний ефект від покриттів за струмами ділянок АПК, що відповідають пасивному стану, то максимальне значення (приблизно в 10 разів) спостерігалось у покритті з електроліту 0:12, а мінімальне (приблизно в 2 рази) – з електроліту 2:12.

Наведене узгоджується з висновками щодо визначення наскрізної пористості хімічними методами. Аналіз результатів мікроскопічного дослідження поверхні ізоляційних покриттів, сформованих в гальваностатичному режимі в різних електролітах за однаковою густиною струму, дозволив стверджувати, що найменшою регулярною відкритою і наскрізною пористістю характеризуються ПЕО-покрива, сформовані в розчині 0:12. Осади контактної міді в них за 45-кратним збільшенням спостерігались тільки в кратерних дефектах, розміром приблизно  $20 \pm 5$  мкм, які, ймовірно, утворюються під час переходу мікродугового розряду в дуговий.

За ідентичного збільшення на покриттях, сформованих в розчині 2:12, фіксується велика кількість системних відкритих пор розміром 2...4 мкм і включень міді 1...2 мкм. Порівняно з поверхнею покриттів із розчину 0:12 осади міді на ній розташовані більш рівномірно.

Відносно меншою (за кількістю і лінійним розміром) відкритою пористістю характеризуються оксидні шари, сформовані в розчині 1:6. Включення міді, відповідно, теж менші приблизно  $\sim 1$  мкм.

Загалом, якщо оцінювати якість поверхні за кількістю осередків міді та їх розмірами, можна зробити висновок, що наскрізна пористість зростає в покриттях за умов формування в ряду розчинів: 0:12 < 1:6 < 2:12.

В цілому встановлено, що плазмоелектролітні покриття товщиною 30...45 мкм, сформовані гальваностатичним методом у лужно-силікатних електролітах на сплавах Д16Т і АК6, в 2...10 разів знижують їх корозійно-електрохімічну активність в усіх технологічних середовищах. Ефективність захисту основи залежить від марки конструкційного сплаву, агресивності корозивного розчину та складу електроліту, в якому формували покриття.

Найкращими захисними властивостями на обох сплавах в усіх розглянутих технологічних середовищах характеризуються покриття, сформовані в елек-

троліті 0:12. У лужних середовищах МОР ефективність захисту алюмінієвих сплавів вища, ніж у нейтральному розчині  $\text{NaNO}_3$ .

Результати досліджень дають підставу вважати, що ПЕО-покриви можуть бути ефективно застосовані для корозійного захисту алюмінієвих корпусів алмазно-абразивних інструментів у технологічних середовищах комбінованого шліфування з підводом електричного струму в зону різання. Важливе місце технологій електрофізичного шліфування в машинобудівних виробництвах з використанням важкооброблюваних матеріалів високої функціональності стимулює подальші дослідження в цьому напрямі.

*Сергеев А. С., Андилахай А. А.*

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,  
Мариуполь, Украина

## **МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕРСТИЙ ЦИЛИНДРОВ**

Традиционно все двигатели внутреннего сгорания (ДВС) на начальном этапе нуждаются в «обкатке», т.е. двигателю в течение некоторого времени необходима эксплуатация в щадящем режиме. Это связано, в основном, с необходимостью притирки внутренних поверхностей цилиндров и поршневых колец. В результате обкатки внутренние поверхности цилиндров и поршневые кольца получают дополнительную обработку в виде срезанных вершин микронеровностей поверхностей, которые, будучи продуктами износа цилиндра, ухудшают условия работы ДВС в целом. Таким образом, окончательная обработка внутренних поверхностей цилиндров осуществляется вынужденно в период эксплуатации ДВС, часто неквалифицированными пользователями.

Техническое решение, представленное ниже, направлено на исключение необходимости притирки деталей в период эксплуатации ДВС.

Сущность технического решения состоит в том, что окончательная обработка внутренней поверхности цилиндра ДВС осуществляется полировальной головкой, абразивный круг которой создает обработочные риски, совпадающие с направлением движения поршня в процессе эксплуатации ДВС. Сравнивая интенсивность взаимодействия абразивного (полировального) круга с внутренней поверхностью цилиндра и процесс притирки в период эксплуатации ДВС следует отметить, что поршень при каждом ходе проходит верхнюю и нижнюю «мертвые» точки, где скорости равны нулю, тогда как установленная скорость вращения абразивного круга постоянна. Исследование зависимости величины шероховатости обработанных поверхностей от зернистости абразивного материала, вида и зернистости полировальной пасты, величины прижатия мягкого круга, например, фетрового, войлочного и др., величины подачи, частоты вра-

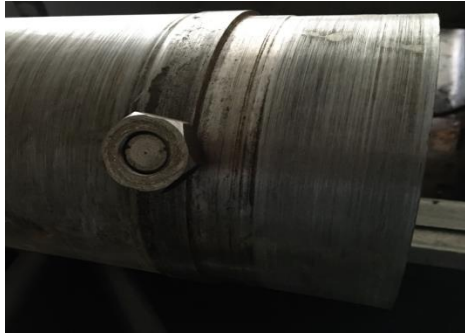
щения шпинделя и скорости резания круга проводилось на токарном станке. В качестве обрабатываемой детали использовали цилиндр с диаметром отверстия 170 мм, толщиной стенки 10 мм. В первой серии исследований использовали стандартные фетровые круги с наружным диаметром 120 мм, шириной 20 мм и отверстием 32 мм. Жесткость фетрового круга, установленного на оправке, составляет  $\sim 2000$  Н/м. Шероховатость расточенной, т.е. исходной поверхности соответствовала  $Ra = 6,9$  мкм. При определении диапазона варьирования исследуемых параметров после однократного шлифования пользовались фетровым кругом с нанесенным на него абразивным порошком зернистостью 40 (400 мкм), 20 (200 мкм) и 10 (100 мкм) карбида кремния зеленого. Частота вращения абразивного круга 1400 об/мин, а шпинделя – 500 об/мин. В результате сложения двух векторов скоростей получаем направление обработочных рисок под углом  $26,5^\circ$  к оси обрабатываемого цилиндра. Тогда для получения рисок, совпадающих с направлением движения поршня ДВС, необходимо наклонить ось на этот угол. На рис. 1 представлено устройство с наклонной осью абразивного (полировального) круга.



*Рисунок 1 – Внешний вид оправки с углом наклона оси абразивного круга к оси обрабатываемого цилиндра  $60^\circ$*

Поскольку измерение шероховатости поверхности на внутренней поверхности обработанного цилиндра с помощью профилографа-профилометра практически невозможно, то при проведении экспериментов использовали специально изготовленные образцы-«свидетели». Для этого в стенке цилиндра, перпендикулярно его оси, изготовили сквозное резьбовое отверстие, в которое ввинчивали сменные резьбовые пробки диаметром 20 мм, фиксировали контргайкой и обрабатывали внутренний диаметр цилиндра вместе с торцом пробки-«свидетеля». На рис. 2,а показан цилиндр с пробкой и контргайкой. Для последующего опыта использовали следующую маркированную пробку и т.д. После окончания серии экспериментов определяли шероховатость поверхностей на торцах пробок на профилографе-профилометре модели Optical Profiler. Micron beta (рис. 2,б).

Таким образом, разработанная и изготовленная технологическая оснастка позволяет получить направление обработочных рисок после полировального круга, которые совпадают с направлением движения поршня ДВС.



а



б

*Рисунок 2 – Оброблюваний циліндр з пробкою-«свідетелем» (а), профілограф-профілометр з пробкою на об'єктній столиці (б)*

Проведенные эксперименты с применением пробки-«свидетеля» позволили значительно упростить, а в ряде случаев сделать возможной, операцию замера шероховатости поверхностей в труднодоступных местах. Отметим также, что после замеров шероховатости пробки пригодны для многократного использования в качестве «свидетеля» в последующих опытах.

*Скобло Т. С., Клочко О. Ю.,  
Воронов О. С., Брефалов М. В.*

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ ЧЕРЕЗ ЗМІНУ ЇЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ**

Відповідно вимогам нормативних документів [1], структурний склад рейкової сталі строго регламентований: в голівці рейок після їх термічної обробки не допускається наявності бейніту та мартенситу. Багаторічними дослідженнями було встановлено [2], що отримання таких структур в металі істотно залежить від вихідного стану (його хімічного складу, способів виробництва і зміцнення), технології і параметрів зварювання (при експлуатації в дорозі). Істотний внесок у формування локальних зон з бейнітом і мартенситом вносять ліквідація хімічних елементів, а також середовища, типи і спеціальні способи охолодження в процесі гартування.

Здавальні випробування рейок передбачають контроль відсутності структур бейніту та мартенситу за рівнем твердості (в поперечному перерізі головки, яка повинна знаходитися в межах 33-41HRC, а глибина загартованого шару в центральній зоні відповідати  $\geq 11$  мм, на викружках  $\geq 15$  мм), а також за оцінкою мікроструктури і рівня мікротвердості. Попередніми дослідженнями [3] показа-

но, що застосування таких методів контролю не призводить до достовірних результатів, оскільки при термообробці рейок, де основу складають пластинчастий перліт, сорбіт і троостит, виділити не допустимі стандартом фази дуже складно, оскільки вони займають невеликі локальні ділянки і, як правило, розташовуються не в ізольованих зонах, а формуються спільно з основними структурними складовими у вигляді локальних ділянок. Тому металографічні дослідження часто їх не ідентифікують і застосування оцінок по мікротвердості і твердості виявляються не завжди ефективними.

У зв'язку з цим було проведено дослідження мікроструктури при різних способах виробництва рейкової сталі, спрямовані на виявлення наявності і областей розташування структур бейніту та мартенситу за допомогою комплексного аналізу, що включає оптико-математичну оцінку металографічного зображення [4] і зіставлення отриманих результатів з рівнем твердості в аналізованих зонах. Отримані результати виявили неоднорідність розподілу структур в пробах рейок по глибині, дозволивши оцінити ступінь однорідності й протяжність зони загартованої ТВЧ і перехідної.

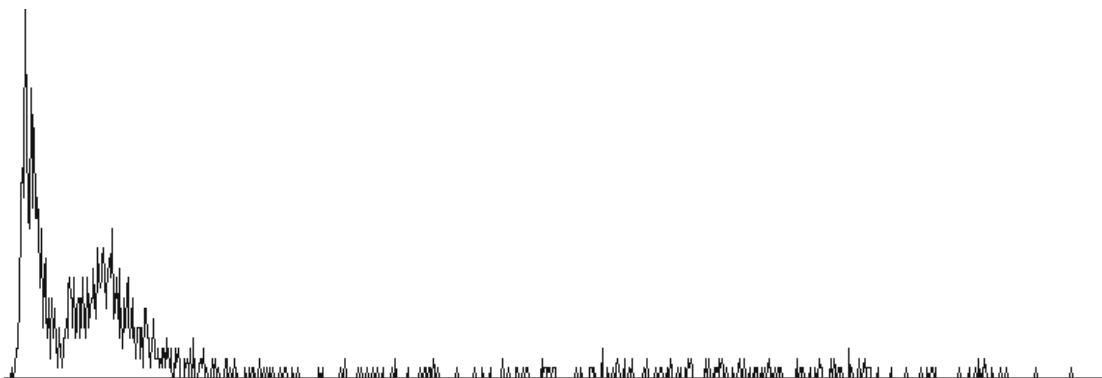
Необхідно зауважити, що в процесі гартування ТВЧ виникають структурні напруження різного роду, які викликають пластичну деформацію (наклеп) як на міжфазних границях і всередині фаз, так і локальну, в межах одного зерна. При цьому вільна енергія системи підвищується, в основному, за рахунок підвищення внутрішньої енергії. Збільшення неупорядкованості в деформованому металі, призводить до зміни ентропії (збільшення в результаті пластичної деформації і зменшення її - в результаті розвитку дефектів в процесі деформації).

Тому доцільно було проведення додаткових досліджень для оцінювання зон розташування структур з підвищеним вмістом вуглецю (мартенситу і бейніту), виявляючи відмінності також і всередині кожної з фаз, що мають локальну неоднорідність за концентрацією компонентів, аналізуючи зміни дислокаційної структури. Для цього використовували в якості критерію, що описує енергетичний стан системи, функцію потужності дисипації енергії в результаті таких термічних впливів [5]. При цьому, відповідно [6], ступінь неоднорідності даної функції визначали через її дисперсність, що описує конкретну структуру досліджуваного сплаву.

Дослідження проводили і на пробах від рейок, відібраних при відбракуванні на виробництві. Були оцінені металографічні зображення мікроструктур рейкової сталі загартованої ТВЧ з охолодженням дозованої подачі водоповітряної суміші. Були розраховані гістограми розподілу абсолютних значень функції потужності дисипації енергії. Отримані значення були розбиті на інтервали з певним кроком і для кожного оцінено ступінь дисперсності цієї функції. Таким чином, вдалося підвищити поріг чутливості методу оцінки, що дозволило виділити, як перлітні фази різного ступеня дисперсності, так і найбільш насичені вуглецем феритні, імовірно бейнітного типу.

Отримані результати можна розглядати як частотний спектр розсіювання енергії в процесі термічної обробки сталі. При цьому максимальним значенням функції відповідають структури найбільш насичені вуглецем. Виходячи з цього,

був побудований графік частоти розподілу дисперсності потужності дисипації енергії для мікроструктур рейкової сталі (рис. 1).



*Рисунок 1 – Частота розподілу дисперсності потужності дисипації енергії для мікроструктур рейкової сталі, відповідна розподілу різних фаз*

Для кожної дисперсності була розрахована її частка у відсотках, і середнє значення функції потужності дисипації енергії. Для отримання статистично значущого результату оцінку проводили для фотографій мікроструктури 95 зразків рейкової сталі, отриманих після різних способів виробництва.

На графіку представлено по осі  $x$  - потужність дисипації енергії (від 0 до 21000), по осі  $y$  – частота події (число випадків, %). Розраховані значення були проранжировані за функціями потужності. Аналізуючи отриманий результат, слід зазначити коливання і загасання числа випадків у міру зростання потужності дисипації. Де максимум відповідає найбільш рівноважному стану структури, а зміщення вправо свідчить про зовнішній вплив (підведення енергії).

Висновки. Представлені в роботі дослідження дозволяють доповнити і суттєво підвищити точність контролю фазового складу рейкової сталі з виявленням не припустимих стандартом більш твердих, насичених вуглецем фаз, таких як бейніт та мартенсит, навіть у вигляді локальних ділянок в зонах основної перлітної структури.

Також, запропоновану методику оцінки структур можна рекомендувати і для застосування при розробці нових технологічних процесів виготовлення з урахуванням матеріалу і способу виробництва виробів.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. ДСТУ 4344:2004. Національний стандарт України. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005.

2. Скобло Т. С., Сапожков В. Е., Сидашенко А.И. Производство поверхностно-закаленных рельсов с нагрева токами высокой частоты. Технологии производства и упрочнения. Оборудование. Теоретические основы процессов нагрева ТВЧ и охлаждения. Конструкционная прочность. Эксплуатационные

испытания. Повреждаемость рельсов в пути. Неразрушающий контроль качества: монография. – Харьков: ПромАрт, 2018. – 562 с.

3. Разработка методов оценки структуры рельсов, закаленных ТВЧ / Т. С. Скобло, О. Ю. Клочко, Е. Л. Белкин и др. – Сталь. – 2014, №3. – С.74–82.

4. Skoblo T.S., Klochko O.Yu., Belkin E.L. The Use of Computer Analysis of Metallographic Images in the Study of the Structure of High-Chromium Cast Iron. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*. 2012; 78(6):35-42.

5. Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Belkin, E.L., et al. New Approaches in Study of Inhomogeneity of Heterogeneous Structures. *Metallofizika i noveishie tekhnologii = Metallophysics and Advanced Technologies*. 2018; 40(2): 255-280. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.02.0255>

6. Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Belkin, E.L., *et al.*: Development of new approaches to estimation of the structure formation in high-chromium cast iron. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials* 83 (5), 2017, 27–38.

*Соломахо В.Л., Соколовский С.С.*

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

*Цитович Б.В.*

Белорусский Государственный институт повышения квалификации  
и переподготовки кадров по стандартизации, метрологии  
и управлению качеством, Минск, Беларусь

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

Для современного производства машиностроительной и приборостроительной продукции характерны две противоборствующие тенденции:

- расширение номенклатуры и снижение серийности производства изделий;

- унификация однотипных изделий и технологий.

Первая тенденция связана с желанием потребителя получить уникальное изделие, выделяющееся из однотипных и обеспечивающее выполнение ряда дополнительных функций, необходимых именно этому пользователю, а вторая – с разумным подходом изготовителя к унификации производства и имеет очевидное экономическое обоснование.

Разрешение этого противоречия может быть достигнуто за счёт кастомизированного производства продукции, которое отличается от массового и серийного производства частой сменой выпускаемых изделий. При этом однотипные изделия, изготавливаемые на общей платформе, могут выпускаться в



виде экземпляров, существенно отличающихся по внешнему виду и функционалу. Технологические сложности такого производства очевидны (отличающиеся детали и узлы, усложнённая логистика). К сложностям в разработке комплекса конструкций и обеспечивающих их создание технологических процессов добавляются сложности метрологического обеспечения.

Так как контроль является неотъемлемой составной частью технологии производства, уменьшение серийности производства и рост номенклатуры выпускаемых деталей и сборочных единиц приводит к увеличению числа и разнообразия контрольных процедур, ужесточению требований к объективности и точности контроля. Очевидное решение этой проблемы заключается в индивидуальной разработке метрологического обеспечения процессов измерительного контроля параметров каждого из новых технологических процессов и изделий. В результате следует ожидать увеличения затрат на метрологические процедуры, включая затраты интеллектуальных ресурсов на их разработку. Для их сокращения необходимо обеспечить максимальную унификацию методик выполнения измерений и методик функционально важных параметров изделий и их измерительного контроля. Необходимо отметить оправданную ориентацию, при проектировании методик выполнения измерений, на применении координатных измерительных машин.

Для унификации проектируемых методик выполнения измерений и обеспечения высокой эффективности метрологического обеспечения производства целесообразно опираться на метрологические модели. Метрологические модели, применимые для контроля объектов по определённому параметру, можно представить в виде схемы (рисунок 1).

Все возможные модели можно сгруппировать в два основных класса: концептуальные модели, построенные аналитическим путём в рамках принятой концепции объекта (их также называют аналитическими, теоретическими или «виртуальными»), и экспериментальные модели, построенные на основе результатов оценивания свойств.

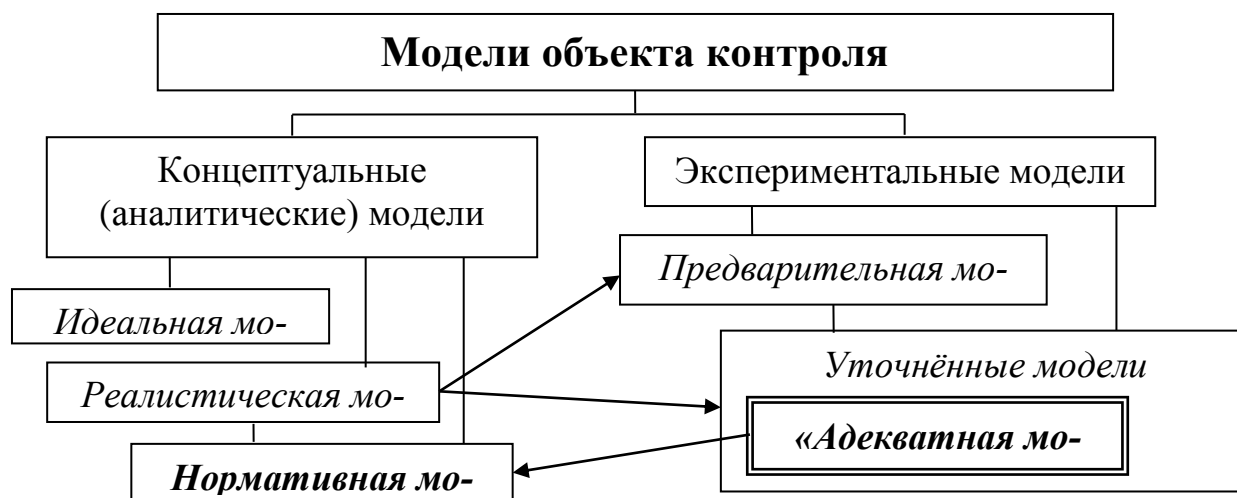


Рисунок 1 – Виды и взаимосвязь моделей объектов контроля

Поскольку идеальный объект технологически недостижим, исходную (концептуальную) модель приходится дополнять возможными искажениями – в этом заключается суть процесса построения реалистических моделей. Реалистические модели позволяют прогнозировать ожидаемые отклонения от идеала, нормируя допустимые искажения. Модель объекта, которая ограничивает отклонения от идеала, является его нормативной моделью.

Экспериментальную модель объекта создают по результатам оценивания контролируемых свойств. Она предназначена для сопоставления с нормативной моделью.

Адекватность экспериментальной модели элемента детали обеспечивают удовлетворительная точность контроля его функциональных размеров.

Точность можно назначить и проверить опираясь на ГОСТ 8.051, который устанавливает допустимые погрешности измерительного приёмочного контроля размеров изделий.

Специальной задачей является определение обоснованного числа контрольных точек и оптимально расположенных контрольных сечений для обеспечения представительности контроля.

*Стрельчук Р. М.*

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ ШЛИФОВАНИИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ**

Процесс электроэрозионного шлифования с изменяющейся полярностью электродов позволяет получать требуемые качественные и количественные показатели при значительном снижении удельного расхода алмазного круга и затрат различных видов энергии [1]. Это объясняется тем, что изменение во времени на электродах полярности и соответствующей частоты следования импульсов обеспечивает стабильные условия процесса шлифования. Изменяя частоту импульсов, их скважность и мощность при соответствующем изменении полярности электродов, можно регулировать непосредственно сам процесс, вплоть до равновесного состояния, обеспечив равнзначное проявление электрофизических и электрохимических (даже при их незначительности) процессов относительно обоих электродов. Процесс взаимодействия режущего инструмента с поверхностью обрабатываемого материала в условиях электроэрозионного шлифования с изменяющейся полярностью электродов не исследован. В связи с этим в работе проведено моделирование шероховатости поверхности, и установлены особенности и закономерности взаимодействия режущего инструмента с поверхностью обрабатываемого материала.

Взаимодействие алмазного круга с поверхностью обрабатываемого материала при электроэрозионном шлифовании представляет собой сложную электрофизическую систему [2]. Она является одновременно местом микрорезания и действия разрядов в межэлектродном промежутке. При приложении напряжения в этой зоне возникает электрический ток, который проходит через перемыкающие межэлектродный промежуток токопроводные мостики, рабочую жидкость, обладающую некоторой электропроводностью, и через канал возникающего разряда в период его действия.

Для определения шероховатости поверхности выполнялось вероятностно-статистическое моделирование. При электроэрозионном шлифовании шероховатость обрабатываемой поверхности формируется в результате образования отдельных лунок, перекрывающихся друг друга. Каждая лунка может быть представлена в виде шарового сегмента. Поскольку шаровой сегмент обладает геометрической симметрией относительно вертикальной оси, задача образования лунок рассматривалась в двухмерной постановке. Сечение лунки представляет собой круговой сегмент, радиус дуги которого равен радиусу шарового сегмента.

Принимая во внимание стохастический характер процесса образования лунок, для определения шероховатости поверхности использовался метод вероятностно-статистического моделирования (метод Монте-Карло), который заключается в следующем. Отдельная вершина и впадина неровностей обрабатываемой поверхности формируются при наложении двух лунок (рис. 1), которое моделировалось многократно. Для этого разыгрывались с помощью датчика случайных чисел по закону нормального распределения значения геометрических параметров лунок ( $d_n$  и  $h_n$ ) и величины параметров пересечения лунок и получались их крайние значения.

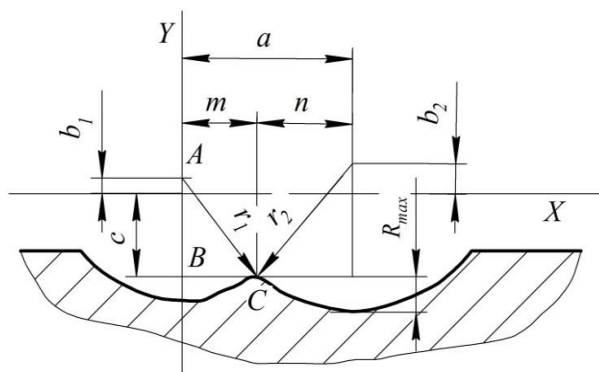


Рисунок 1 – Схема расчета шероховатости обрабатываемой поверхности

Шероховатость обрабатываемой поверхности  $R_{max}$  рассчитывалась по формуле:

$$R_{max} = r_{max} - b_{max} - c_{min}, \quad (1)$$

где  $r_{max}$  – наибольшее значение радиуса дуги;  $b_{max}$  – наибольшее значение расстояния между осью X и центром большей дуги из всех реализаций;  $c_{min}$  – наименьшее значение расстояния между точкой пересечения дуг и осью X из всех реализаций.

Определим параметр  $c$  при пересечении двух лунок. Расстояние по оси  $X$  между центрами двух пересекающихся дуг  $a$  определяется из диапазона от  $a_{min}$  до  $a_{max}$  и может быть найдено как:

$$a = m + n, \quad (2)$$

где  $m$  – расстояние между центром первой дуги и точкой пересечения дуг;  $n$  – расстояние между центром второй дуги и точкой пересечения дуг.

Из треугольников  $ABC$  и  $A_1B_1C$  имеем:

$$r_1^2 = m^2 + (b_1 + c)^2 \quad (3)$$

$$r_2^2 = n^2 + (b_2 + c)^2 \quad (4)$$

где  $r_1, r_2$  – радиусы двух пересекающихся дуг;  $b_1, b_2$  – расстояния между осью  $X$  и центрами двух дуг.

Решая уравнения (3) и (4), получим:

$$m = \sqrt{r_1^2 - (b_1 + c)^2}, \quad n = \sqrt{r_2^2 - (b_2 + c)^2}.$$

Суммируя  $m$  и  $n$ , имеем:

$$m + n = \sqrt{r_1^2 - (b_1 + c)^2} + \sqrt{r_2^2 - (b_2 + c)^2}. \quad (5)$$

С учетом (2) выражение (5) можно привести к виду:

$$\sqrt{r_1^2 - (b_1 + c)^2} + \sqrt{r_2^2 - (b_2 + c)^2} - a = 0.$$

Параметр  $c$  не может быть найден в явном виде из полученного выражения, поэтому для решения используют численный метод. Известно, что соотношение между глубиной и диаметром эрозионной лунки имеет вид:

$$\frac{d_{\pi}}{h_{\pi}} = 3 \dots 4 \quad (6)$$

Из треугольника  $ABC$  (рис. 2) имеем

$$r^2 = \left(\frac{d_{\pi}}{2}\right)^2 + k^2 \quad (7)$$

С другой стороны:  $r = k + h_{\pi}$ .

Отсюда

$$k = r - h_{\pi}. \quad (8)$$

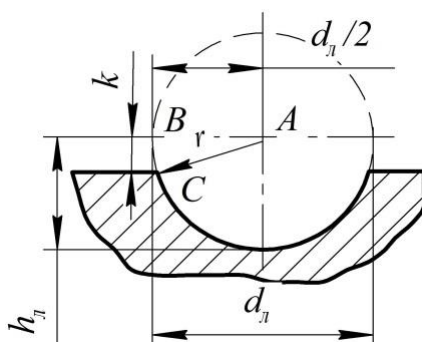


Рисунок 2 – Схема расчета радиуса дуги электроэрозионной лунки

С учетом (8) и (6) выражение (7) может быть представлено:

$$5h_{\pi}^2 - 2h_{\pi}r = 0.$$

Решая полученное уравнение, находим зависимость радиуса дуги  $r$  от глубины лунки  $h_d$ :

$$r = 2.5h_d.$$

Разработанная модель, учитывающая пространственное положение эрозионных лунок, их статистические размеры, позволяет рассчитывать параметры шероховатости, которые, в конечном счете, дают возможность прогнозировать долговечность формируемой детали.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент України на корисну модель №131894, МПК (2018.01) B24B 1/00. Спосіб електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів / Стрельчук Р. М., Узунян М. Д. – № u 201806851; заявл. 18.06.2018; опубл. 11.02.2019. – Бюл. № 3/2019.
2. Montes, J., Cuevas, F., Reina, F. Modelling and Simulation of the Electrical Resistance Sintering Process of Iron Powders // Met. Mater. Int. 26, p. 1045–1059 (2020).

*Тіхенко В.М., Сущинська С.А.*  
Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ РОЛІ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ В РОБОТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

В сучасних умовах основним фактором розвитку економіки вважається впровадження передових технологій у всіх галузях [1]. Важливою умовою розвитку внутрішнього ринку України повинна бути наявність ефективної національної системи технічного регулювання, головними елементами якої є стандартизація, метрологія, сертифікація. У прийнятому Організацією Об'єднаних Націй у 2015 році Підсумковому документі «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області стійкого розвитку на період до 2030 року» серед глобальних цілей зазначено «забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх», «вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками» [2]. Сталий і поступальний розвиток енергетики будь-якої держави багато в чому визначає її енергетичну безпеку і є стратегічною галуззю економіки, забезпечуючи електричною і тепловою енергією потреби всіх інших галузей промисловості, а так само щоденні потреби населення. При цьому роль метрологічного забезпечення та контролю в цій сфері значно зростає [3]. Основну частку електроенергії в усьому світі (більше 2/3 від загального виробітку всіх електростанцій) отримують на традиційних електростанціях – паротурбінних, газотурбінних та парогазових. В країнах з водними ресурсами на гідроелектростанціях використовують енергію водного

потоків річок. В багатьох країнах обрали ядерну енергетику, коли електроенергія виробляється на атомних електростанціях (АЕС), що використовують для цього енергію керуваної ланцюгової ядерної реакції поділу, найчастіше урану і плутонію. Більшість напрямків альтернативної енергетики засновані на цілком традиційних принципах, але первинною енергією в них служать або джерела локального значення, наприклад вітряні, геотермальні, або джерела, що знаходяться в стадії освоєння. Для безаварійної та безпечної для навколишнього середовища експлуатації енергетичних підприємств необхідно контролювати величезну кількість параметрів в режимі реального часу. Особливо шкідливими для людини інгредієнтами, що викидаються з димовими газами вугільних теплових електростанцій, є: оксиди азоту та сірки, дрібнодисперсні аерозолі, які включають золу, сажисті частинки, оксиди металів тощо, а також канцерогенні вуглеводні. Вищевикладене визначає актуальність підвищення метрологічного контролю на електростанціях, які працюють на вугіллі з додатковим використанням мазуту або природного газу. Слід зазначити, що багато газових сенсорів, що використовуються в газоаналізаторах, не забезпечують достатню точність вимірювань.

При експлуатації обладнання АЕС утворюються газоподібні викиди, що містять домішки  $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Ar$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $CH_3I$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ ,  $I_2$ , багато з яких є радіоактивними [4]. Ці викиди необхідно виводити в навколишню атмосферу після відповідного очищення з використанням різних адсорбентів в спеціальних фільтрах. Контроль якості таких адсорбентів перед їх завантаженням в адсорбційні фільтри, а також в процесі їх експлуатації, є необхідною умовою надійної роботи систем газоочищення викидів АЕС.

У всьому світі зростає інтерес до реакторів малої та середньої потужності або модульних реакторів з урахуванням їх здатності задовольняти потребу в гнучкому виробництві електроенергії для самих різних користувачів і застосувань і замінити старіючі електростанції, що працюють на органічному паливі. Крім того, вони є варіантами, придатними для віддалених регіонів з менш розвиненою інфраструктурою та відкривають можливості створення синергетичних гібридних енергетичних систем, що поєднують ядерні та альтернативні джерела енергії, включаючи поновлювані джерела. Нові підходи к роботі та впровадженню ММР можуть створювати проблеми для існуючої нормативної бази. Нові підходи к роботі та впровадженню ММР можуть створювати проблеми для існуючої нормативної бази, в тому числі в сфері метрології. Незважаючи на те, що малі модульні реактори мають менший розмір і використовують інноваційні технології з багатьма вбудованими функціями безпеки, головна мета регулювання залишається незмінною – забезпечити захист населення і охорону навколишнього середовища, а також звести до мінімуму ризик аварій і радіоактивних викидів. Необхідне подальше вдосконалення систем автоматичного виміру контролю параметрів та підготовки персоналу, який здійснює метрологічне забезпечення роботи реакторів. Це збільшує запас безпеки і в деяких

випадках практично виключає ризик серйозного пошкодження активної зони реактора і, отже, ймовірність великих викидів радіонуклідів в разі аварії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Поплавська О., Балабанюк Д. Інноваційно-технологічне забезпечення сталого розвитку економіки України. Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. 2018. № 3. Т. 2. С. 170–173.

2. Декларація Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області стійкого розвитку на період до 2030 року». URL: <http://sdg.org.ua/ua/resources-2/344-2030-2015>

3. Quinn T. The development of modern metrology and its role today / T. Quinn, J. Kovalevsky // Phil. Trans. R. Soc. A. – 2005. – 363. – doi: 10.1098/rsta.2005.1642.

4. Zaitsev S. Development of methods of gas chromatographic analysis of technological media of the main circulation pumps of a nuclear power plant / S. Zaitsev, V. Kyshnevsky, V. Chichenin, A. Tykhomyrov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, V. 6, № 6(108) 2020. p.59-70.

*Тіхенко В.М., Лузін Н.А.*

Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

## ТЕНДЕНЦІ РОЗВИТКУ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТІВ

В кінці вісімдесятих і початку дев'яностих років двадцятого століття в галузі металообробки почали з'являтися нові фактори, що зумовили зміни в конструкціях металорізальних верстатів в тому числі в шпиндельних вузлах. Так значно зросли вимоги до точності обробки деталей машин, а розробка нових інструментальних матеріалів створило передумови для розвитку високопродуктивних процесів механічної обробки, що характеризуються високими швидкостями різання. З'явилися нові терміни – надпрецизійна та високошвидкісна обробка.

Для надпрецизійної обробки (Ultra-precision Machining) деталей машино- і приладобудування типу тіл обертання (тонке обточування і розточування, алмазну обробка) необхідні високі швидкості різання, малі подачі та глибина різання з високою вібростійкою технологічної системи. Завдяки тонкому обточуванню (Super-precision Turning) високоточні поверхні деталей в мікронному діапазоні отримують з правильною геометричною формою, просторово-точним розташуванням осей і параметром шорсткості Ra менш ніж 0,063 мкм.

Високошвидкісна обробка металів різанням - High Speed Cutting (HSC) є одним із сучасних і важливих напрямків в галузі металообробки, що дозволяє збільшити точність та якість в порівнянні зі традиційними способами. Підви-

щена ефективність забезпечується тим, що високі режими різання скорочують час обробки і вартість кінцевого виробу. В деяких випадках використання високошвидкісної обробки є єдиним можливим способом обробки деталей.

Одним з найбільш відповідальних вузлів металорізального верстата є шпindelльні вузли, які беруть участь в рухах формоутворення. До цих вузлів пред'являються високі вимоги з точки зору точності та надійності, динамічних характеристик, термостабільності, діагностування стану, тобто всього того, що забезпечує стале функціонування. Ефективність їх роботи багато в чому залежить від застосовуваних у ньому видів опор.

У високошвидкісних шпindelльних вузлах використовують опори кочення, гідростатичні, аеростатичні та електромагнітні. Однак у вузлах на опорах кочення виявляються теплові деформації, нестабільність траєкторії руху шпindelля і характеристик жорсткості підшипників, що пов'язано зі зміною кута повороту сепаратора з комплектом тіл кочення і похибкою виготовлення кілець, а також обмежений ресурс роботи. Конструктивні резерви підвищення швидкодійності підшипників кочення для шпindelльних вузлів значною мірою вичерпані.

В сучасних прецизійних і високошвидкісних металорізальних верстатах, в верстатах для мікрорізання, різання надтвердим інструментом, а також у важких і унікальних верстатах застосовують шпindelльні вузли з безконтактними гідростатичними і аеростатичного опорами ковзання у яких точність, здатність навантаження, швидкісні і динамічні характеристики перевершують аналогічні показники інших опор ковзання і кочення.

Використання гідростатичних опор, які мають високу надійність і практично необмежену довговічність, і засобів балансування забезпечує високу точність обертання шпindelля і жорсткість. Однак вони не виробляються централізовано і не є покупними виробами (як підшипники кочення).

Шпindelльні вузли на аеростатичних опорах можуть забезпечувати високу частоту обертання. Однак, через порівняно низькі несучі та демпфіруючі характеристики мастильного шару цих опор, вони знайшли застосування в високошвидкісних верстатах, які використовуються для фінішних технологічних операцій [1].

Шпindelльні вузли на електромагнітних опорах, в яких відсутній механічний контакт, мають необмежений ресурс, невисоке енергоспоживання, відносно високу жорсткість за умови керування магнітною силою і незначний коефіцієнт опору обертанню [2]. Проте вони поки ще не знайшли широкого застосування в верстатобудуванні внаслідок невисокої несучої здатності та складності як самих вузлів, так і їх електронних систем керування.

Одним з можливих шляхів подальшого підвищення вихідних характеристик шпindelльних вузлів полягає у впровадженні в їх конструкції нового типу підшипників – комбінованих газоманітних опор [3]. Вони позбавлені недоліків газових опор, і підтримуючи необхідну несучу здатність магнітними силами. Недоліки магнітних опор по нестійкості положення шпindelля компенсуються полем газових сил.



Сучасні високошвидкісні шпиндельні вузли комплектують різними датчиками (для відстеження просторового положення шпиндельного вала, температури опор і вібрації) для створення системи інформаційного забезпечення. За допомогою отриманих даних від датчиків пристрій ЧПК визначить відхилення вала і зробить необхідну компенсацію. Датчики температури на опорах застерігають від перегріву і пошкодження шпинделя. Датчик вібрації при критичних значеннях також попередить про надмірний рівень вібрації.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Космынин, А. В. Высокоскоростные шпиндельные узлы с опорами на газовой смазке / А. В. Космынин, В. И Шаломов, С. П. Чернобай // Вестник машиностроения. 2007. – № 1. – С. 51-53.

2. Журавлев, Ю. П. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение / Ю. П. Журавлев // СПб.: Политехника. 2003. – 206 с.

3. Космынин, А.В. Применение магнитной силы в газостатических опорах высокоскоростных шпиндельных узлах / А.В. Космынин, В.С. Щетинин, Н.А Иванова // Вестник машиностроения. 2009. №5. – С. 19-21.

*Третьяк В. В., Давидова І. О., Нижник С. М.*  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

### **РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРУПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ**

В курсовому і дипломному проектуванні для студентів-технологів однією із важливих частин є розрахунок економічної ефективності. Такі розрахунки, як правило, виконуються за допомогою жорстких алгоритмів і наявних даних для розрахунків, які студенти знаходять в різноманітних літературних джерелах. При цьому тип технологічного процесу може бути різним. Так, для групових технологічних процесів студенти повинні виконувати розрахунки декілька разів, змінюючи вхідні дані і знаходження кращого варіанту. Це потребує значного часу на самі розрахунки, а також на їх перевірку.

В сучасних САПР системах представлені різноманітні типи розрахунків, але вони як правило виконуються тільки на рівні операційних розрахунків.

Для раніше розробленого групового технологічного процесу виготовлення групи деталей за допомогою різноманітних САПР ТП (наприклад в системах «Вертикаль», «ТехноПро», «СПРУТ» або ін.) можливо швидко отримати комплект технологічної документації на виготовлення групи деталей [1, 2]. Наприклад, технологічний процес виготовлення деталей групи «Водило» проводиться

за шість етапів оброблення: заготовочний, термічний, чорновий, напівчистовий, зубообробка, чистовий.

На кафедрі технологій виробництва авіаційних двигунів розроблено програму для розрахунків економічної ефективності технології виготовлення деталей авіаційних двигунів (рис. 1 – 3).

Дані для основного обладнання та технологічного процесу виготовлення деталі		
Найменування обладнання	Трудоємність робіт, $T_i$ , нормо-годин.	Розряд робіт, $P_i$
Токарний верстат	0,31	3
Токарно-гвинторізний верстат	0,37	3
Свердлильний верстат	0,34	3
Круглошліфувальний верстат	0,73	3
Універсально-фрезерний верстат	0,64	3

Рисунок 1 – Основні дані для виконання розрахунків

Додаткові дані для розрахунків		
Найменування показника	Умове позначення	Величина
Норматив додаткової заробітної плати основних робітників, %	НЗП	50
Норматив відрахувань до фонду єдиного соціального внеску (ЕВС), %	НЕСВ	22
Маса матеріалу заготовок, кг	ММ	0,453
Коефіцієнт використання основних матеріалів, %	КВМ	0,17
Середня вартість матеріалів, грн/кг	СВ	70
Норматив транспортно-заготівельних витрат, %	НТ	1,5

Рисунок 2 – Додаткові дані для виконання розрахунків

Основне призначення програми – практичне виконання комплексу розрахунків обґрунтування економічної доцільності виробничого плану підприємства.

Розрахункова програма включає наступні алгоритми розрахунків:

1. Визначення первинної вартості основних засобів підприємства.
2. Розрахунок кількості працівників по категоріях працюючих.
3. Визначення середньомісячного заробітку по категоріях працівників.
4. Розрахунок нормативів загальновиробничих витрат підприємства.
5. Визначення виробничої собівартості виробу.
6. Визначення повної собівартості виробу.
7. Визначення критичної програми випуску виробу.

8. Розрахунок нормованої величини оборотних коштів.

9. Узагальнюючі економічні показники підприємства.

Собівартість та ціна виробу		
	Види витрат:	Значення
1	Витрати на сировину, ВМ (грн)	32,18
2	Зворотні відходи, ЗВ (грн)	3,16
3	Основна заробітна плата, ОЗПР (грн·год)	83,65
4	Додаткова заробітна плата, ДЗПР (грн)	41,82
5	Відрахування єдиного соціального внеску, ЕСВПР (грн)	27,60
6	Змінні витрати ЗмВ, (грн)	49,04
7	Постійні витрати, ПоВ (грн)	68,31
8	Виробнича собівартість СВр, (грн)	299,46
9	Адміністративні витрати, АВ (грн)	15,89
10	Витрати на збут, ВЗ (грн)	4,49
11	Повна собівартість, СПо (грн)	319,84
12	Прибуток, (грн)	59,17
13	Разом ціна без ПДВ, (грн)	379,01
14	ПДВ, (грн)	63,96
15	Разом ціна з ПДВ, (грн)	442,98

Рисунок 3 – Фрагмент форми із результатами розрахунків

Програма використовувалась в дипломному проектуванні бакалаврів і магістрів, в тому числі для розробки групових технологічних процесів авіаційних деталей.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування технологічних процесів у САПР ТП [Текст] : П79 навч. посіб. до дипл. проектування / В. В. Третяк, В. Д. Сотников, С. В. Худяков, І. В. Скорченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 80 с.

2. Разработка групповых технологических процессов при изготовлении листовых деталей импульсной обработкой с использованием компьютерных информационных технологий / В. В. Третяк, О. В. Мананков, Д. А. Овчар, А. В. Онопченко // Авиационно-космическая техника и технология : науч.-техн. журнал. – Харьков: ХАИ, 2009. – № 3 (60). – С. 17–20.

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ФОРМУВАННЯ ПРОФІЛІВ З ПОВЗДОВЖНИМИ ПЕРІОДИЧНИМИ ГОФРАМИ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ ЇХ ПЕРІОДУ

Одним з найбільш ефективних видів економічних гнутих профілів є листові і сортові профілі з поздовжніми періодично повторюваними гофрами жорсткості. На якість цих профілів і можливість їх застосування в конструкціях різних машин і механізмів істотно впливає точність періоду формованих гофрів. У свою чергу, спостерігається досить значний вплив площ контакту, валків з металом в осередку деформації на точність геометричних розмірів профілів, що проявляється у вигляді відхилення довжин періодів формованих гофрів від номінальних. З урахуванням викладеного, для вивчення особливостей такого впливу і підготовки практичних рекомендацій з проектування раціонального технологічного процесу, вироблення вимог до профілів з поздовжніми періодично повторюваними гофрами, були виконані дані дослідження.

Виконаний аналіз основних факторів, що впливають на точність поздовжніх розмірів профілів з поздовжніми періодичними гофрами показав, що до числа основних з них відносяться: 1) діаметри нижнього ( $D_1 = 2R_1$ ) і верхнього ( $D_2 = 2R_2$ ) валків; 2) параметри геометричного осередку, деформації: довжина ( $L$ ), центральні кути контакту, металу, з верхнім ( $\beta$ ) і нижнім ( $\alpha$ ) валками в поздовжньому напрямку; 3) площі контакту, металу з нижнім ( $F_1$ ) і верхнім ( $F_2$ ) валками; 4) товщина, металу ( $S$ ) і його фізико-механічні властивості ( $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta_5$ ,  $\psi$ ). Для проведення експериментів була обрана заготовка товщиною 1,4 мм, що близько до нижчої межі діапазону товщини металу, формованого на агрегаті І - 5х300 - 1650, який виробляє подібну металопродукцію.

У роботі була використана, методика планування експерименту, враховані необхідні вимоги щодо забезпечення фізичної подібності процесів при їх моделюванні. Отримані результати оброблялися методами математичної статистики. З урахуванням викладеного, для проведення досліджень був обраний повний факторний експеримент типу  $2^2$ .

У якості незалежних змінних для дослідження впливу величини площі контакту з металом верхнього і нижнього валків і співвідношення їх основних діаметрів на точність поздовжніх розмірів профілів з періодичними гофрами були прийняті наступні відносини

$$x_1 = \frac{R_1}{R_2 + H_2}; \quad x_2 = \frac{F_1}{F_2}, \quad (1)$$

де:  $R_1$ ,  $R_2$  – радіуси нижнього і верхнього валків, відповідно;  $H$  – висота опуклого формуючого елемента;  $F_1$ ,  $F_2$  – площі контакту металу з нижнім і верхнім валком в осередку деформації.

Рівні зміни факторів визначалися на підставі аналізу основних технологічних характеристик агрегату I – 5 x 300 – 1650 ( $R_1, R_2$  – 255 ... 355мм;  $H$  – 10 ... 30 мм) і для  $x_1$  вони становлять: 0,89 ... 0,96.

В раніше виконаних дослідженнях по зносу і пруженню валків встановлено, що контакт металу з валками в основному обмежується осередком деформації. У зв'язку з цим, в якості незалежної змінної  $x_2$  вибрано співвідношення ( $F_1 / F_2$ ).

Рівні зміни фактору  $x_2$ , що характеризує зміну відношення площ контакту металу з валками, обумовлені прийнятими для експерименту технологічними параметрами калібрувань валків, і становили 1 - 2.

Інтервали варіювання і основний рівень факторів повного факторного експерименту, типу  $2^2$  наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Незалежні змінні	Межі зміни змінних в дослідях			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$x_1 = \frac{R_1}{R_2 + H_2}$	0,84	0,89	0,94	0,05
$x_2 = \frac{F_1}{F_2}$	1	1,5	2	0,5

В якості функції відгуку ( $z$ ) прийнято відношення,  $z = \frac{T_b - T_{\pi}}{T_b}$  де:  $T_b$  – період профілів по валкам;  $T_{\pi}$  – період, який забезпечувався валками на профілях.

Для отримання рівнянь регресії методом ітерацій вирішувалася двуфакторне завдання. Оптимальними приймалися нульові значення зазначеної залежності.

**Результати досліджень.** Отримані результати вимірів періоду ( $T_{\pi}$ ) експериментальних профілів і відповідні розгортки кола бочки валків ( $T_b$ ) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

$x_1$	$x_2$	$T_b$ , мм			$T_b$ ср, мм	$T_{\pi}$ , мм			$T_{\pi}$ ср, мм	$z_i$
		1	2	3		1	2	3		
0,84	1	686	686	686	686	691	691	689	690,3	-0,0063
0,94	1	706	706	706	706	705	706	704	705,0	+0,0014
0,84	2	686	686	686	686	692,5	692	689	691,2	-0,0076
0,94	2	706	706	706	706	706	704	704,5	704,8	+0,0017

Аналіз отриманих даних показує, що поверхня відгуку являє собою поверхню, що перетинає нульові значення функції відгуку, і змінює значення функції відгуку від (+0,0014; +0,0017) до (-0,0063; -0,0076).

Рівняння регресії, отримане за результатами експериментальних досліджень, має вигляд:

$$z_i = - \left( 0,0027 + 0,0042 \frac{R_1}{R_2 + H} \right) - 0,0002 \frac{r_1}{r_2} \quad (2)$$

Коефіцієнт кореляції для рівняння (2) дорівнює 0,99. Вид поверхні відгуку наведено на рисунку.

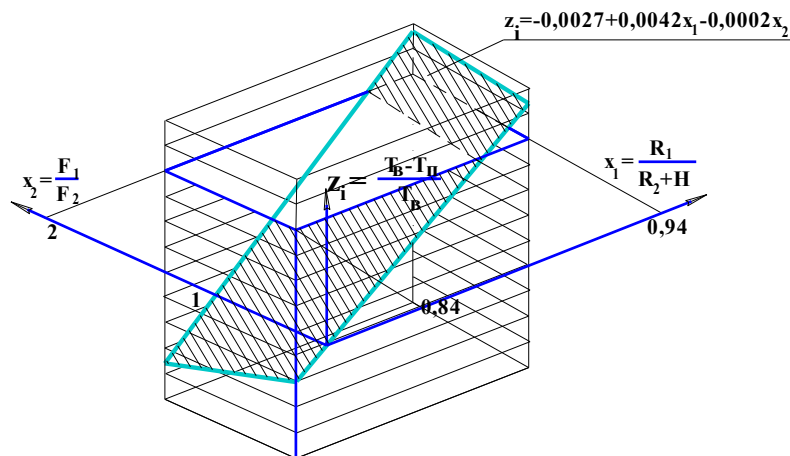


Рисунок 1 – Поверхня відгуку, побудована за розрахунковими значеннями коефіцієнта регресії

Оскільки оптимальним є нульове відхилення поздовжніх розмірів профілів від номінальних, прирівнявши вираз рівняння регресії нулю і вирішуючи останнє щодо  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $H$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ , одержуємо ряд залежностей для оцінки технологічності профілів і оптимізації параметрів технологічного процесу:

$$R_1 = \frac{(R_2 + H)(0,2r_1 + 2,7r_2)}{4,2r_2}; \quad R_2 = \frac{4,2R_1r_2}{(2,7r_2 + 0,2r_1)} - H;$$

$$H = \frac{4,2R_1r_2}{(2,7r_2 + 0,2r_1)} - R_2; \quad (3)$$

$$r_1 = \frac{[4,2R_1 \quad 2,7(R_2 + H)]/r_2}{0,2(R_2 + H)}; \quad r_2 = \frac{0,2r_1(R_2 + H)}{[4,2R_1 \quad 2,7(R_2 + H)]/r_1}.$$

Таким чином, при розробці технології валкового формування нових профілів з повздовжніми періодичними гофрами з урахуванням проведених експериментальних досліджень і отриманих залежностей необхідно дотримуватися наступних етапів:

1) оцінити відповідність (близькість) розмірів поперечного перерізу гофрів профілів значенням  $H$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  - за виразами (3); при невідповідності розмірів провести їх коригування;

2) визначивши необхідний для формування потрібного періоду гофрів один з основних діаметрів валків, розрахувати за відповідним виразом (3) значення другого, тобто визначити ( $R_1$ ) або ( $R_2$ ).

Отримані результати можуть бути використані при розробці технології виробництва нових профілів з повздовжніми періодичними гофрами, забезпечуючи підвищення їх якості за рахунок формування профілів з точнішою довжиною періоду.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОТОРНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ**

В настоящее время все более широкое применение находят различные способы активации смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), что в ряде случаев позволяет повысить эффективность применяемых технологий. В частности, механическое воздействие на СОЖ в различных гидродинамических установках приводит к изменению её физико-химических свойств, что способствует повышению производительности металлообработки и снижению затрат на подготовку и эксплуатацию СОЖ [1].

В настоящее время нет работ, позволяющих аналитически описать связь энергетических воздействий на процессы внутренних преобразований в продукте, происходящих при активации. Поэтому при исследованиях гидродинамических установок рассматриваются только параметры внешнего воздействия (давления, скорости, температуры и их градиенты), которые необходимо связать с параметрами, определяющими эффективность СОЖ.

В общем случае гидродинамическая активация – это энергетическое воздействие на СОЖ с целью изменения её физико-химического состояния и повышение эффективности использования в технологическом процессе. При этом активация может выполняться как с целью изменения физико-химических свойств СОЖ, так и для изменения параметров механической обработки. В зависимости от используемых устройств и уровня энергетического воздействия это может быть барботаж паром, интенсивное перемешивание в пропеллерных мешалках или коллоидных мельницах, гомогенизаторах, обработка в гидродинамических установках с разной энергетической напряженностью [2].

В общем случае в активаторе должны создаваться условия, обеспечивающие приобретение продуктом новых свойств, которые зависят от выполнения определенных условий. Такими условиями могут быть величина и интенсивность силового и теплового воздействия, гидроудары, сдвиговые и сжимающие напряжения, введение дополнительных компонентов в определенном количестве и состоянии и др. При этом на состояние продукта оказывает влияние взаимодействие энергетических полей, физико-химических эффектов, трансформация и инверсия видов энергетического воздействия [3].

Структура управление параметрами СОЖ при механической обработке, показанная на рис. 1, отражает приведенные выше посылки.

Сложность и многосторонний характер физико-химических процессов, протекающих при активации СОЖ, и специфичность по отношению к различного рода материалам, участвующим в металлообработке, разнообразность возможных условий применения в большинстве случаев не дают возможности

сформулировать универсальные рекомендации по использованию того или иного метода активации [4].

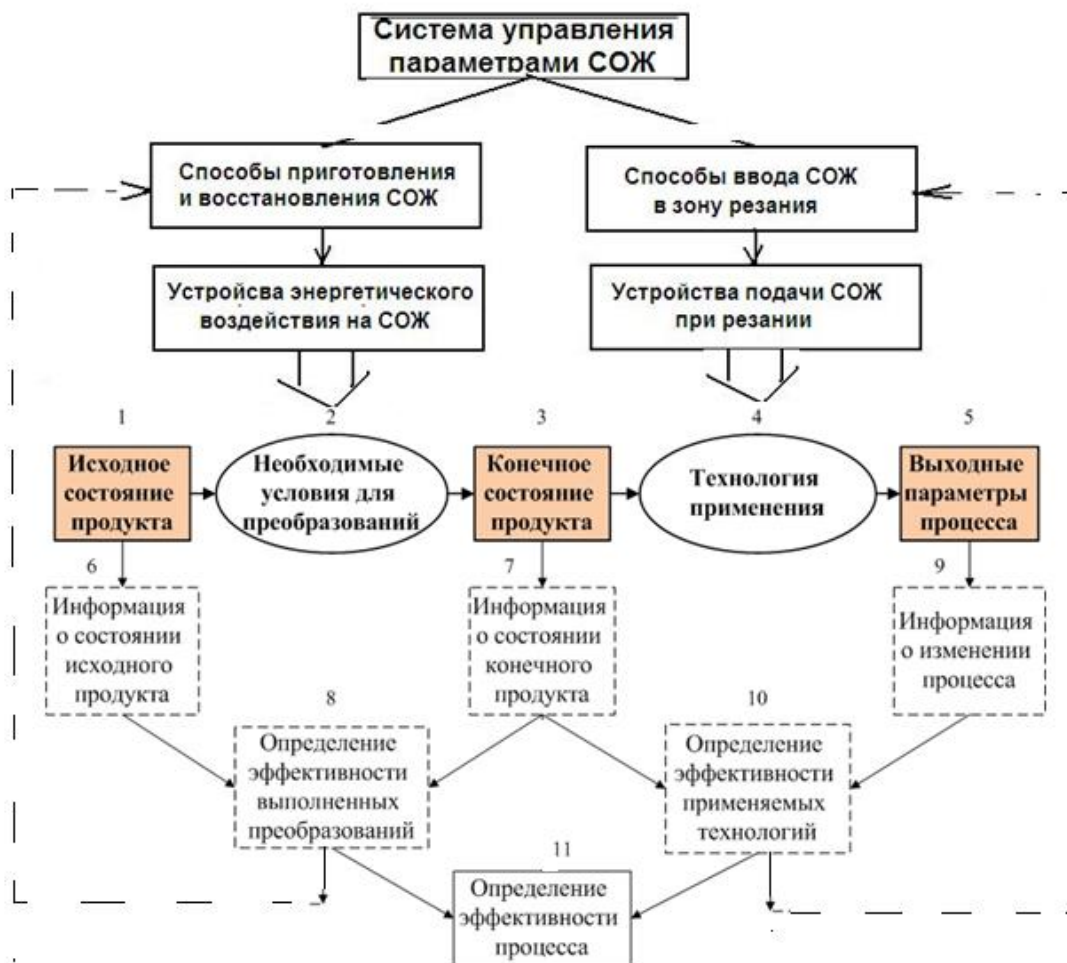


Рисунок 1 – Система управления параметрами СОЖ

Однако есть несколько критериев, с помощью которых можно оценить изменение состояния самой СОЖ. Так, предварительная гидродинамическая (кавитационная) обработка позволяет повысить гомогенность СОЖ, сделать ее мелкодисперсной, обеспечить высокую стойкость, в том числе и бактериологическую (1-2-3). Кроме того, при активации СОЖ в нее могут вводиться композиции со специальными добавками.

Контроль исходной и полученной после активации СОЖ позволяет определить эффективность ее обработки в активаторе (6-7-8). Дальнейшее использование такой СОЖ создает предпосылки, позволяющие улучшить условия резания и снизить теплонапряженность процесса, что в конечном итоге обеспечивает повышение производительности и качества обработки (3-4-5). Сравнение показателей процесса резания и состояния СОЖ перед введением ее в зону обработки дает возможность проанализировать влияние подготовки эмульсии и эффективность ее активации (7-9-10).

Если промежуточный контроль состояния СОЖ (7) не выполняется, то эффективность процесса может определяться по суммарному воздействию ка-



витационной обработки и технологии использования (1-5). В этом случае сравнивается исходное состояние эмульсии с конечным эффектом при использовании комплекса, включающего в себя кавитационное воздействие на СОЖ и выбор рационального способа введения ее в зону обработки (6-9-11).

Для исследований энергетических характеристик роторных гидродинамических установок на кафедре «Технология машиностроения и металлорежущие станки» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» был разработан специальный стенд, позволяющий получать необходимые данные во время испытаний с последующей их обработкой на ПК [2].

Во время испытаний диспергатор (ДФ-10А) был подключен к измерительной системе по схеме (Рис. 2). При этом выполнялись измерения температуры на входе ( $T_1$ ), на выходе ( $T_2$ ) в цепи рециркуляции ( $T_3$ ), в баке ( $T_6$ ). Измерялось давление (разрежение) на входе ( $P_1$ ), давление на выходе ( $P_2$ ), и давление в цепи рециркуляции ( $P_3$ ). Нагрузка электродвигателя измерялась по току ( $A$ ). Выполнялись измерения расхода на выходе ( $PM_1$ ) и расхода в цепи рециркуляции ( $PM_2$ ).

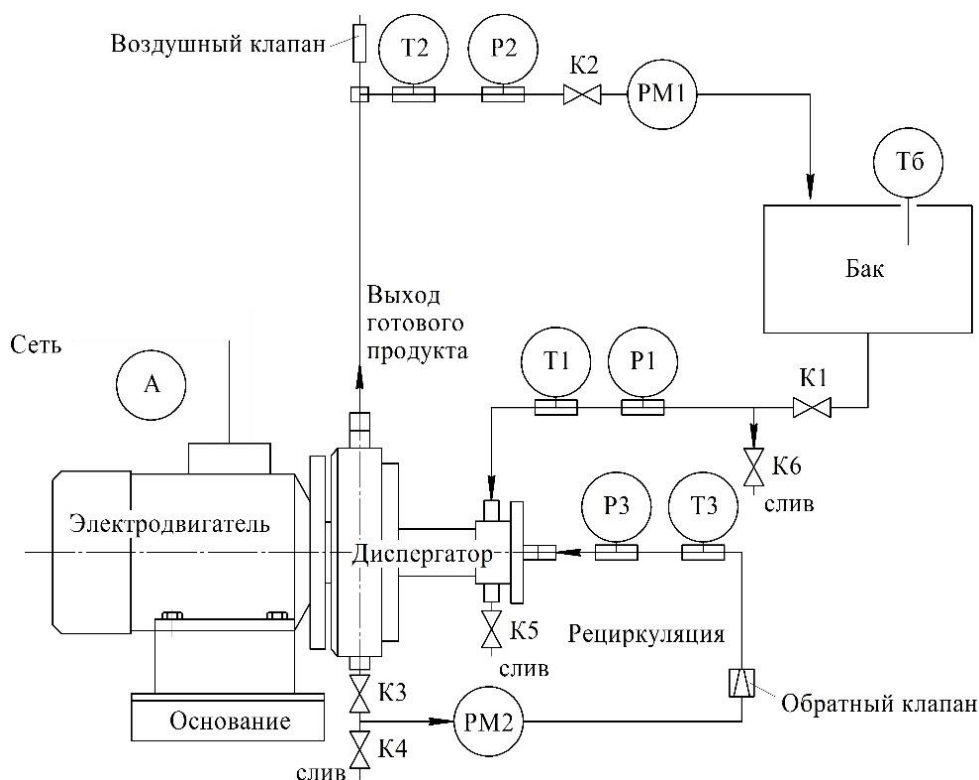


Рисунок 2 – Схема измерений при испытании ДФ-10А

Ниже приведен пример из серии опытов при оценке эффективности работы диспергатора. В качестве параметра управления использовалось давление в рабочей камере. Постепенно перекрывая кран  $K_2$ , создавали сопротивление на выходе. Давление изменялось от 0,10 до 0,22 МПа, производительность на выходе уменьшилась от 2,25 до 0,51 м<sup>3</sup>/час. Перепад температур на входе и выходе  $\Delta T = (T_2 - T_1)$  увеличился от 5 до 10 °С. График измерений показан на рис. 3.

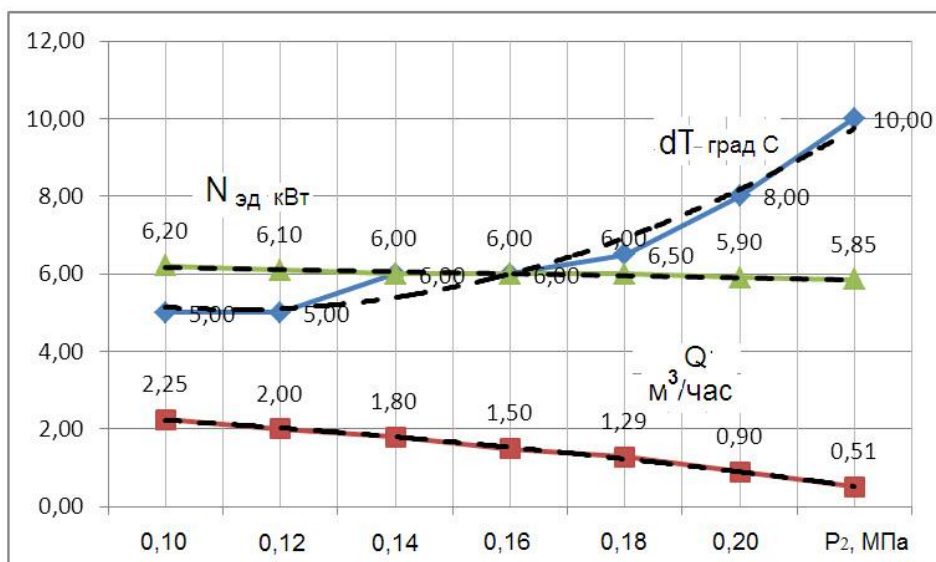


Рисунок 3 – Параметры процесса в рабочей камере диспергатора

Таким образом, используя предложенную выше структуру и методику получения данных из рабочей зоны установки, можно выполнить анализ эффективности активации, как на этапе изменения физико-химического состояния рабочей среды после энергетического воздействия, так и при изменении параметров процесса, в котором используется данный рабочий продукт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко А. В. Использование кавитации при обработке СОЖ : Физические и компьютерные технологии: труды 13-й Междунар. научн.-техн. конф., г. Харьков, 19–20 апреля 2007. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2007. – С. 34–39.
2. Фесенко А. В. Особенности обработки жидкостей в роторных активаторах / А. В. Фесенко, Ю. Н. Любимый // Вестник национального технического университета «ХПИ», сб. научн. работ. Тематический выпуск: Технологии в машиностроении. – Харьков: Изд. НТУ «ХПИ», 2008. – №1. – С. 14–18.
3. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика : монография / М. А. Промтов. – Москва: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
4. Балабышко А. М. Прогрессивное оборудование для получения высококачественных СОЖ : Обзор / А. М. Балабышко. – Москва: ВНИИТЭМР, 1989. – 40 с.
5. Промтов М. А. Механизмы генерирования тепла в роторном импульсном аппарате / М. А. Промтов, В. В. Акулин // Вестник ТГТУ. – 2006. – Т.12. – №2. – С. 364–369.
6. Фесенко А. В. Сравнительный анализ гидродинамических установок для диспергирования, гомогенизации и нагрева жидкости / А. В. Фесенко, Ю. Н. Любимый // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». – Суми: СДУ. – 2009. – №4. – С. 103-109.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

Повышение эффективности, энергосбережение и проблемы экологической безопасности требуют внедрения новых технологий и аппаратных средств, обеспечивающих интенсификацию процессов и получение оптимальных параметров продукта. Одним из направлений воздействия, в частности, на жидкую среду, является введение дополнительных видов энергии или перераспределение вводимой энергии с целью активации и получения необходимых эффектов меньшими затратами.

Для интенсификации химических или массообменных процессов в таких системах, используются методы кавитационного воздействия. В настоящее время все большее применение в разных отраслях промышленности находят гидродинамические устройства, с помощью которых в потоке жидкости создаются условия кавитации, обеспечивающие диспергирование, гомогенизацию, активацию, ускорение химических реакций, нагрев рабочей среды [1, 2]. Такие устройства, в зависимости от технологического назначения могут иметь различные конструкции, но предназначены для энергетического воздействия на среду в рабочей зоне.

Для интенсификации технологических процессов используется, в частности, кумулятивное действие схлопывающихся кавитационных пузырьков в потоке жидкости. При этом происходит сильное локальное понижение давления вследствие больших скоростей течения жидкости в рабочей зоне. Увеличение скорости выше критической приводит к выделению из жидкости пузырьков газа или пара, которые попадая в область пониженного давления приобретают способность к неограниченному росту. Переходя в область повышенного давления, кавитационные пузырьки резко захлопываются. Таким образом, при расширении и сжатии кавитационной полости происходит своеобразная трансформация мощности. В конечной стадии захлопывания кавитационной полости возникают мощные кратковременные импульсы давления. При захлопывании парогазовая смесь достигает температуры выше критической и адиабатически сжимается до высоких давлений. Давление газа внутри полости достигает весьма больших значений – десятков и сотен тысяч атмосфер [3].

Технологии, использующие явления кавитации применяются при приготовлении топливных смесей, при приготовлении и восстановлении смазочно-охлаждающих жидкостей, при приготовлении пищевых смесей и обеззараживании воды, для ускорения химических процессов и т.д.

В энергетических установках использование в качестве топлива дизельного топлива, мазута, рапсового и сланцевого масел предполагает предвари-

тельную обработку с целью его гомогенизации, удаления водных линз и раздробления загустевших включений. При такой подготовке может быть обеспечено его эффективное использование при стабильном горении [6, 7].

Наличие в сжигаемом мазуте воды при обычном неравномерном ее распределении в виде крупных капель, линз, полостей влечет за собой падение КПД котлоагрегата из-за неравномерности горения. При этом дополнительно расходуется топливо на испарение воды [7, 8]. Даже при сжигании мазута с кондиционным содержанием воды (до 5 %) среднеэксплуатационный коэффициент избытка воздуха оказывается выше оптимального на 5,5 % и среднеэксплуатационный КПД котлоагрегата падает на 0,5–1,1 %. При обводненности мазута на уровне 10 – 15 % КПД котлоагрегата уменьшается, по меньшей мере, на 2,0 – 3,5 %. Таким образом, эффективное использование обводненных мазутов возможно лишь при условии равномерного распределения воды в мелкодисперсном виде по всему объему, что и достигается при кавитационном воздействии.

Сравнительные данные о горении безводного и эмульгированного топлива показывают, что эмульгированное топливо сгорает значительно быстрее безводного, при этом сжигание водо-мазутной эмульсии в котлоагрегатах и печах обеспечивает экономию 10 – 15 % мазута по сравнению со сжиганием чистого топлива. Интенсификация горения эмульгированного топлива с низким давлением паров обусловлена существенным увеличением поверхности контакта топлива и окислителя. Попадая в топку котла, капля воды, окруженная слоем мазута, моментально закипает, диспергируя окружающий мазут на частички микронных размеров (явление микровзрыва), что приводит к увеличению поверхности топлива, контактирующего с подаваемым окислителем (воздухом).

Процесс горения мазута интенсифицируется, увеличивается скорость и полнота его сгорания. Таким образом, вода в водо-мазутной эмульсии становится диспергирующим топливом агентом, что в конечном итоге улучшает и ускоряет процесс сжигания топлива. Наибольший экономический эффект и одновременное снижение концентрации токсичных компонентов газовых выбросах обеспечивается добавлением в топливо 10-15% воды.

Анализируя конструкции кавитационных установок и способы сообщения энергии потоку технологических жидкостей при активации обрабатываемой среды можно выделить две схемы работы устройств: пассивные, когда энергия потоку сообщается до входа в аппарат, и активные, создающие потоки в самом устройстве [12].

К активным могут быть отнесены устройства динамического типа, в которых механическая активация происходит в результате воздействия на жидкость подвижных элементов – вращающихся, колеблющихся или совершающих более сложные движения [2]. В роторных устройствах используется энергия, которую получают эмульсии в самом аппарате за счет центробежных сил, возникающих во вращающихся полостях роторов. В этом случае интенсивность обработки определяется, как геометрическими параметрами рабочей зоны, так и частотой вращения ротора. Такие аппараты могут выполнять и функции пере-

качивающих насосов, что, как правило, уменьшает энергоемкость всей установки.

В Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт» при участии Северо-восточного научного центра Национальной академии наук Украины был создан ряд высокоэффективных фланцевых роторно-кавитационных диспергаторов типа «ДФ», обеспечивающих получение эмульсий дисперсностью 2 – 20 мкм и содержанием воды 5 – 15 %. Эмульсия гомогенная и стабильная. Производительность установки от 5 до 20 т/ч, содержание воды автоматически поддерживается в пределах от 5 до 15 %.

Опыт эксплуатации таких установок показал надежность и эффективность работы систем приготовления водомазутных эмульсий. Установки такого типа легко монтируются в существующих котельных. В качестве водной основы эмульсии можно использовать сточные воды, содержащие отработанные технические масла и смазочно-охлаждающие жидкости. Установка диспергатора в действующей котельной может выполняться по схеме, показанной на рис. 1.

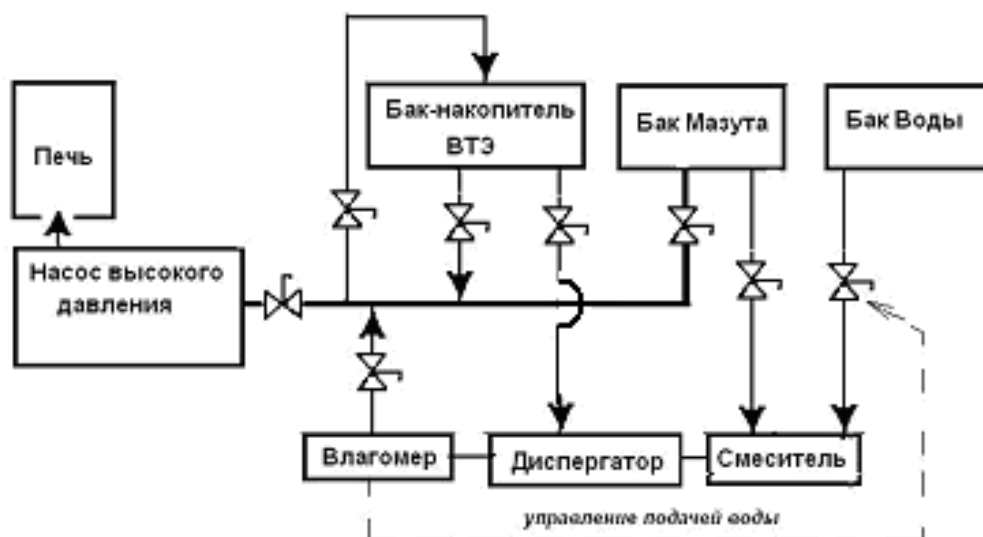


Рисунок 1 – Технологическая схема установки диспергатора в действующей котельной

При этом сжигание мазута (или другого топлива) может выполняться по обычной схеме (жирная линия). Для приготовления ВТЭ устанавливается дополнительное оборудование (тонкая линия), включающее смеситель, диспергатор, влагомер и баки для воды и ВТЭ. При приготовлении ВТЭ мазут поступает в смеситель, где в него добавляется вода. Здесь же происходит предварительное перемешивание. Кавитационная обработка выполняется в диспергаторе, и далее эмульсия проходит через влагомер и поступает в насос высокого давления. Управление подачей воды выполняется автоматически по данным, полученным с влагомера. Данная технологическая схема позволяет выполнять накопление ВТЭ с последующим использованием напрямую или после дополнительной обработки в диспергаторе.

Еще одним важным фактором, характеризующим эффективность использования водотопливных эмульсий в котельно-топочных процессах, является повышение эффективности и долговечности топочного оборудования. По некоторым зарубежным данным перерасход топлива из-за загрязнения поверхностей нагрева в котлах сажистыми и коксовыми частицами может превысить 30 – 35 %. При сжигании эмульсии часть капель последней долетает до поверхностей нагрева и взрывается на них, что способствует не только предотвращению отложений, но и очистке этих поверхностей от старых сажистых образований.

Кроме того, одним из факторов, определяющих эффективность использования ВТЭ в котельно-топочных процессах, является возможность на их основе решать ряд экологических проблем. Сжигание ВТЭ сокращает содержание в газовых выбросах  $\text{NO}_x$  (примерно на 50 %), примерно в 3 – 4 раза снижает выброс сажистых отложений, уменьшает выход  $\text{CO}$  в среднем на 50 %, бенза перина в 2 – 3 раза и т.д.

Кавитационные установки позволяют выполнять приготовление высококалорийного печного топлива с добавлением воды, масел, нефтешламов, пиролизного топлива [9, 10]. Применение гидродинамических диспергаторов позволяет производить многокомпонентное гомогенизированное, микроэмульгированное печное топливо с теплотворной способностью до 10 – 14 ккал/кг, представляющее устойчивую эмульсию.

При эксплуатации роторных диспергаторов при обработки водо-мазутных смесей с обводненностью 8 % на диспергаторе ДФ-04М ( $N_{\text{ном}}=18$  кВт) распределение мощности было следующее: мощность, потребляемая электродвигателем,  $N_{\text{эд}} = 13,5$  кВт; потери мощности в электродвигателе  $N_{\text{пот}} = 3,4$  кВт (31,8 %); гидродинамическая мощность  $N_{\text{г}} = 0,37$  кВт (2,7 %); механические потери  $N_{\text{пм}} = 0,4$  кВт (2,7 %); внутренние (дисковые) потери  $N_{\text{д}} = 0,12$  кВт (0,6 %).

Таким образом мощность, затраченная на диспергирование, перемешивание и нагрев составляла  $N_{\text{д}} = 9,21$  кВт, что составляет 68 % от  $N_{\text{эд}}$ . Расчетные затраты на нагрев мазута при прохождении через диспергатор составили  $N_{\text{т}} = 8,4$  кВт. Следовательно, эффективность кавитационного воздействия обработки составляет  $K_{\text{к}} = 0,91$ .

Экономический эффект при использовании ВТЭ [11] достигается за счет: уменьшения потерь энергии и ресурсов на собственные нужды котельной; снижения, а иногда и исключения затрат, связанных с оплатой услуг по сбору, очистке, хранению, и вывозу нефтяных отходов и нефтесодержащих жидкостей;

возвращения в цикл, т.е. отправки на горение до 8 – 15 % ранее неиспользуемых и выбрасываемых в окружающую среду нефтяных отходов и топливных углеводородов нефтесодержащих вод; экономии штатного топлива до 12 %;

снижения расходов на техническое обслуживание котельной установки; использования дешевых некондиционных нефтяных топлив (до сырой нефти включительно). Системы эмульгирования топлива успешно эксплуатируются

на предприятиях Украины и России, а в последнее время находят все большее признание в странах ЕС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Федоткин И. М. Использование кавитации в технологических процессах / И. М. Федоткин, А. Ф. Немчин. – К.: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1984. – 68 с.
2. Иванов В. М. Топливные эмульсии / В. М. Иванов. – М.: АН СССР, 1962. – 216 с.
3. Червяков В. М. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах: монография / В. М. Червяков, В. Ф. Юдаев. – М.: Машиностроение, 2007. – 128 с.
4. Богданов В. В. Эффективные малообъемные смесители / В. В. Богданов, Е. И. Христофоров, Б. А. Клоцунг. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.
5. Посметный Б. М., Горпинко Ю. И. Сверхединичные теплогенераторы роторных конструкций: сборник докладов НТК «Аномальные физические явления в энергетике и перспективы создания нетрадиционных источников энергии». – Харьков, 2005. – С. 268–277.
6. Голубь Н. В. Эффективность сжигания водомазутной эмульсии на промышленных ТЭЦ: дис ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Голубь Николай Владимирович. – Саратов, 1985. – 210 с.
7. Акчурин Р. Ю., Балахничев Н. А. Подготовка мазута к сжиганию в кавитационном реакторе // Энергетик. – 1986. – №9. – С. 8–9.
8. Уменьшение вредных выбросов при сжигании водомазутной эмульсии / А. И. Попов, Н. В. Голубь, В. И. Ерофеева, А. К. Харитонов, А. И. Щупарский // Энергетик. – 1983. – № 2. – С. 11–14.
9. Корягин В. А. Сжигание водотопливных эмульсий и снижение вредных выбросов / В. А. Корягин. – С-П.: Промэнергетика, 1995. – № 1. – 1987.
10. Никишина Ю. Г. Разработка аппаратов, направленных на охрану природы при использовании жидкого углеродного топлива. Академия управления «ТИСБИ» – <http://www.tisbi.ru/science/vestnik/2004/issue2/Kult13.html>
11. Оценка экономической эффективности использования эмульгированного топлива / [http://www.ruselit.ru/files/eng\\_toplivo.doc](http://www.ruselit.ru/files/eng_toplivo.doc)
12. Червяков В. М. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах: монография / В. М. Червяков, В. Ф. Юдаев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 128 с.
13. Фесенко А. В. Методика оценки параметров кавитационной обработки СОЖ / А. В. Фесенко // Вестник национального технического университета «ХПИ», сборник научных работ. Тематический выпуск: Технологии в машиностроении. – Харьков: изд. НТУ «ХПИ», – 2008. – №1. – С. 14 – 18.
14. Фесенко А. В. Сравнительный анализ гидродинамических установок для диспергирования, гомогенизации и нагрева жидкости / А. В. Фесенко, Ю. Н. Любимый // Вісник Сумського державного Університету. – Суми: СДУ. – 2009. – № 48. – №1. – С. 14–18.

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИТОВ**

При механической обработке полимерных композиционных материалов (ПКМ) имеет место непрерывный контакт со скольжением между вершиной инструмента с высокой прочностью и неоднородным материалом, значительно уступающим своими прочностными свойствами. ПКМ обладают высокими абразивными свойствами, и обработка сопровождается крайне интенсивным износом по задней поверхности. Изучению проблемы абразивного износа были посвящены многочисленные теоретические, экспериментальные и численные исследования. Было рассмотрено влияние таких факторов процесса резания, как силы, температура в контакте, изменение вида стружки, что позволило сформулировать некоторые закономерности изнашивания инструмента и прогнозировать его стойкость [3, 4]. Анализ имеющихся экспериментальных исследований [5, 6] позволил сделать ряд качественных выводов по физической сути процесса, имеющей место при изнашивании инструмента.

Было установлено, что процесс изнашивания и общий характер трибологического взаимодействия носят нелинейный характер. Это проявляется, прежде всего, в том, что износ влияет на величину и характер таких переменных процесса сверления как осевая сила, крутящий момент и температура в контакте. Изменение этих параметров во времени ухудшает режущую способность инструмента, изменяют его геометрию что, как следствие, приводит к появлению дефектов обработки и снижению качества отверстия. Такое нелинейное взаимодействие не является уникальным для эпоксидных пластиков. Это фактически общая физическая закономерность при механической обработке материалов. Однако для материалов типа ПКМ механизмы износа инструмента, встречающиеся при их обработке, характеризуются некоторыми специфическими особенностями термомеханического взаимодействия системы инструмент – заготовка.

К таким особенностям, прежде всего, следует отнести температурный фактор. По данным многочисленных измерений температура на режущей кромке инструмента может достигать значения 300 °С и более, что может приводить к выгоранию связующего или, по крайней мере, уменьшению сопротивления сдвигу на межфазной границе между волокном и матрицей. Рост температуры сопровождается интенсификацией процесса вытягивания волокон и ухудшением качества поверхности за счет ее разрыхления. При этом наблюдается уменьшение силы резания (осевой силы), что особенно проявляется на высоких скоростях обработки и объясняется размягчением матрицы.

Другой особенностью контактного взаимодействия инструмент – обрабатываемый углепластик является хрупкий характер разрушения обрабатываемо-



го материала, без образования пластической деформации. Стружка начинает образовываться практически сразу после приложения нагрузки и чаще всего имеет порошкообразную или пылевидную структуру, особенно при высоких скоростях резания или интенсивном нагружении.

При анализе процесса изнашивания, прежде всего, отмечается практически идентичное изменение первоначальной формы режущей кромки (рис. 1). Такая форма износа характерна для интенсивного удаления материала по задней поверхности инструмента и практически отсутствию износа по передней поверхности [7, 8].

Различными авторами были предложены модели на микроуровне, описывающие износ вершины инструмента, как главную составляющую общего износа инструмента в целом. Анализ этих исследований изнашивания режущей кромки показал, что имеется жесткая корреляция между появлением износа, ростом силового нагружения, температурной напряженности и появлением различных дефектов обработанной поверхности [8, 9].

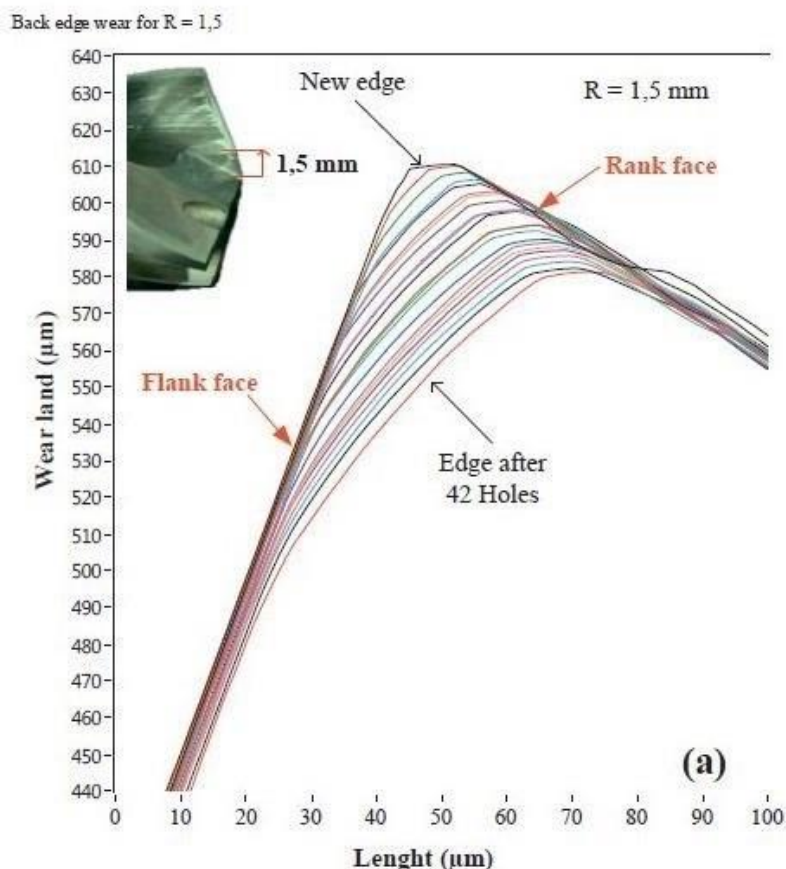


Рисунок 1 – Изменение формы вершины сверла из твердого сплава в зависимости от числа просверленных отверстий [6]

Закон изнашивания устанавливает связь интенсивности изнашивания с давлением и скоростью скольжения индентора для каждой точки поверхности трения. Форма закона изнашивания, предложенная различными авторами [1], отличается достаточным многообразием и обычно предполагает явную зависи-

мость интенсивности износа от времени взаимодействия. Главное отличие математической формулировки различных законов изнашивания и, как следствие, постановок износоконтактных задач, состоит в возможности учета влияния тех или иных физических факторов: структуры обрабатываемого материала, скорости, температуры, условий контакта (смазка, трение, разрушение) и т.д.

В настоящее время, несмотря на многочисленные усилия исследователей в области механической обработки композиционных материалов, описание изнашивания инструмента, изменения его микрогеометрии в процессе работы и прогнозирования его стойкости, носят эмпирический характер и базируются на проведении конкретных экспериментов для отдельных материалов и инструментов. Теоретические подходы базируются на использовании соотношения Арчарда для абразивного износа. В этом соотношении изношенный объем материала (отделенный объем материала) пропорционален приложенному контактному усилию (контактная сила) и длине контакта  $w = K / 3 \cdot F \cdot l / H$ , где  $w$  – объем изношенного (удаленного) материала;  $F$  – контактная сила;  $l$  – длина контакта;  $H$  – твердость более твердого материала, в данном случае инструмента;  $K$  – коэффициент Арчарда. Чаще всего это соотношение используют как зависимость скорости изнашивания  $dw/dt$  от контактного давления и скорости взаимодействия  $dl/dt$ . Линейный характер соотношения Арчарда корректно выполняется достаточно редко для отдельных видов материала в узком диапазоне изменения параметров взаимодействия.

Изменения действия, например, осевой силы  $F_s$  во времени с учетом изнашивания (изменения микрогеометрии вершины инструмента) может быть представлено в виде  $F_s = K \cdot F^\alpha \cdot V^\beta \cdot g(w)$ , где  $V$  – скорость резания,  $\alpha$  и  $\beta$  – экспериментальные постоянные. Функцию  $g(w)$  чаще всего представляют в виде:  $g(w) = (w_0 + k_w \cdot w)^\delta$  или  $g(w) = w_0 + k_w \cdot w^\delta$ , где  $k_w$  и  $\delta$  – экспериментальные постоянные [10].

В конечном итоге для описания закона изнашивания и предсказания стойкости инструмента необходимо знание ряда эмпирических постоянных, значение которых определяются изменением микрогеометрии вершины инструмента в процессе взаимодействия заготовки и материала. Необходимо представление формулировки закона изнашивания для описания абразивного износа вершины режущего инструмента при механической обработке полимерных композиционных материалов. Закон изнашивания должен носить наследственный характер, с нелинейной зависимостью скорости изнашивания от скорости контактного взаимодействия и контактного давления. Срезающие напряжения через контактное давление и коэффициент трения нелинейно зависят от времени работы инструмента через меняющиеся вследствие износа геометрические параметры инструмента и изменения технологических параметров обработки изделия со временем.

Многочисленные экспериментальные исследования в области механической обработки композиционных материалов для отдельных материалов и инструментов, позволили сформулировать частные модели для описания изнаши-

вания инструмента, изменения его микрогеометрии в процессе работы и прогнозирования его стойкости [10].

Для измерения текущего износа и пересчета в математических моделях существуют значительные сложности так, как они включают в себя большое количество параметров. Это затрудняет производить простой технический контроль износа режущей кромки и предсказания стойкости инструмента.

Изменение геометрии инструмента вследствие износа, должно описываться простой однопараметрической геометрической моделью, позволяющей оценить искажение формы режущей кромки по задней поверхности инструмента.

Создание такой математической модели должно опираться на использование адекватного закона изнашивания, что в совокупности представляет собой перспективное направление научных исследований, обладает новизной и практической ценностью, и получит свое дальнейшее развитие.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Abellan-Nebot J, Subiron F. A review of machining monitoring systems based on artificial intelligence process models. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2010, 47, pp. 37–57.
2. Leone C., D'Addona D., Teti R. Tool wear modeling through regression analysis and intelligent methods for nickel base alloy machining. *CIRP Ann – Manuf. Technol.*, 2011, 60, no.4, pp.327–331.
3. Hrechuk A., Bushlya V., Saoubi M.R., etc. Experimental investigations into tool wear of drilling CFRP. *Procedia Manufacturing*, 2018, 25, pp. 294–301.
4. Ramirez C., Poulachona G., Rossia F., etc. Tool wear monitoring and hole surface quality during CFRP drilling. *Procedia CIRP*, 2014, no.13, pp.163–168.
5. Faraz A., Biermann D., Weinert K. Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2009, V.49, no.15, pp.1185–1196.
6. Seeholzer L., Voss R., Grossenbacher F., etc. Fundamental analysis of the cutting edge micro-geometry in orthogonal machining of the unidirectional Carbon Fibre Reinforced Plastics (CFRP). *Procedia CIRP*, 2018, 7, pp. 379-382.
7. Voss R., Henerichs M., Capricano G., etc. Post-Coating Treatment of Cutting Edge for Drilling Carbon Fibre Reinforced Plastics (CFRP). *Procedia CIRP*, 2016, 46, pp.161-164.
8. Солдатенков И. А. Износоконтактная задача с приложениями к инженерному расчету износа / И. А. Солдатенков. Москва: Физматкнига, 2010, 160 с.
9. Iiescu D., Gehin D., Gutierrez M.E., etc. Modeling and tool wear in drilling of CFRP // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2010, 50, pp. 204–213.
10. Хавин Г., Чживень Х. Моделирование микрогеометрии инструмента в процессе его изнашивания при резании композиционных материалов. *Різання та інструмент в технологічних системах*, 2020, 92, С. 208–224.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПОЛЯ И ПОТОКИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ**

Широко применяемые в мировом производстве традиционные и новые высокоэффективные технологии, в том числе и для аддитивного производства позволяют заключить, что наиболее перспективно применение оборудования и средств технологического оснащения по наращиванию слоев и формообразованию поверхностей изделий, использующих различные сочетания материалов и источников энергии.

Цель по созданию высокоэффективных технологий и оборудования, в свою очередь ставит задачи по распределению компонентов материалов, потоков и полей энергии не только по заданному контуру или поверхности, но и по глубине от поверхности изделия, а также по характеру импульсов подачи энергии и материала.

Особенности проектирования комплексов технологического оборудования, использующего потоки и поля энергии, заключаются в том, что согласно критериям тепло- и массопереноса устанавливается последовательность структурообразования в обрабатываемом материале и на формируемой поверхности при увеличении мощности воздействий.

Критерии, характеризующие поля и потоки энергии, при электрофизической обработке оказывают существенное влияние на последовательность поверхностных явлений и помогают управлять формированием свойств обрабатываемого материала.

При изучении термомеханических явлений в процессах электрофизической обработки целесообразно использовать критерии Пекле ( $Pe$ ) и Рейнольдса ( $Re$ ).

Критерий Пекле характеризует отношение количества теплоты, отводимого конвекцией и путем теплопроводности, и определяет, является ли данный источник теплоты быстро движущимся. Критерий Рейнольдса описывает переход ламинарного движения обрабатываемого материала в турбулентное течение,  $Re$  представляется произведением  $Pe \cdot Pr$ , в котором критерий Прандтля ( $Pr$ ) характеризует способность теплоты распространяться в данной среде.

Для описания процессов теплопереноса при использовании концентрированных потоков энергии применяются критерии, характеризующие поверхностные и пространственные движения потоков вещества.

Поверхностные течения вследствие проявления термокапиллярных явлений, порожденных зависимостью поверхностного натяжения от температуры, описываются критерием Марангони ( $Mr$ ). Критерий Грасгофа ( $Gr$ ) характеризу-

ет ротацию потока, учитывающую влияние естественной конвекции, при свободном движении потоков жидкости внутри формируемого слоя.

Образование в объеме расплавленного слоя силой плавучести пространственно-периодической системы тороидальных вихрей представляется критерием Рэлея ( $Rl$ ).

Переход при истечении струи жидкости от осесимметричного к волнообразному распаду, а затем к турбулентному распылу, описывается критериями распада ( $M$ ) и Вебера ( $We$ ).

При оптимизации электрофизических процессов по параметрам формирующихся структур для управления источниками энергии используются критерии, характеризующие электромагнитные потоки.

Выводимый из уравнения энергии критерий  $Si$  показывает соотношение между джоулевой теплотой и кинетической энергией потока.

Критерий магнитного взаимодействия  $Sm$  необходим при обобщении электрических характеристик источников энергии с магнитным управлением электрической дугой.

Критерий  $Sm$  получается из уравнения импульсов  $P\tau = \rho V$  и раскрывает соотношение между электромагнитной и инерционной силами. Критерий напряженности электрического поля  $Se$  вытекает из закона Ома и описывает проводимость рабочей зоны.

Соотношение критериев магнитного взаимодействия  $Sm$  и напряженности электрического поля  $Se$  дает выражение, аналогичное энергетическому критерию  $Si$  и связывает отношения удельного электросопротивления рабочего зазора  $R/t$  к кинетической энергии потока  $\rho V^2$  и силы тока  $I$  к длине разрядного промежутка  $t$ .

Использование последовательностей критериев переноса для анализа процессов образования структур и фаз материала и поверхности многократно сокращает объем экспериментальных исследований при проектировании технологического оборудования, использующего поля и потоки энергии.

Так, предложенные последовательности критериев переноса применялись при проектировании технологического оборудования, использующего традиционные и новые высокоэффективные технологии, в том числе и для аддитивного производства.

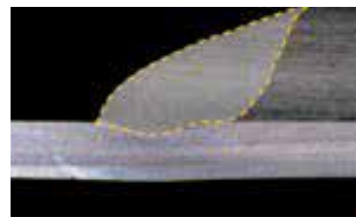
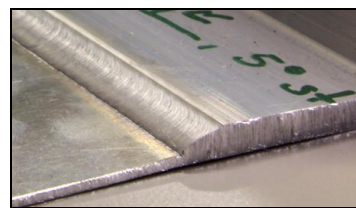
Последовательности критериев тепло- и массопереноса позволили спроектировать раскройное и сварочно-сборочное оборудование, реализующего технологии аддитивного производства при использовании плазменных источников энергии.

На ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси спроектировано оборудование с пятикоординатном манипулятором для листового раскроя, в том числе с разделкой кромки заготовки под углом по заданному контуру (рис. 1).

Дооснащение технологического комплекса плазменного раскроя материала сварочной головкой дает возможность реализовать послойную сборку и сварку изделия и тем самым реализовать технологию аддитивного производства (рис. 2).



*Рисунок 1 – Технологический комплекс плазменного раскроя материала с манипулятором для резки и разделки кромок заготовок под углом*



*Рисунок 2 – Оборудование для плазменной сварки:  
а) сварочная головка Kjellberg; б) послойная сварка изделия;  
в) сечение сварочного шва (информация с сайта [www.kjellberg.de](http://www.kjellberg.de))*



*Рисунок 3 – Технологический комплекс гидроабразивной резки*



*Рисунок 4 – Поворотная система сопла гидроабразивной резки*

Использование критериев переноса позволило спроектировать на ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси оборудование для гидроабразивной резки (рис. 3) и расширить круг его возможностей за счет применения пятикоординатного манипулятора (рис. 4).

Применение последовательности критериев электро- и физико-химического взаимодействия дало возможность спроектировать оборудование для магнито-абразивной обработки и электромагнитной наплавки сложнопрофильных поверхностей в ферропорошковой среде, управляемой электромагнитным полем (рис. 4). Это позволило как обрабатывать, так и упрочнять сложнопрофильные поверхности изделий в аддитивном производстве, сглаживая как абразивной обработкой, так и заполнением расплавом порошка, образованные при послойном синтезе ступеньки.



*Рисунок 5 – Дозирующее устройство с импульсным полюсным наконечником для подачи ферропорошка*



*Рисунок 6 – Импульсный полюсный наконечник с образовавшимся под действием электромагнитного поля цепочками ферропорошка*

Таким образом, моделирование совместных электромагнитных и термомеханических воздействий при проектировании оборудования и средств технологического оснащения базируется на критериях тепло-, и массопереноса, электро-, и физико-химического взаимодействия и определяет основные технологические факторы, связывающие геометрические и физико-технические параметры качества с производительностью обработки.

В результате обеспечения условий для самоорганизации процессов формирования поверхностного слоя, согласно критериям переноса в открытых технологических системах при совместных воздействиях позволяет обеспечить посредством стабилизации электрофизических и термомеханических процессов управление эффективностью и качеством обработки.

*Шелковой А.Н., Гасанов М.И., Набока Е.В.,  
Клочко А.А., Белоусов Н.А.,  
Новиков Ф. В.*  
Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина  
Харьковский национальный экономический университет  
им. Семена Кузнецца, Харьков, Украина

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Одной из важнейших задач современного тяжелого машиностроения и металлургического производства является выпуск высококачественной, конкурентоспособной на внутреннем и внешнем рынках современной, качественной, высокопроизводительной и ремонтпригодной продукции.

В значительной степени такие требования относятся к тяжело нагруженным машинам, обеспечивающих переработку огромных потоков продукции, таких, как горнодобывающие, горно-обогащительные, металлургические, транспортные, шахтные и другие.

Повышение технического уровня тяжелых машин и его сохранение в течение заданного периода эксплуатации и послеремонтного цикла являются актуальнейшими задачами современного машиностроения.

Решение такой задачи в значительной степени определяется уровнем технологического оснащения при интенсивной и высококачественной обработке ответственных крупногабаритных зубчатых колес и зубчатых венцов диаметром до 15000 мм, модулем от 12 мм до 65 мм рудоразмельных мельниц, поворотных платформ экскаваторов, шагающих экскаваторов, подъемных шахтных машин (рис. 1), прокатных станов, сталелитейных разливочных машин, тяжело нагруженных редукторов.

В тяжело нагруженных машинах в качестве приводов используют передающие механизмы, содержащие зубчатые передачи, степень совершенства которых в значительной мере определяет стоимость и эксплуатационные характеристики. Большая часть тяжело нагруженных машин (горные, транспортные, металлургические, шахтные) работают при высоких нагрузках и в условиях значительного запыления окружающей среды и, в том числе, с использованием открытых крупномодульных зубчатых передач. Тяжелые условия работы динамический, вибрационный характер нагружения этих машин снижают прочность и время эксплуатации зубчатых передач и их приводов.

При работе зубчатой передачи между зубьями сопряженных зубчатых колес возникает сила давления  $F_n$ , направленная по линии зацепления. От скольжения зубьев между ними образуется сила трения и, соответственно, износ контактируемых поверхностей (рис. 2):

$$F_{mp} = F_n \cdot f, \quad (1)$$



где  $f$  – коэффициент трения атакционные характеристики промышленного оборудования.



Рисунок 1 – Шахтные подъемные машины с одним цилиндрическим неразрезным барабаном

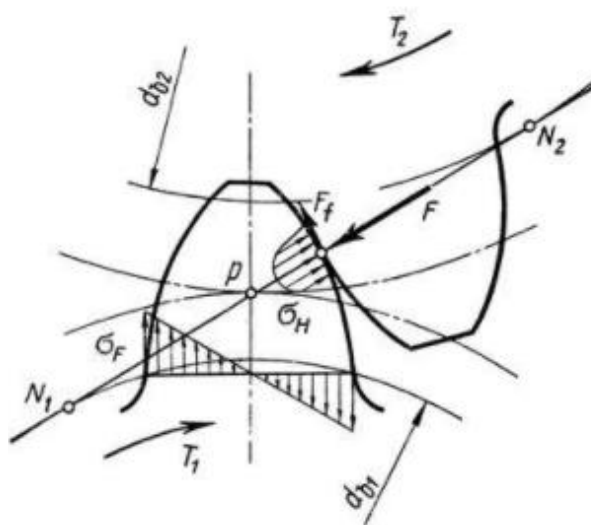


Рисунок 2 – Схема распределения сил в момент зацепления

Принимают, что сила  $F_n$  направлена по нормали к их профилям. Под действием силы  $F_n$  и  $F_{тр}$  зубья находятся в сложном напряженном состоянии. Возникают напряжения изгиба  $\delta_f$  в поперечных сечениях зубьев и контактные напряжения  $\delta_n$  в поверхностных слоях зубьев. Оба эти напряжения, переменные во времени, и являются причиной усталостного разрушения зубьев или их рабочих поверхностей. Время действия  $\delta_f$  и  $\delta_n$  определяется продолжительностью зацепления при повороте колеса на один окружной шаг  $t_0$  с учетом накопленной погрешности шага, радиального биения зубчатого венца, погрешности колебания длины общей нормали.

Напряжения изгиба вызывают поломку зубьев, а контактные напряжения – усталостное выкрашивание поверхностных слоев зубьев. С контактными напряжениями и трением в зацеплении связаны также износ, заедание и другие виды повреждения поверхностей зубьев.

Оценка долговечности крупногабаритных зубчатых передач по исходным параметрам эвольвентных профилей зубьев без учета технологического обеспечения параметров состояния поверхностного слоя зубчатых колес и восстановленных крупногабаритных зубчатых венцов является весьма приближенной не отражает того факта, что из-за износа зубьев форма профиля становится отличной от исходной эвольвентной поверхности, в результате чего изменяются нагрузочно-кинематические параметры контакта, которые, в свою очередь, интенсивно изменяют процесс изнашивания и форму профилей зубьев по линии контакта и в поперечном сечении [1, 2, 4].

Общая имитационная модель формирования и прогнозирования интермиттенции в результате износа формы рабочей поверхности зубьев направлена на разработку средств дифференцированного и комплексного технологического обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей крупномодульных зубчатых колес при помощи системной оптимизации и позволяет научно обосновать изменения качественных характеристик крупногабаритных зубчатых передач в зависимости от времени их эксплуатации, являются актуальными и соответствуют требованиям научно-технического прогресса современного машиностроения.

Новый подход прогнозирования погрешностей механической обработки зубчатых колес, базирующийся: на принципах суперпозиции, векторном характере составляющих погрешности и методе статистического математического моделирования, основывается на методе Монте – Карло.

Отличием реального формообразования от номинального (идеального) является наличие отклонений параметров состояния поверхностного слоя крупногабаритных зубчатых колес реальных профилей от номинальных. Основными конечными задачами, которые должны быть решены при исследовании закономерностей реального формообразования, являются задачи прогнозирования с заданной достоверностью возникающих погрешностей, а также задачи управления, в том числе оптимального, этими погрешностями.

Отклонение параметров состояния поверхностного слоя крупногабаритных зубчатых колес, рассматриваются как геометрические погрешности изготовления зубчатых колес [1, 3, 5], так и качественное состояние поверхностного слоя с уровнем обеспечения точности и качества не ниже, чем требуемая, и могут быть сформулированы для геометрических параметров в виде:

$$ES_i \leq EI_i \leq f\Delta i(\alpha)$$

где  $f\Delta i(\alpha)$  – функция зависимости  $i$ -й погрешности зубчатого венца от фазового угла реального профиля зубчатого колеса ( $\alpha$ );

$ES_i$  – минимальное значение  $i$ -й погрешности;

$EI_i$  – максимальное значение  $i$ -й погрешности.

Таким образом, требования к точности изготовления ЗВ по обеспечению, к примеру кинематической точности, должны состоять из ограничений на радиальное биение и колебание длины общей нормали (согласно ГОСТ 1643-81) и функциональных зависимостей качественного состояния поверхностного слоя (3) и (4):

$$EI_{HRC} \leq ES_{HRC} \leq f_{HRC}(\alpha), \quad (3)$$

$$EI_h \leq ES_h \leq F_h(\alpha) \quad (4)$$

Таким образом, возникает потребность в получении функциональных дифференцированных и комплексных зависимостей погрешностей от технологических условий формирования поверхностного слоя крупногабаритных зубчатых колес при их изготовлении и восстановлении.

Так как исследуемые погрешности обработки возникают в результате воздействия ряда случайных факторов, характеристики которых, в зависимости от уровня сложности структурного строения погрешностей, являются величинами или функциями, носящими случайный характер проявления, их определение возможно с использованием методов теории вероятностей.

В соответствии с этим, для решения данной задачи, с целью повышения объективности получаемой информации, экономии временных и материальных затрат, наиболее целесообразным представляется применение методики статистического моделирования (метода Монте – Карло).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ключко А. А. Технологическое обеспечение трения качения и трения скольжения в зубчатых передачах / А. А. Ключко, М. И. Гасанов, Е. В. Басова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 40 (1149). – С. 102–107. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-004X.
2. Некоторые аспекты имитационного математического моделирования геометрических параметров процесса зубофрезерования / А. Н. Шелковой, А. А. Ключко, Е. В. Набока, Е. В. Мироненко, А. Н. Кравцов // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2015. – Вып. 36. – С. 136–149.
3. Усовершенствование конструкции зубчатых передач / А. Н. Шелковой, А. А. Ключко, Н. С. Равская, С. Воробьев, С. Ю. Палашек // Качество, стандартизация, контроль, теория и практика : Материалы 14-й Междунар. научн.-практ. конф., г. Одесса, 23–26 сентября 2014. – Киев : АТМ Украины, 2014. – С. 137.
4. 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.
5. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 2: учеб. пособие / А. В. Беловол, А. А. Ключко, Е. В. Набока, А. О. Скоркин, А. Н. Шелковой; под редакцией А. Н. Шелкового. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2016. – 323 с. – На русском языке. ISBN 978-966-593-749-4.

*Шелковой А.Н., Перминов Е. В., Федоренко В. С.,  
Стрелец А. С. Старченко Е. П.*  
Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина  
*Иванченко В. В.*  
Донбасская государственная машиностроительная академия,  
Краматорск, Украина

## **АРОЧНЫЕ КОНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ЧИСЛОМ**

Конические прямозубые, косозубые и шевронные передачи, наряду с достоинствами, имеют присущие им эксплуатационные и технологические недостатки и в ряде случаев не удовлетворяют возрастающим требованиям, предъявляемым к современным зубчатым передачам.

Арочные зубья (рис. 1) в настоящее время являются реальным резервом для дальнейшего повышения эффективности зубчатых передач и средств для их производства.



*Рисунок 1 – Коническое колесо с арочным зубом*

Арочные зубья могут использоваться как в цилиндрических и конических, так и в реечных передачах с эвольвентным зацеплением и зацеплением Новикова. В конических передачах арочные зубья заняли наибольшее распространение.

Прямозубые, косозубые и шевронные передачи и средства для их производства совершенствовались на протяжении многих десятков лет. Промышленность оснащена современным оборудованием для производства этих передач.

В ранее применявшихся арочных передачах не использовались в полной мере все заложенные в них резервы. Опытные передачи изготавливались подручными средствами с низким качеством, отсутствовала возможность примене-

ния упрочненных колес, не были разработаны способы и средства шлифования арочных зубьев. Не были проведены достаточно полные стендовые и производственные испытания арочных передач, и не определены наиболее рациональные области их применения [1].

Предприятия не оснащены средствами для производства арочных передач. Не разработаны методики геометрических и прочностных расчетов арочных передач с учетом требуемой локализации пятна контакта в зависимости от условий их эксплуатации.

Большой прогресс в области освоения арочных передач (рис. 2) и средств для их производства достигнут лишь в последние годы. Проведенные стендовые и производственные испытания подтверждают их высокую эффективность.



*Рисунок 2 – Коническая арочная передача с иррациональным передаточным числом*

Преимущества арочных передач с иррациональным передаточным числом:

1. Конические арочные передачи с иррациональным передаточным числом позволяют в определенной последовательности контактировать всем зубьям шестерни со всеми зубьями сопрягаемого колеса. Происходит полная равномерная прирабатываемость всех зубьев сопрягаемой пары.

2. Арочные зубья позволяют повысить нагрузочную способность в 1,25 – 1,5 раза и долговечность в 2 – 3 раза цилиндрических и реечных передач, снизить их виброактивность, шумовые характеристики, металлоемкость и себестоимость.

3. В арочных передачах достигается требуемая локализация пятна контакта, что снижает их чувствительность к неточностям монтажа и деформациям картера.

При установке одного из колес с возможностью осевого перемещения обеспечивается самоустановка арочной передачи. В таких передачах отсутствуют осевые силы и обеспечивается равномерное распределение нагрузки по длине зуба, что даст многократное увеличение долговечности передачи и под-

шипников и позволяет заменять радиально- упорные и упорные подшипники на более простые -радиальные.

4. В арочных передачах (рис. 3) наиболее полно реализуются преимущества зацепления Новикова: отсутствуют осевые силы и практически полностью снижается виброактивность.

5. Арочные зубья позволяют создать единую технологическую систему средств для производства цилиндрических, конических и реечных передач.

6. Обеспечивают плавную передачу движения и могут найти применение как в тихоходных, так и скоростных высоконагруженных передачах.

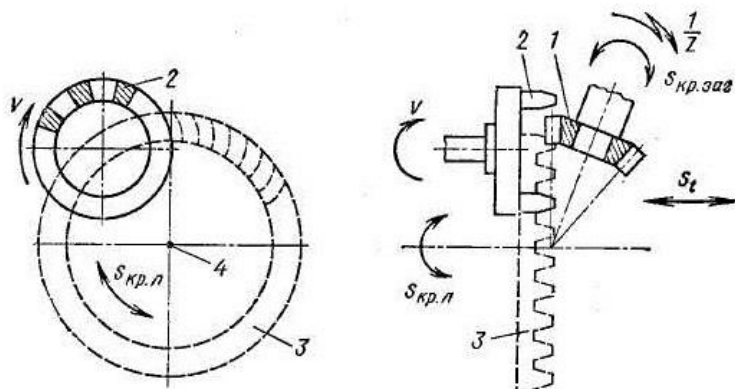


Рисунок 3 – Схема нарезания конического колеса с арочными зубьями

К недостаткам цилиндрических арочных передач относится:

1. Невозможность использования их в коробках скоростей с подвижными зубчатыми блоками, а в ряде случаев и в механизмах с осевой сборкой. В тоже время в современных конструкциях коробок скоростей, передних бабках токарных станков, исполнительных механизмах применяются для переключения скоростей электромагнитные муфты, где исключается необходимость осевого переключения блоков зубчатых колес.

2. Не разработаны способы шлифования арочных зубьев нарезаемых непрерывным делением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мироненко Е. В. Расчет зубчатых передач в ремонтном производстве. Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов / Е. В. Ми-роненко, А. А. Клочко // Международный информационно-технический журнал. – Харьков, 2008. – № 3. – С. 40–46.

2. Мельник М. С. Синтез кинематики универсального зубообрабатывающего станка с ЧПУ / М. С. Мельник, А. А. Клочко // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – Вып. 27. – С. 63–68.

3. Усовершенствование конструкции зубчатых передач / А. Н Шелковой, А. А. Клочко, Н. С Равская, С. Воробьев, С. Ю. Палашек // Качество, стандартизация, контроль, теория и практика : Материалы 14-й Междунар. научн.-практ. конф., г. Одесса, 23–26 сентября 2014. – Киев : АТМ Украины, 2014. – С. 137.

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСОЛЬНЫХ БОРШТАНГ ДЛЯ ТОНКОГО РАСТАЧИВАНИЯ**

Точность финишной обработки отверстия при тонком растачивании характеризуется показателями весьма близкими к тонкому шлифованию, хонингованию и притирке. Следует отметить, что в настоящее время тонкое растачивание успешно конкурирует с операциями хонингования и притирки, или используется в сочетании с этими методами. Многочисленные исследования содержат рекомендации по режимам резания, геометрии тонкорасточных резцов и инструментальным материалам, а также влияние температуры в зоне резания на устойчивость процесса резания и износ инструмента [1-3].

При тонком растачивании малые силы резания не вызывают значительных упругих деформаций и отжатый элементов технологической системы. Вместе с тем, при растачивании процесс резания из-за особенностей стружкообразования протекает более напряженно, чем при обтачивании. С уменьшением диаметра растачивания уменьшается усадка стружки и возрастает сила резания [3,4]. Поэтому при тонком растачивании геометрия резцов и режимы резания (особенно скорость резания) зависят не только от обрабатываемого материала, но и от диаметра обрабатываемого отверстия и конструкции расточной оправки.

В практике лезвийной обработки широко используются консольные борштанги, обеспечивающие высокую точность и производительность при растачивании, при этом сохраняется прямолинейность оси расточенного отверстия и отсутствует «увод» оси. Расточная оправка (борштанга) для финишного растачивания является не менее ответственным инструментом, чем сам тонкорасточной резец. Наиболее часто используемая конструкция оправки представляет собой цилиндрический стержень, на одном конце которого находится круглый фланец с центрирующим хвостовиком. Во фланце выполнены отверстия для крепления оправки к шпинделю расточной головки. На другом конце стержня оправки крепится тонкорасточной резец. В других конструкциях борштанг предусмотрена смена цилиндрического стержня. Иногда вместо фланца с центрирующим хвостовиком имеется либо конус Морзе, либо быстросменный конус с затяжкой и специальным замком. Обычно консольные борштанги изготавливают из стали 40Х, закаленной до твердости HRC 48 – 50.

Жёсткость и виброустойчивость консольных борштанг зависят от диаметра цилиндрического стержня и часто характеризуются отношением  $l/d$ , где  $l$  – длина стержня,  $d$  – его диаметр. При  $l/d$  больше 3-х использование консольных борштанг ограничивается уменьшением значений изгибной жесткости (уменьшением технологической жесткости), вследствие чего уменьшается и виброустойчивость подсистемы шпиндель – борштанга.

Исследования особенностей колебаний консольных борштанг занимают одно из ведущих мест в динамике станков, по крайней мере, по числу опубликованных работ [5-7]. При резании для обработки конкретных заготовок используют как наладки с вращающейся борштангой, установленной на шпинделе отделочно-расточного станка, так и наладки с невращающейся борштангой (при этом обрабатываемая заготовка вращается, а борштанга с резцом имеет осевую подачу). Результаты экспериментов подтверждают основное влияние шпинделя с борштангой на формирование деформативных характеристик технологической системы. В наших экспериментах изучались параметры подсистемы борштанга – приспособлением (шпиндель – борштанга) при изменении диаметра и длины борштанг ( $l/d = 3 - 6$ ,  $d = 10 - 20$  мм).

Для расширения технологических возможностей тонкорасточных консольных борштанг следует повышать их жесткость, а также увеличивать демпфирующую способность. Так, изготовление борштанг целиком из твердого сплава позволяет растачивать отверстия с  $l/d > 6$ , так как модуль упругости твердого сплава значительно больше, чем стали. Для повышения демпфирования борштанг часто используются разные виброгасители: ударного действия или динамического действия [8]. Однако, изготовление борштанг из твердого сплава приводит к существенному повышению их стоимости, а использование виброгасителей требует наличия специальных хвостовиков для их размещения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский - М.: Машиностроение, 2002. - 684 с.
2. Jablonski, W.: Simulation of cutting process – modeling and applications, engineering the future. INTech (2010).
3. Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. и др. Основы теории резания материалов: учебник (для высш. учебн. заведений) / под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
4. Altintas, V.: Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tools vibrations and CNC design. Cambridge University Press, Cambridge (2012).
5. Sørby, K., Østling, D.: Precision turning with instrumented vibration-damped boring bars. 8th CIRP Conference on High Performance Cutting, 666–669 (2018).
6. Siddhpura, M., Paurobally, R.: Experimental investigation of chatter vibrations in facing and turning processes. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering 7(6), 968–973 (2013).
7. Schmitz, T., Smith, S.: Machining dynamics: frequency response to improved productivity. Springer (2008).
8. П.А. Лінчевський та ін. Обробка деталей на обробно-розточувальних верстатах / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300 с. ISBN 966-575-048-8.



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Вірич С. О., Бабенко М.О.</i> ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ ПО ГАЗИФІКОВАНИМ МОДЕЛЯМ	3
<i>Водзянский В.В.</i> ВЛИЯНИЕ ЗЕРНИСТОСТИ ПАСТЫ ГОИ НА ПРОЦЕСС ДОВОДКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ	6
<i>Гасанов М.І., Клочко О.О., Камчатна-Степанова К.В., Костик К.О., Костик В.О., Акимов О.В., Новіков Ф.В.</i> ЧЕРВ'ЯЧНИЙ НАКАТНИК ДЛЯ ОБРОБНО-ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗУБІВ	10
<i>Гоков О. М.</i> ПРО ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПІД ВПЛИВОМ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	12
<i>Гусарев В.С., Наддачин В.Б.</i> О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФРЕЗЕРОВАНИЯ И ПРОТЯГИВАНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ	15
<i>Гуцаленко Ю.Г.</i> СИЛЫ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ: ПРЕДПОСЫЛКИ МИНИМАЛЬНОЙ СМАЗКИ	19
<i>Дерябкіна Є.С., Гарькавий Д.Є.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПЛАЗМЕНО-МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ	22
<i>Дерев'янченко О.Г., Євтіфєєв С.Л., Римяк В.І.</i> ЕЛЕМЕНТИ ПІДХОДУ ДО ВИКОНАННЯ ФРАКТОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ ЗЛАМІВ ЗА ЇХ ЦИФРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ	26
<i>Дитиненко С.А.</i> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРОЦЕССОВ В СТЕКОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	29
<i>Єрмоленко О.А., Єрмоленко О.О.</i> ДИСТАНЦІЙНІ ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬ	32
<i>Жовтобрюх В.А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ С ЧПУ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ	36

<i>Зелинский С.А.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МЕХАТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК НА СТАНКЕ С ЧПК	42
<i>Ивашура А.А., Борисенко О.М., Логвинков С.М.</i> СТАЛІСТЬ ЯК ПОЗИТИВНА ТЕНДЕНЦІЯ У ВИРОБНИЦТВІ	43
<i>Иванов Е.И.</i> КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ	46
<i>Калафатова Л.П.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРИ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ	49
<i>Калюжний О.Б., Платков В.Я.</i> ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ФІЛЬТРІВ ОЧИЩЕННЯ БІОПАЛИВ	53
<i>Кисилевська А.Ю., Леонов В.В., Огієнко, М.С., Бахолдіна О.І.</i> НЕУПЕРЕДЖЕНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ЯК НЕВІД'ЄМНА СКЛАДОВА ЇЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ	57
<i>Ковалев В.Д., Клименко Г.П., Мироненко Е.В., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Заковоротный А.Ю., Клочко А.А.</i> ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ И ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ	59
<i>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С.</i> ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНІТОРЕЗОНАНСНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ	63
<i>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С.</i> ІННОВАЦІЙНІ КОНЦЕПЦІЇ ВИРОБНИЦТВА І ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ	65
<i>Ковальчук А.Н., Дергоусов В.Н., Нежебовский В.В.</i> ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В «КОРУМ СВЕТ ШАХТЕРА»	69
<i>Коряк О.С., Баланюк Г.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОРІЗЦЕВОГО ТОНКОГО РОЗТОЧУВАННЯ СТУПІНЧАСТИХ ОТВОРІВ	72
<i>Кремнев Г.П.</i> НАМ УЖЕ ЗА 60!	74
<i>Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В., Лоцман П.І.</i> ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	76

<i>Лавріненко В.І., Скрябін В.В., Скрябін В.О.</i> CVD-АЛМАЗИ НА СВІТОВОМУ РИНКУ: МОНОКРИСТАЛІЧНІ І ПОЛІКРИСТАЛІЧНІ CVD-АЛМАЗИ ТА CVD-АЛМАЗНІ ПЛІВКИ	78
<i>Larshin V.P., Gushchin A.M., Osoba D.O.</i> LINEAR ELECTRIC MOTOR FOR ADAPTIVE CUTTING AND GRINDING	82
<i>Larshin V.P., Gushchin A.M., Zhang Yunxuan</i> PONDEROMOTIVE FORCES REGULATION IN SMALL DIAMETER DRILLING	86
<i>Larshin V.P., Gushchin A.M., Vorobiov D.V., Kishianus I.V.</i> SELF-BRAKING, BALANCE, AND HIERARCHICAL CONTROL PRINCIPLES IN MECHANICAL AND COMBINED MACHINING	89
<i>Манохін А.С., Клименко С.А., Конєйкіна М.Ю.</i> ВПЛИВ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ПОКРИТТІ НА КОНТАКТНІ НАПРУЖЕННЯ В ІНСТРУМЕНТІ	92
<i>Михайлова Є.О.</i> СТАН ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЯК ОСНОВА ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇНИ	94
<i>Новиков Г.В.</i> О НОВОМ НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННОМ ИЗДАНИИ, ПОСВЯЩЕННОМ ЯКИМОВУ АЛЕКСАНДРУ ВАСИЛЬЕВИЧУ	97
<i>Новиков Д.Ф.</i> УПРАВЛЕНИЕ ПРИБЫЛЬЮ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СОЦИАЛЬНО-ОТВЕТСТВЕННОГО МАРКЕТИНГА	110
<i>Новиков С.Г., Мальхин В.В., Яцун Е.И.</i> РАЗРАБОТКА ДЕМПФИРУЮЩЕГО СБОРНОГО РЕЗЦА	118
<i>Новіков Ф.В., Кирилюк Д.В.</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВОГО МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ	122
<i>Новиков Ф.В., Новиков Г.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ	125
<i>Омельченко Л.В.</i> ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ВІД УТИЛІЗАЦІЇ ПЕВНО- ГО КОМПЛЕКТУ БОЄПРИПАСІВ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ВІДНОВ- ЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	128

<i>Опарина И.Б., Колмаков А.Г.</i> МОНИТОРИНГ ПОДАЧИ ВОЗДУХА В СТЕКЛОВАРЕННУЮ ПЕЧЬ	130
<i>Пермяков О.А., Клочко О.О., Камчатна-Степанова К.В., Новіков Ф.В.</i> ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА З РОЗДІЛЬНОЮ СХЕМОЮ ФОРМОУТВОРЕННЯ З ПОВОРОТНИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	133
<i>Пермяков О.А., Скидан Н.П., Кондратюк О.Л., Скоркін А.О., Півень Л.В.</i> НАУКОВИЙ ПІДХІД ВВЕДЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ	135
<i>Пижов І.М., Федорович В.О., Волошкіна І.В.</i> ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ СПА З ВВЕДЕННЯМ В ЗОНУ ОБРОБКИ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ	136
<i>Полянський В.І., Новіков Ф.В.</i> РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНОЇ ФОРМУЮЧОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	140
<i>Омельченко Є.І., Лебедев В.Г.</i> СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З МАРТЕНСИТНО-СТАРІЮЧИХ СТАЛЕЙ ВИСОКОПОРИСТИМИ АБРАЗИВНИМИ, ЕЛЬБОРОВИМИ ТА АЛМАЗНИМИ КРУГАМИ	146
<i>Протасенко О.Ф., Мигаль Г.В.</i> ІНСТРУМЕНТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЕКОСИСТЕМ	149
<i>Ридный Р.В., Антощенко Р.В., Фабричникова И.А., Коломиец В.В.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТОДА КРЕПЛЕНИЯ РЕЗЦОВ ИЗ ПСТМ НА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ	152
<i>Рідний Р.В., Коломієць В.В., Антощенко Р.В., Богданович С.А., Кліменко С.А., Копейкіна М.Ю.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПНТМ ПРИ ОБРОБЦІ ТРУДНООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	154
<i>Рожко В.І.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	156
<i>Савченко Н.Ф., Мягков В.Ю., Дементеева Я.Ю., Савченко Н.Н.</i> ИЗ ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФАБЛАБ ХНЕУ ИМ. СЕМЕНА КУЗНЕЦА	158
<i>Савченко Н.Ф., Дитиненко С.А., Жовтобрюх Д.А.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ	163

<i>Севидова О.К., Пупань Л.І., Гуцаленко Ю.Г., Степанова І.І</i> ВИВЧЕННЯ КОРОЗИЙНО-ЗАХІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ	167
<i>Сергеев А.С., Андилахай А.А.</i> МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕРСТИЙ ЦИЛИНДРОВ	170
<i>Скобло Т.С., Клочко О.Ю., Воронов О.С., Брефалов М.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ ЧЕРЕЗ ЗМІНУ ЇЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ	172
<i>Соломахо В.Л., Соколовский С.С., Цитович Б.В.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	175
<i>Стрельчук Р.М.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ ШЛИФОВАНИИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ	177
<i>Тіхенко В.М., Сущинська С.А.</i> ПІДВИЩЕННЯ РОЛІ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ В РОБОТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ	180
<i>Тіхенко В.М., Лузін Н.А.</i> ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТІВ	182
<i>Третьак В.В., Давидова І.О., Нижник С.М.</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРУПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ	184
<i>Тришевський О.І., Слівкін Є.В.</i> ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ФОРМУВАННЯ ПРОФИЛІВ З ПОВЗДОВЖНИМИ ПЕРІОДИЧНИМИ ГОФРАМИ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ ЇХ ПЕРІОДУ	187
<i>Фесенко А.В., Евсюкова Ф.М.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОТОРНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ	190
<i>Фесенко А.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	194

<i>Хавин Г.Л., Хоу Чживень</i> АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИТОВ	199
<i>Хейфец М.Л., Крутько В. С., Грецкий Н.Л</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПОЛЯ И ПОТОКИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ	203
<i>Шелковой А.Н., Гасанов М.И., Набока Е.В., Клочко А.А., Белосов Н.А., Новиков Ф.В.</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	207
<i>Шелковой А.Н., Перминов Е. В., Федоренко В.С., Стрелец А.С. Старченко Е.П., Иванченко В.В.</i> АРОЧНЫЕ КОНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ЧИСЛОМ	211
<i>Штань А.В., Оргиян О.А.</i> КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕНОСТИ КОНСОЛЬНЫХ БОРШТАНГ ДЛЯ ТОНКОГО РАСТАЧИВАНИЯ	214

# **НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ**

(Материалы международной научно-технической  
конференции, 22-24 сентября 2021 года, г. Одесса)

Редакторы: Новиков Ф.В.  
Яровой Ю.В.

Подписано в печать 10.09.2021  
Формат 60×84  
Бумага типографская  
Печать офсетная. Уч. изд. л. 13,68  
Тираж 100 экз.

Государственный университет «Одесская политехника»  
65044, г. Одесса, проспект Шевченко, 1