



Всеукраїнська громадська організація
Асоціація технологів-машинобудівників України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України
Академія технологічних наук України
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»
Суспільство інженерів-механіків НТУ України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Український державний університет залізничного транспорту
ПАТ «Ільницький завод МЗО»
Інститут прикладної фізики НАН Білорусі
Білоруський національний технічний університет
Машинобудівний факультет Белградського університету

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

**Присвячено 60-річчю Інститута надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України**

**Матеріали 21-ї Міжнародної
науково-технічної конференції**

07–11 червня 2021 р., м. Свалява

Київ – 2021

Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 21-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 07–11 червня 2021 р., м. Свалява. – Київ: АТМ України, 2021. – 172 с.

Наукові напрямки конференції

- Наукові основи інженерії поверхні:
 - матеріалознавство
 - фізико-хімічна механіка матеріалів
 - фізико-хімія контактної взаємодії
 - зносо- та корозійна стійкість, міцність поверхневого шару
 - функціональні покриття поверхні
 - технологічне управління якістю деталей машин
 - питання трибології в машинобудуванні
- Технологія ремонту машин, відновлення і зміцнення деталей
- Впровадження стандартів ДСТУ ISO 9001 у промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної влади
- Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва
- Екологія ремонтно-відновлювальних робіт

Матеріали представлені в авторській редакції

© АТМ України,
2021 р.

Анисович А.Г. Физико-технический институт НАН Беларуси,
Хейфец М.Л., Гаркун А.С. Институт прикладной
физики НАН Беларуси,
Гориченко С.Ф. УП «Мингаз», Минск, Беларусь

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Исследование микроструктур материалов эксплуатируемых газопроводов осуществлялось на металлографическом комплексе на базе оптического микроскопа Микро-200, при увеличениях от 100^x до 2000^x показан на рис. 1, где 1 – системный блок персонального компьютера с программой «IMAGE – SP», 2 – металлографический микроскоп МИКРО 200; 3,4 – мониторы, которые предназначены для отображения, редактирования и анализа обработанных изображений, 5 – видеокамера с адаптером



Рис. 1 – Общий вид металлографического комплекса

Микроскоп позволяет работать в отраженном свете в следующих режимах наблюдения: по методу светового контроля, темного поля или поляризационного контраста. Разрешающая способность лин/мм, не менее: 400–1900; увеличение: 50–2000; максимальное увеличение с опциями: 100^x – 2000^x .

Для калибровки изображения на микроскопе использовали объект-микрометр № 651934 (ГОСТ 7513-75), завод изготовитель ЛОМО. Цена деления прибора – 0,01мм.

Качественный металлографический анализ по светлопольным и темнопольным изображениям. Анализ по методу светлого поля осуществляется с использованием лучей, которые, выйдя из осветительной системы микроскопа и отразившись от поверхности металлографического шлифа, попадают в объектив и создают изображение структуры. При этом используется весь световой пучок, создаваемый источником света, а участки шлифа, расположенные перпендикулярно оси объектива (поверхность зерен, различные фазы), ярко освещены. Темными будут выглядеть границы зерен и фаз, трещины, поры, несплошности и т. д., то есть объекты, поверхность которых расположена под углом к плоскости шлифа.

Метод исследования в *темном поле* основан на освещении объекта полым конусом света, что достигается применением специальной кольцевой системы – эпи-конденсора. Таким образом, центральные лучи не попадают на образец, а изображение формируется наклонными лучами. При этом в объектив попадает только свет, отраженный от наклонных участков шлифа: границ зерен и фаз, различных включений, располагающихся над плоскостью шлифа, которые и будут в основном отражать свет.

На практике светлопольным освещением пользуются для решения тривиальных задач, привлечение темнопольного метода требуется в связи с исследованиями нетрадиционных для металлографии объектов. Освещение в темном поле зрения дает контрастные изображения при большой разрешающей способности объектива и натуральный вид окрашенных объектов.

Количественный металлографический анализ в программе обработки изображений «IMAGE-SP». Программа «IMAGE-SP» предназначена для сканирования изображений при помощи микроскопов, а также последующей обработки полученных изображений.

Окно «*Обнаружение объектов*» предназначено для выделения объектов, удовлетворяющих заданным параметрам, а также для получения статистических характеристик этих объектов. Обнаружение объектов производится только на монохромных изображениях.

С помощью инструментов окна «*Окрашивание*» пользователь определяет диапазон яркостей изображения, среди которых будет производиться поиск объектов. После обнаружения найденные объекты выделяются цветами, соответствующими размерным классам, к которым они относятся. Совокупность окрашенных объектов носит название «маска». Обработка зерен или иных объектов, рас-

положенных на краях изображения и «перерезанных» изображением, согласно ГОСТ 5639-82 не проводится.

Количественный металлографический анализ с использованием программы «IMAGE – SP» позволяет провести анализ структурных составляющих, в том числе размера зерен, фаз и др.

Структура образца на участке трубы с дефектами. На шлифе без травления обнаружены протяженные сульфиды (рис. 2), а также строчки дефектов, предположительно шлаков или продуктов коррозии. Балл по сульфидам – порядка 3–4. Сульфиды расположены в одной строчке.

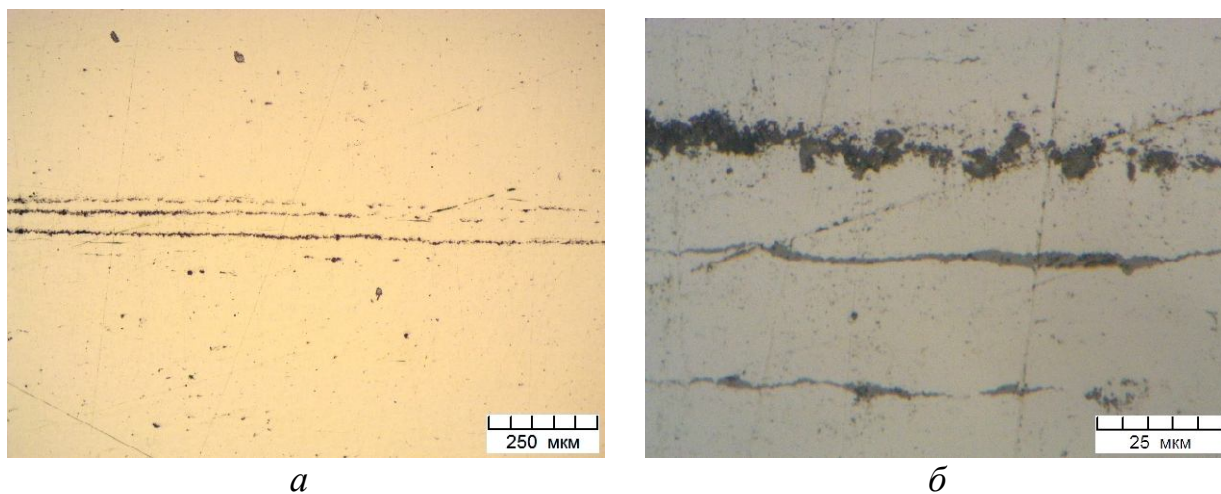


Рис. 2 – Сульфиды (а) и посторонние включения (б) в стали

Структура стали – феррит и перлит (рис. 3). Размер зерна феррита – до 30 мкм (рис. 3, а). Пластинки перлита не разрешаются при $1000\times$ (рис. 3, б).

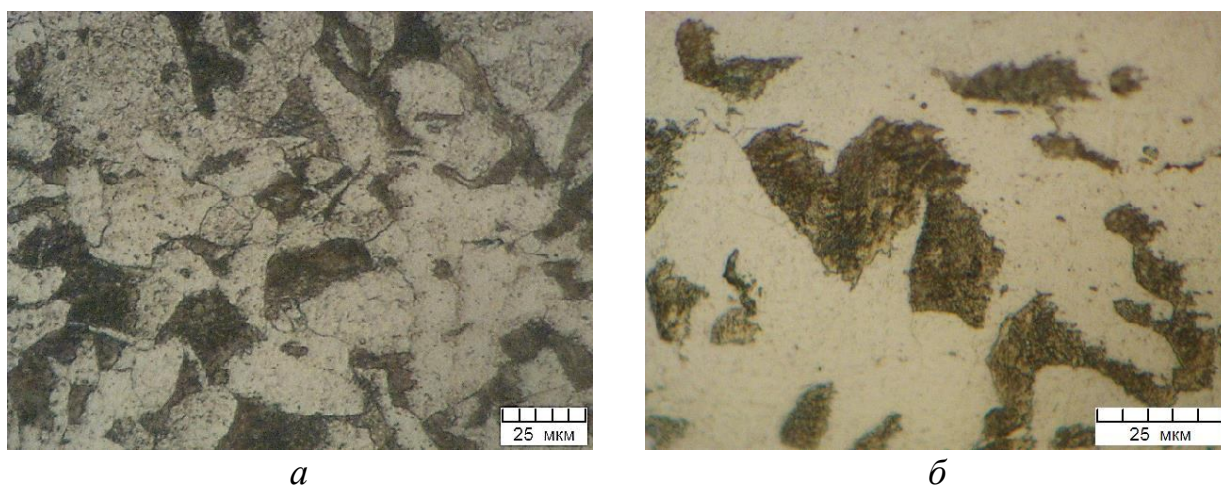


Рис. 3 – Структура стали: а – зерна феррита и перлита; б – структура перлита

В середине образца присутствует зона ярко выраженной структурной неоднородности (рис. 4, *а*), представляющая собой полосу феррита с протяженными сульфидами, а также полосу посторонних включений (рис. 4, *б*).

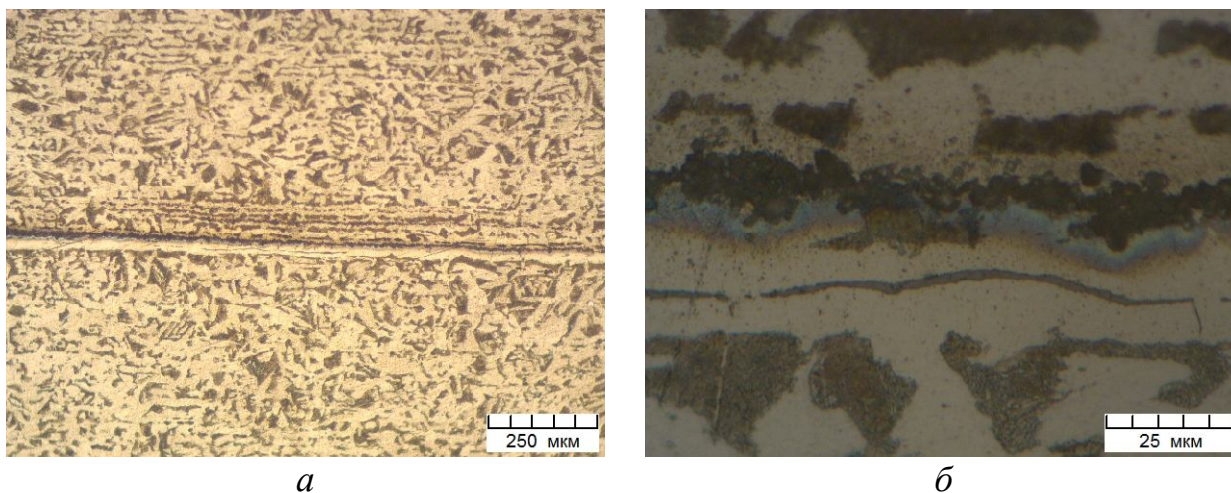


Рис. 4 – Структурная неоднородность в середине образца

На участке «задира» обнаружены трещины (рис. 5, *а*), которые развиваются, по-видимому, по включениям сульфидов (рис. 5, *б*) в результате коррозии вдоль сульфидной цепочки. Развитие коррозии вдоль сульфидов показано на рис. 6.

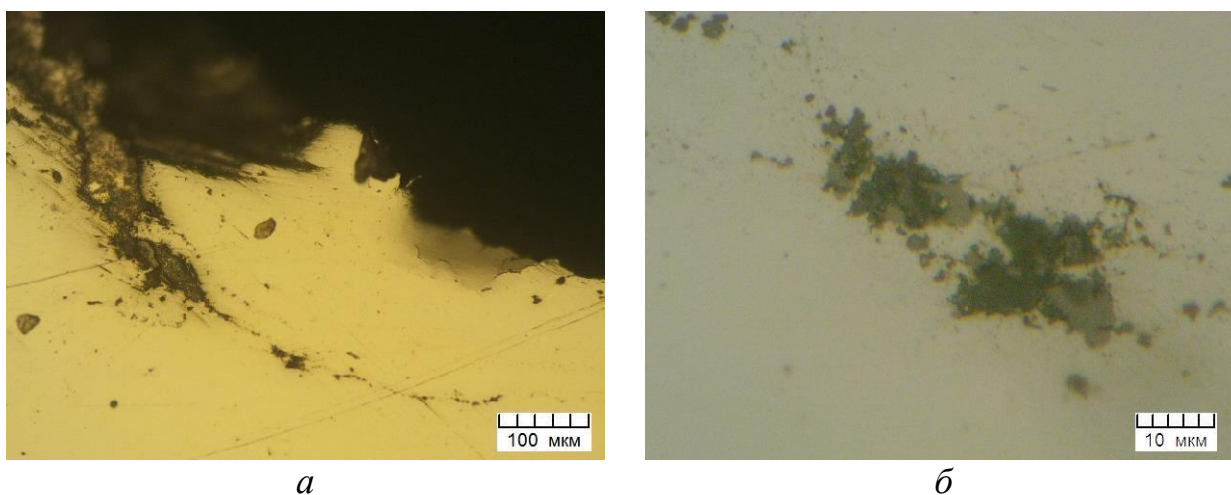


Рис. 5 – Трещины (*а*) и включения сульфидов и продуктов коррозии (*б*)

Проведенные исследования показали, что обнаруженный дефект фрагмента трубы не связан с длительной эксплуатацией газопровода. Фактические эксплуатационные свойства металла газопровода соответствуют требованиям, предъявляемой к Стали 20.

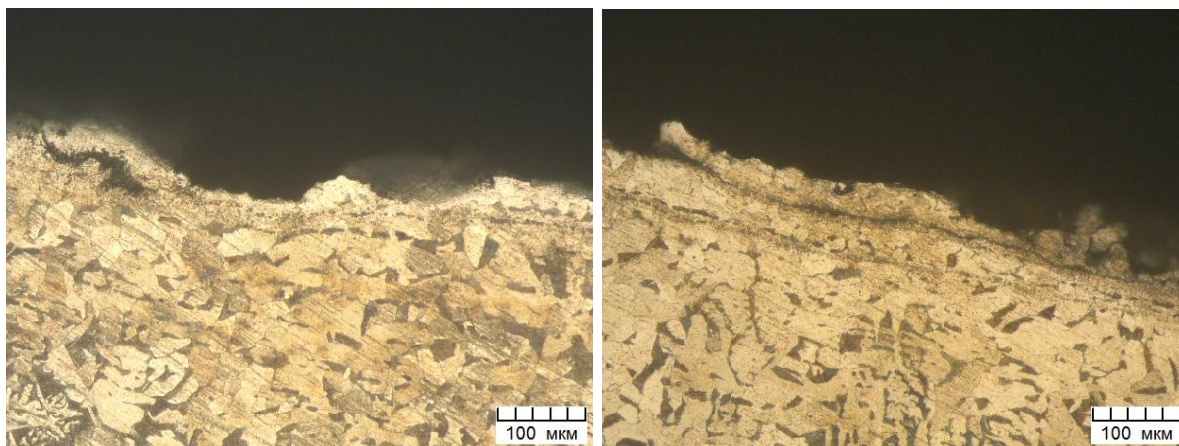


Рис. 6 – Развитие коррозии вдоль сульфидной цепочки

*Антипов В.И., Виноградов Л.В., Колмаков А.Г., Банных И.О.,
Баранов Е.Е., Мухина Ю.Э.* Институт металлургии и
материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Институт прикладной физики
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБИДОВ ЛЕДЕБУРИТНОЙ ЭВТЕКТИКИ НА СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ

Исследовано влияние количества, размеров и характера распределения частиц первичных карбидов ледебуритной эвтектики в объеме металла горячекованных и горячекатаных заготовок быстрорежущих сталей на физико-механические свойства режущих инструментов, изготовленных из этих сталей. Из литературных источников известно, что карбидная неоднородность оказывает существенное влияние на весь комплекс физико-механических свойств режущего инструмента, изготовленного из горячедеформированных заготовок быстрорежущих сталей и зависит от химического состава стали (в первую очередь, от содержания в ней углерода и вольфрама), размеров исходного слитка и особенностей его кристаллизации, способа горячей пластической деформации и степени деформации литого металла [1]. В ходе исследований установлено, что применение радиально-сдвиговой прокатки (РСП) позволяет резко снизить карбидную неоднородность в поверхностном слое сортовых заготовок быстрорежущих сталей Р6М5 и 130Р12М3Ф3К10-Ш. Так на рас-

стоянии $1/5$ радиуса от поверхности прутков диаметром до 65 мм карбидная неоднородность не превышала 1 балла по шкале ГОСТ 19265-73. При этом, наряду с существенным измельчением карбидов ледебуритной эвтектики, наблюдается их более равномерное распределение в объеме металла по сравнению с продольной прокаткой (ПП). Кроме того, в результате РСП изменяется морфология частиц, которые приобретают округлую форму, без острых углов на поверхности. Причём максимальный размер частиц первичных карбидов в металле после РСП (22,0 мкм) оказался заметно меньше, чем в случае ПП (51,0 мкм), а степень их вытянутости (3,7 мкм) значительно ниже по сравнению с металлом, подвергнутому ПП (7,2 мкм). Последнее обстоятельство положительно сказывается на механических свойствах режущего инструмента, поскольку сильно вытянутые частицы первичных карбидов ледебуритной эвтектики в процессе горячей пластической деформации часто дробятся, образуя частицы остроугольной формы. Кроме того, в них возникают незаполненные металлом трещины, что приводит к выкрашиванию режущих кромок инструмента. Таким образом, РСП по сравнению с ПП позволяет полностью устранить для быстрорежущей стали строчечное расположение частиц первичных карбидов ледебуритной эвтектики. Основная масса карбидных частиц в структуре металла после РСП в 2,5 раза меньше по размеру по сравнению с частицами в металле, подвергнутому продольной прокатке. Образование после РСП в структуре металла карбидных частиц овальной формы существенно повышает прочностные свойства сталей марок Р6М5 и 130Р12МЗФ3К10-Ш, поскольку среди них отсутствуют остроугольные частицы, наличие которых негативным образом сказывается на работоспособности режущего инструмента.

Литература

1. Антипов, В.И. Новая высокотвердая экономнолегированная износостойкая сталь ледебуритного класса и перспективы ее применения при отрицательных температурах / В.И. Антипов, Л.В. Виноградов, А.Г. Колмаков и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2019. – № 8. – С. 20–24.

Со стороны ИМЕТ РАН работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00328-21-00

*Антипов В.И., Виноградов Л.В., Колмаков А.Г.,
Мухина Ю.Э., Баранов Е.Е., Пруцков М.Е.* Институт металлургии
и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Институт прикладной физики
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ КАРБИДОВ ЛЕДЕБУРИТНОЙ ЭВТЕКТИКИ НА ТВЁРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Для материалов, работающих в условиях больших контактных напряжений и абразивного воздействия, большое значение имеют показатели их твёрдости и износостойкости. Противостоят износу сталей способствуют частицы карбидов, располагающиеся в мартенситной матрице высокопрочных сталей. Так в структуре низколегированных валковых сталей, в большинстве случаев, относящихся к сталям ледебуритного класса, могут присутствовать различные виды карбидов от цементита (Fe_3C) до специальных легированных карбидов, включающих хром, молибден, вольфрам, ванадий. Именно первичные карбиды ледебуритной эвтектики наиболее эффективно повышают износостойкость стальных изделий. Твёрдость этих карбидов составляет от $H_v = 15000$ МПа до $H_v = 35000$ МПа. Для обеспечения присутствия в структуре стали высокотвёрдых карбидов ледебуритной эвтектики, в её химическом составе должно содержаться более 2% углерода, что будет способствовать увеличению износостойкости изделий, работающих в условиях интенсивного абразивного износа. Такая валковая сталь с экстремально высокой твердостью (до 70 HRC) способна успешно конкурировать с дорогими и низкотехнологичными металлокерамическими твердыми сплавами. В сталях ледебуритного класса (160X12МФ, 210X12, 90X18 и др.). Указанное выше преимущество достигается ещё и за счёт того, что после радиально-сдвиговой прокатки в её поверхностном слое формируется структура дисперсно-упрочненного композиционного материала с мартенситной матрицей. Такая структура позволяет получать высокотвёрдые стали с повышенным значением вязкости, что чрезвычайно важно при изготовлении инструментов ударного действия.

Со стороны ИМЕТ РАН работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00328-21-00

*Антипов В.И., Колмаков А.Г., Виноградов Л.В., Банных И.О.,
Баранов Е.Е., Пруцков М.Е., Мухина Ю.Э.* Институт металлургии
и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Институт прикладной физики
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

СВЕРХТВЁРДАЯ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННАЯ ИЗНОСОСТОЙКАЯ СТАЛЬ ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТИ

Представлены результаты разработки новой экономнолегированной валковой стали, обладающей экстремально высоким уровнем твердости и износостойкости при сохранении вязких свойств материала. В настоящее время для изготовления валков листопрокатных станов широко используются стали типа 90X, основными показателями качества которых являются высокая твердость и износостойкость. Стали этой группы относятся к низколегированным сталям перлитного класса, содержащим не более 2–4% легирующих элементов, включающих хром, кремний, марганец, вольфрам, молибден и ванадий, а также углерода от 0,8 до 1,4%. Однако стали данного типа обладают недостаточно высокой твердостью (не выше 63 HRC) и износостойкостью, поскольку в их структуре содержатся только вторичные карбиды [1]. Кроме того, из-за большого содержания в структуре этих сталей неметаллических включений (оксидов и сульфидов) изготавливаемые из них изделия обладают повышенной хрупкостью. Задачей данной разработки было добиться повышения твердости материала до значений в 67–69 HRC при одновременном сохранении повышенного уровня вязкости. Указанная цель была достигнута путём увеличения содержания углерода в составе стали до максимально допустимого уровня – 2,15–2,25%, что качественно изменило структуру материала, переведя его в разряд сталей ледебуритного класса. Появление в структуре стали 15–18% высокотвердых первичных карбидов ледебуритной эвтектики существенно (в 1,5 раза) увеличило износостойкость материала по сравнению со сталями типа «90X». Дополнительное включение в состав новой стали алюминия и кальция, резко снизило загрязненность материала неметаллическими включениями (оксидами и сульфидами), повысив тем самым её вязкость. На опытных образцах новой стали после термообработки по режиму: закалка в масле с температур 880⁰С с последующим трехразовым термо-

циклированием (охлаждение $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 0,5 часа + отпуск $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 часа) была достигнута твердость 67–69 HRC, что на 4–6 единиц HRC выше, чем у изделий из сталей группы 90X (63HRC).

Литература

1. Антипов, В.И. Поиск оптимального соотношения углерода и ванадия в составе быстрорежущей стали ЭП-682-Ш с целью достижения максимальной твёрдости / В.И. Антипов, Л.В. Виноградов, Ю.А. Лукина и др. // Перспективные материалы. – 2017. – № 5. – С. 56–61.

Со стороны ИМЕТ РАН работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00328-21-00

Антонюк В.С. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», Київ,
Коваленко Ю.І., Бондаренко М.О. Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГУСТИНИ СТРУМУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОБРОБЛЕННЯ ОПТИЧНИХ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННИМ ПОТОКОМ

Одним з методів отримання покриттів на оптичних елементах точного приладобудування використовується метод фінішної електронно-променевої обробки, який дозволяє одержувати поверхні високої чистоти з мінімальною шорсткістю, а також з підвищеною мікротвердістю та товщиною зміцнених шарів у десятки мікрометрів

Однак широке використання електронно-променевої технології у оптико-електронному приладобудуванні стримується відсутністю даних про закономірності впливу режимів електронно-променевої обробки, керування якими дозволяє покращувати експлуатаційні характеристики оптичних елементів з покриттями.

Тому метою роботи є дослідження закономірностей впливу розподілу густини струму для управління якістю оброблення оптичних елементів електронним потоком

Для вимірювання розподілу енергії в стрічковому електронному потоці слід використовувати мікропроцесорний пристрій, в якому зонди розташовані паралельно один одному (рис. 1).

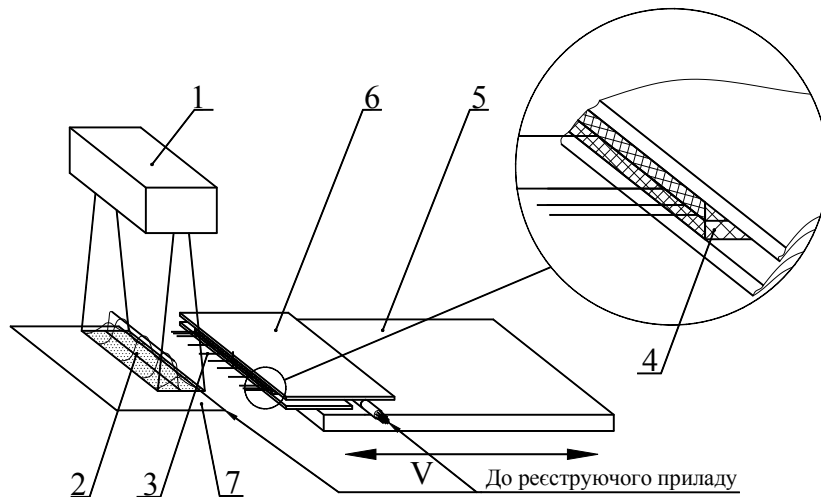


Рис. 1 – Схема зондування електронного потоку стрічкової форми:
 1 – модуль електронної гармати Пірса, 2 – стрічковий електронний потік,
 3 – вольфрамові зонди, 4 – керамічний ізолятор, 5 – рухома платформа,
 6 – зондовий модуль, 7 – колектор

Для зменшення впливу на результати вимірювань явища вторинно-електронної емісії, відбиття електронів для усунення завад електромагнітних хвиль, зонди розташовано попарно зі зміщенням в напрямку руху зондів [1].

В процесі включення обертового пристрою, спочатку, під електронним потоком опиняється система зондування, а потім оброблювані вироби [2].

Зондовий струм з кожного зонду через мідний дріт та вакуумний електричний ввід фіксується автоматизованою системою, яка розташована поза вакуумною камерою.

Сигнал, який отримує кожен з зондів, змінюється в результаті проходження електронного потоку і є результатом інтегрування розподілу струму по його перерізу.

Струм, який фіксується системою зондування поступає на перетворювач «струм-напруга».

Далі, за допомогою керуючого мікроконтролера здійснюється обробка отриманих даних (обчислюється різниця зондових характеристик між парними зондами; аналого-цифрове перетворення отриманих результатів в силу струму; перерахунок отриманих струмів на площу поперечного перерізу зондів; диференціація характеристик з окремих зондів), які використовуються для керування електронною гарматою шляхом корегування робочих параметрів режиму електронно-променевого оброблення, для чого останні формуються мікроконтролером у пакети даних і передаються до системи керування.

Зондовий струм, який використовується для визначення розподілу густини струму по перерізу електронного потоку, за допомогою автоматичного цифрового пристрою переводиться у цифровий вигляд та оброблюється мікропроцесором, який здійснює числове диференціювання зондової характеристики за формулою:

$$j(x) = (I_3(x) - I_3(x - \Delta x)) \cdot d_3 \cdot V_n \cdot t_{вим},$$

де $j(x)$ – густина струму в даній точці з координатою x ; $I_3(x)$ – зондовий струм в даній точці; $I_3(x - \Delta x)$ – зондовий струм при попередньому вимірюванні; d_3 – діаметр зонду; V_n – швидкість платформи із зондами; $t_{вим}$ – період між вимірюваннями АЦП.

В результаті проведених розрахунків зондових характеристик стрічкового електронного потоку за вищенаведеною формулою та їх порівняння з експериментально отриманими даними (рис. 2) доведена можливість гнучкого управління формою електронної стрічки та, відповідно, якістю оброблення оптичних виробів електронним потоком.

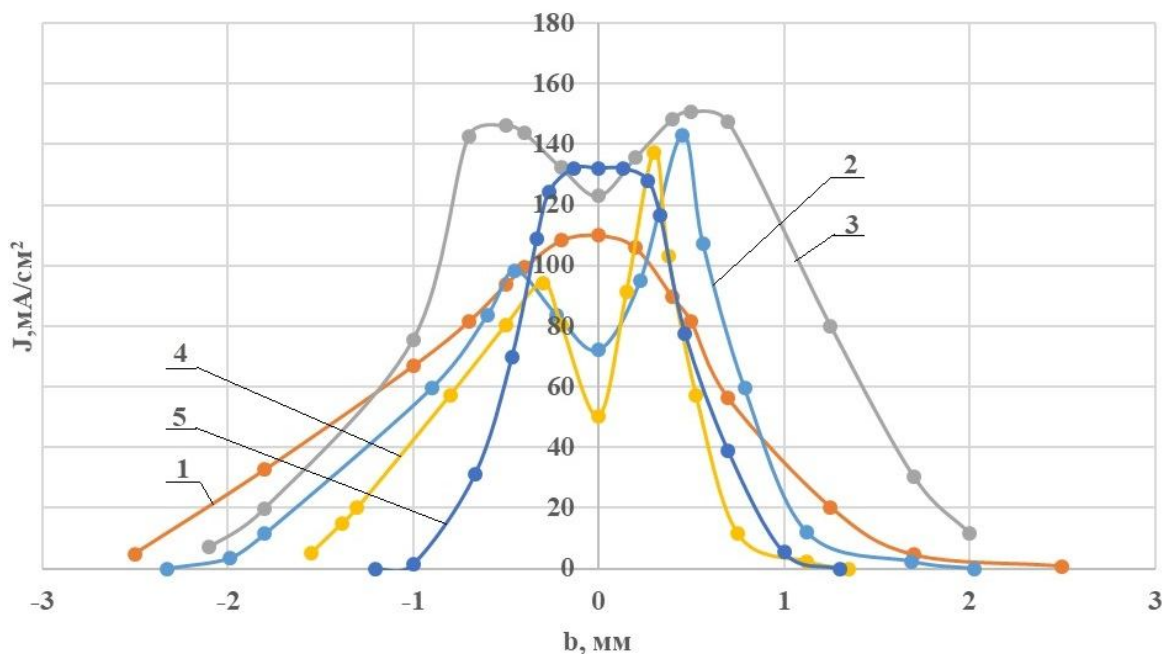


Рис. 2 – Зондові характеристики електронного потоку: розподіл густини струму розрахований на основі зондового струму в електронному потоці (суцільні лінії) та отриманий експериментально (точки) за різних режимів оброблення ($U_{пр}=3500$ В): 1 – $U_{мод} = 0$ В; 2 – $U_{мод} = 25$ В; 3 – $U_{мод} = 35$ В; 4 – $U_{мод} = 45$ В; 5 – $U_{мод} = 55$ В

Встановлено, що розроблена авторами система зондування дозволяє оперативно та високоточно визначати просторово-енергетичні характеристики параметрів стрічкового електронного потоку безпосередньо в процесі електронно-променевого оброблення.

В результаті проведених досліджень встановлено, що зондування електронного потоку дозволяє визначати енергетичні параметри електронної гармати Пірса, чим гнучко корегувати розподілення густини струму.

Література

1. Коваленко, Ю.І., Исследование распределения энергии в зоне действия ленточного электронного потока / Ю.І.Коваленко, В.С.Антонюк, Л.Г.Полонский // Зб. тез доп. І–ї Міжнарод. наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019», 13–15 травня 2019, м. Вінниця. – 2019. – С. 295–296.

2. Рудь, М.П., Дослідження та формування стрічкового електронного потоку для мікрообробки поверхонь матеріалів / М.П. Рудь, М.О. Бондаренко, Ю.І. Коваленко та ін. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – №2 – С. 58–63.

Баев А.Р., Майоров А.Л. Асадчая М.В. Институт прикладной физики НАН Беларуси, Седнин В.А. Белорусский национальный технический университет, Шавловский Д.В. ГПО «Белтопгаз», Минск, Беларусь

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Важными параметрами, характеризующими физико-механические свойства материалов эксплуатируемых газопроводов, являются коэффициент Пуассона и модуль Юнга. Для определения указанных физико-механических свойств использовали ультразвуковой метод и рассматривали данные о фазовой скорости продольной c_l и поперечной c_t волны. Последние определяются импульсно-фазовым методом, реализуя теневой и эхо режимы прозвучивания. По этим данным, коэффициент Пуассона μ и модуль Юнга E рассчитываются согласно классическим формулам:

$$\mu = \frac{1 - 2(c_{\tau}/c_l)^2}{2 - 2(c_{\tau}/c_l)^2},$$

$$E = \frac{c_l \rho (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu}.$$

где ρ – плотность металла.

Измерение скорости продольной и поперечной волны производились согласно схеме (рис. 1).

Определение скорости продольной волны. Выбор оптимальных условий прозвучивания, включая способ прозвучивания и создания контакта, габариты, частоту преобразователей (ПЭП), определяется геометрией исследуемых образцов, наличием защитного слоя. При этом величина рабочей частоты ПЭП ограничена как сверху f^{max} , так и снизу f^{min} , что вызвано влиянием эффектов дисперсии и преобразованием упругих мод при распространении их в образце, представляющем собой «тонкостенный» волновод. Для определения продольной скорости c_l выбран теневой метод, позволяющий нивелировать влияние волноводных эффектов на измерительный тракт и погрешность измерений (см. рис. 1).

Ввод-прием ультразвуковых волн производится иммерсионным способом – путем погружения образца в воду. При этом расстояние L между рабочими поверхностями излучающего и приемного ПЭП выбрано такой величины, чтобы удовлетворялось условие, позволяющее исключить влияние эффектов интерференции в рабочем зазоре Δl между поверхностью образца и ПЭП. Величина этого зазора выбрана из условия:

$$\frac{2\Delta l}{c_l} > \frac{n}{f},$$

где n – число осцилляций в импульсе.

Образец размещается на поверхности опоры, выполненной с возможностью пространственной ориентации, обеспечивая параллельность торцовых поверхностей образца и рабочих поверхностей

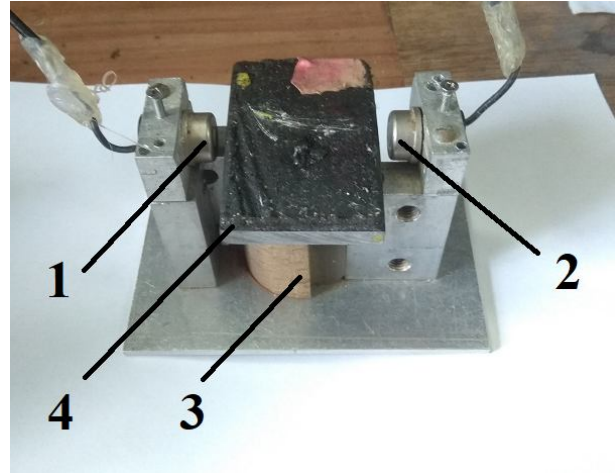


Рис. 1 – Ячейка для измерения скорости ультразвуковых волн в образце трубы: 1 – излучающий пьезопреобразователь; 2 – приемный преобразователь; 3 – опора; 4 – измеряемый образец трубы

преобразователей, устраняя, таким образом, искажение формы импульса, влияющего на измерение скорости ультразвуковых колебаний (УЗК).

В основе измерения продольной скорости УЗК лежит компенсационный принцип, заключающийся в определении времени прохождения УЗК между излучающим и приемным ПЭП в отсутствие ($\tau_{в}$) и при наличии ($\tau_{в0}$) образца в локальной иммерсионной ванночке с водой. Зная величину акустической базы L между ПЭП и длину образца l , а также скорость УЗК в воде, которая определена методом многократного переотражения акустического импульса между двумя ПЭП с погрешностью не более $\pm 0,05$, рассчитываем продольную скорость в образце по формуле

$$c_l = \frac{l}{\Delta\tau} = \frac{l}{\tau_{в3} - \tau_3}$$

где $\Delta\tau$ – истинное время распространения УЗК в образце, $\tau_{в3}$ и τ_3 – время распространения акустического сигнала при погружения образца в иммерсионную ванну и в звукопроводных прослойках воды между ПЭП и торцовыми поверхностями образцов соответственно.

Электронный блок содержит генератор импульсов, широкополосный усилитель и приемник недетектированного сигнала, подаваемого на осциллограф С1-71. Синхронизация работы запуска генератора импульсов и осциллографа, а также измерение времени прохождения акустического сигнала производится с помощью прибора И1-8, позволяющего измерять изменения временных интервалов с точностью до $\sim 2-4$ нс, что дает возможность для данных образцов (в совокупности с другими влияющими факторами) измерять скорость УЗК с точностью не хуже $0,4-0,5\%$.

Определение толщины и скорости поперечной волны в образцах. Измерения толщины и скорости поперечной волны в образцах производится электромагнитоакустическим (ЭМА) методом в режиме эхо с помощью толщиномера, разработанного в ИПФ НАН Беларуси. ЭМА-толщиномер содержит ЭМА-преобразователь и отдельный электронный блок размерами $200 \times 300 \times 80$ мм³, весом 1,5 кг, запитываемый от источника с напряжением 5 В.

Используя заложенную в приборе программу, вычисляется не только толщина образца, но и скорость поперечной волны по данным измерения временного интервала между импульсами, переотраженными между поверхностями как исследуемого, так и эталонного образца.

В отличие от традиционного контактного метода использование ЭМА метода позволяет нивелировать влияние на точность измерений: состояния контактной и оппозитной ей поверхности образца; фокусирующего (расфокусирующего) фактора при возбуждении и переотражении УЗК между поверхностями трубы.

Определение скорости волны по данным измерений толщиномера проводилось согласно формуле:

$$c_{\tau} = c_{\tau_3} \frac{h}{h_3},$$

где c_{τ_3} и h_3 – скорость и толщина эталонного образца, выполненного из специального сплава с известными характеристиками, измеренными с погрешностью не более 0,1–0,2%. Измерение скорости УЗК проведено для конкретной толщины образца. Толщина же в конкретном месте образца определяется по измеренной скорости c_{τ} . Учитывая геометрию и состояние поверхностей образцов трубы, погрешность измерения скорости поперечной волны не превышала 1%.

Анализ продольных и поперечных скоростей звука, упругих модулей образца и измерение толщин стенок трубы. Используя электромагнитоакустический толщиномер изучены в режиме эхо области с расслоением материала. В качестве примера приведены показания толщиномера, настроенного на измерение толщины в материале эталонного образца из специального сплава. Максимальная толщина соответствует цельному металлу, а меньшая – расслоившемуся. Данные по измерению упругих модулей образцов металлов с использованием данных скорости поперечной и продольной волны представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Данные по измерению упругих модулей образцов

Номер образца	Длина образца, мм	Скорость продольной волны, м/с	Скорость поперечной волны, м/с	Коэффициент Пуассона	Модуль Юнга, ГПа
1	48,6	5884,00	3458,00	0,236	232,34
2	50,3	5867,00	3453,00	0,23	231,75

На основании ультразвукового обследования изученных образцов и измерения скорости продольных и поперечных волн получены данные о модуле Юнга и коэффициенте Пуассона, являющиеся важными характеристиками физико-механических свойств металла.

Ультразвукове обстеження з використанням безконтактного (ЭМА-методом) прозвучивання образців показало принципіальну можливість визначення розшарувань в газових трубах. Однак для практичного використання проведення ультразвукової діагностики останніх необхідно проведення додаткових робіт по удосконаленню конструкції існуючого пристрою (ЭМА-толщиномера) і, відповідно, методики вимірювань, враховуючої вплив кривизни труб на вимірний тракт.

Балицька Н.О., Глембоцька Л.Є., Яновський В.А.
Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ФРЕЗЕРНИХ ПЛАСТИН

Процес фрезерування характеризується переривчастістю через періодичний вхід/вихід різальної пластини в/із дуги контакту із заготовкою, змінністю товщини зрізаного шару за час контакту пластини із заготовкою, їх періодичним охолодженням, що є причиною виникнення знакозмінних напружень у різальних пластинах.

Переважає більшість наукових робіт присвячена дослідженню явищ, що супроводжують вхід пластин у контакт із заготовкою. Разом з тим, відомі роботи Андрєєва Г.С., Кабалдіна Ю.Г., Симоняна М.М., Лоладзе Т.Н., Чігодаєва Н.Є. та ін., які показують, що стійкість інструменту можна підвищити також зміною умов виходу різальних пластин із дуги контакту із заготовкою.

Вихід пластини із дуги контакту є найбільш нестабільною фазою процесу різання, а його характер має велике значення. В кінці дуги контакту незначна кількість ще не зрізаного матеріалу може зменшити дійсну величину заднього кута різальної пластини. Виникнення розтягуючого напруження вздовж поверхні пластини в момент відриву стружки є дуже несприятливим і може привести до поломки пластини, оскільки твердий сплав погано працює на розтяг, а також до утворення задирки на оброблюваній деталі.

Дослідники висувують різні причини прискореного зносу і навіть руйнування різальних елементів при виході із зони різання. Наприклад, Андрєєв Г.С. відмічає періодичність навантаження задньої

поверхні інструмента в момент виходу з-під стружки; періодичність навантаження передньої поверхні інструменту силою, зумовленою опором розриву утвореного задиру; адгезійне схоплювання інструменту зі стружкою і її зрушення в площині передньої грані; охолодження різальної частини під час холостого ходу. Кабалдін Ю.Г. вказує, що тісний зв'язок стружки з утворюваним задиром викликає розтягуючі напруження при виході різальної пластини із контакту із заготовкою. Лоладзе Т.Н. зазначає, що при виході різального клина із зони різання довжина контакту стружки з передньою поверхнею різального клина зменшується. У момент виходу інструменту з контакту виникає тріщина, і зрізаний шар миттєво відривається від оброблюваної заготовки, а також відзначається періодичне навантаження задньої поверхні інструмента в момент виходу зуба з-під стружки. Чігодаєв Н.Є. наводить фотографії кадрів швидкісної кінозйомки моменту виходу різального клина із зони обробки, на яких чітко видно зменшення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту. Він вважає, що причиною «розвантажувального удару» є зменшення жорсткості крайової зони обробки, при досягненні якої різальним клином, стружка втрачає опору та починає сильніше відгинатися.

Товста стружка на виході пластини із дуги контакту призводить до «розвантажувального удару» і може викликати зменшення стійкості або навіть руйнування різальної пластини. При врізанні фрези в заготовку по прямій, товста стружка утворюється до кута контакту 180° .

Ця проблема має два технологічні рішення:

1) Програмування врізання по прямій, але зі зниженою на 50% швидкістю подачі.

2) Врізання по кривій, що направлена за напрямком обертання фрези (протилежний напрямок не допомагає вирішити проблему утворення товстої стружки).

При врізанні по кривій товщина стружки на виході наближена до нуля, що дозволяє застосовувати високу швидкість подачі і збільшує термін служби інструменту.

Необхідно зазначити, що при фрезеруванні матеріалів високої твердості проблема низької стійкості різальних пластин стоїть ще більш гостро і потребує глибокого дослідження.

Одним з можливих впливів на напружений стан різальних пластин є вибір їх оптимальної форми. Фрези з круглими пластинами є фрезами загального призначення і демонструють високу ефектив-

ність при виконанні чорнової обробки. Круглі різальні кромки можуть бути створені, наприклад, плоскою передньою та циліндричною задньою поверхнями, а також навпаки.

Підходом до підвищення стійкості фрезерних твердосплавних пластин при обробці матеріалів високої твердості, крім вищезазначених технологічних методів, може бути також застосування пластин косокутного різання із циліндричною передньою поверхнею. Така геометрія характеризується збільшеною активною довжиною різальної кромки та значно більшою площею контакту передньої поверхні із заготовкою, що зумовлює більш плавний вхід/вихід пластини із зони різання та покращення динаміки процесу фрезерування. При цьому забезпечується зменшення питомого тиску на різальну пластину та віддалення максимальної ширини площадки зносу від вершини. Крім того фрезерні пластини з циліндричною передньою поверхнею мають більшу міцність та створюють кращі умови відведення тепла від зони різання, порівняно із круглими пластинами з плоскою передньою поверхнею.

Таким чином, комплексне застосування криволінійної траєкторії врізання торцевої фрези та твердосплавних різальних пластин з циліндричною передньою поверхнею дозволить підвищити стійкість інструменту та ефективність обробки матеріалів високої твердості. Отже, ці питання є перспективними, мають високе практичне значення та потребують подальшого вивчення.

Бошицька Н.В., Сергєєв В.П., Кліпов В.Д. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Логінова О.Б., Кістерська Л.Д. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

АПЛІКАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АКТИВОВАНОЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ ВОЛОКНИСТОЇ МАТРИЦІ З ІММОБІЛІЗОВАНИМИ НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА МЕТОДОМ АДСОРБЦІЇ З РОЗЧИНІВ

Одним з провідних напрямків сучасного матеріалознавства є розробка матеріалів біомедичного призначення. Сучасна сорбційна терапія, зокрема аплікаційна сорбція, призначена для лікування хворих з важкими гнійно-септичними захворюваннями бактеріаль-

ної природи. Вона заснована на використанні пористих медичних матеріалів, здатних при контакті з рановою поверхнею, адсорбувати токсини різної природи і виводити їх з організму. В якості матриці для виробництва специфічних сорбентів для медицини все частіше застосовують матеріали на основі нанодисперсного вуглецю з мезопористою структурою та високою біосумісністю. В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України створено активований вуглецевий наноструктурований волокнистий матеріал (АВНВМ) з комплексом властивостей для медичного використання [1].

В якості модифікатора вуглецевої матриці використовували наносупензію срібла Ag Nanofluid, виготовлену з використанням іонно-плазмової технології в екологічно чистому технологічному циклі за міжнародним патентом РСТ WO 2008/039160A1 та патентом України № 80513 [2]. Концентрації наночастинок срібла (НЧАg) в суспензіях складали: вихідна – 25 мг/л срібла в гліцерині, розведені водою до концентрації срібла 12,5 та 6,25 мг/л.

Модифікування вуглецевої тканини НЧ срібла виконували методом адсорбції з розчину в ультразвуковій ванні. Вивчення фізико-хімічної стабільності отриманих композиційних систем в біологічних розчинах, які є близькими за своїм хімічним складом до тканинної рідини та використовуються в медичній практиці для внутрішньовенного введення.

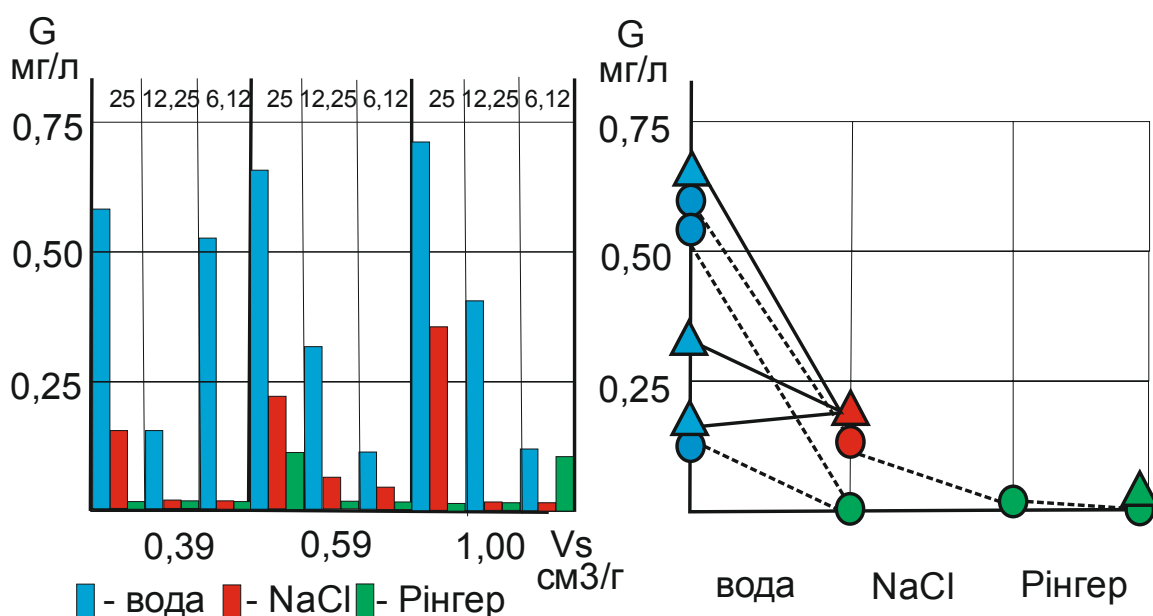


Рис. 1 – Порівняльна стабільність композиційної системи АВВНМ/НЧАg в залежності від вихідної ємності вуглецевої матриці, вихідної концентрації срібла в розчині та хімічного складу біологічних середовищ

Визначено, що інтенсивність виділення срібла з поверхні композиційної системи АВУНМ/НЧА_g залежить від об'ємної ємності вуглецевої матриці, вихідної концентрації срібла в розчині і хімічного складу біологічних середовищ: кількість срібла в фільтраті води в кілька разів більше, ніж в фізіологічних розчинах після взаємодії (рис. 1). Показано, що вихідна концентрація срібла 25 мг/л в суспензії гліцерину є найбільш оптимальною для створення стабільних композиційних систем АВУНМ/НЧА_g.

Таким чином, розроблено композиційну систему АВВНМ/НЧА_g з вихідною ємністю вуглецевої матриці 1,0 см³/г, модифіковану наносуспензією Ag Nanofluid з вихідною концентрацією срібла 25 мг/л, з пролонгованим виділенням його в фізіологічні розчини, що робить цей матеріал перспективним при розробці новітніх лікарських аплікаційних форм.

Литература

1. Кононко, І.В. Вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал та екологія. Застосування для захисту довкілля / І.В. Кононко, О.В. Щербицька, В.Д. Кліпов та ін. // Environment and health. – 2014. – № 4. – С. 24–28.

2. <https://www.nanofluid.com.ua/>

Бурикін В.В., Клименко С.Ан. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ГІДРОАБРАЗИВНА УСТАНОВКА ДЛЯ ТОЧІННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛО ОБЕРТАННЯ

У 50-х роках ХХ століття вперше була описана можливість використання струменя рідини під високим тиском в якості інструменту для обробки різних матеріалів. Застосування гідроабразивної обробки (ГАО) спочатку обмежувалося лише очищенням деталей від іржі та окалини. В міру розвитку обладнання та технології область її застосування розширювалася досить динамічно [1]. Дані про можливість застосування струменя надвисокого тиску в якості ріжучого інструменту з'явилися в Росії в 1960 році [2], однак перший патент був отриманий фірмою McCartney Manufacturing's [3],

яка застосувала метод розкрою струменем на заводі Alton Vox Board Co (США).

Суть методу полягає в подачі розігнаної до надзвукової швидкості струменю води на опрацьований матеріал, що руйнується внаслідок взаємодії з інструменту, маючим високу деструктуючу особливість. Для інтенсифікації процесу в деяких випадках в струмінь додають абразивний матеріал. Як абразивний матеріал можуть виступати корунд, карбід кремнію, синтетичні алмази, мінерал граната та інші абразиви. Слід зазначити, що в даний час велике поширення має мінерал граната (альмандин). Потрапляючи на оброблювану поверхню, він викликає ерозійне руйнування поверхневого шару, а в залежності від технологічних параметрів (швидкості витікання води, подачі гідроабразивної головки щодо заготовки, кількості абразивних частинок в струмені, відстані від зрізу сопла до матеріалу) процес обробки може відрізнитися: від зняття тонкого шару окалини до наскрізного прорізання матеріалу [4].

Незважаючи на широке застосування гідроабразивного струменя не тільки в сучасному машинобудуванні, а й в медицині, харчовій, текстильній, космічній та авіабудівній промисловості, цей метод обробки матеріалів впроваджується в усі нові області. Цим інструментом виробляють не тільки фігурний розкрій різного роду матеріалів, гравірування поверхонь [5], гнуття, покрокове вигинання поверхонь, але і гідроабразивну механообробку.

Існують роботи, спрямовані на вивчення гідроабразивного точіння (ГАТ) і фрезерування [6–9], де описані методи планування експериментів при даній обробці та отримані залежності глибини точіння та фрезерування від параметрів обробки. М. Zohoor, I. Zohourkari [8] була запропонована модель ГАТ, яка з достатньою достовірністю описує остаточну геометрію заготовок після обробки і представлений механізм видалення матеріалу при ГАТ, причому емпіричними константами уточнена модель ерозії матеріалів М. Hashish, яку він запропонував у роботі [10].

Величезний внесок у дослідження процесу гідроабразивного руйнування матеріалів внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: Р.А. Тихомиров, І.І. Шапіро, Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, В.С. Гуенко, В.А. Шманьов, А.А. Барзов, С.П. Козирєв, І.В. Петко, Е.Н. Петухов, М. Hashish, I. Finnie, R. Kovacevic, R. Mohan, I. Hideo, N. Vale, A. Popan, M. Ramulu, S.N. Guo, G.L. Chahine, J. Chao, P. Berce, G. Fowler, L.C. Zhang та ін.

ГАТ матеріалів є складним маловивченим процесом, який не має до теперішнього часу стрункої теоретичної основи, тому точність і шорсткість оброблених поверхонь деталей є найчастіше «мистецтвом» оператора, а отримання необхідних результатів різання досягається методом проб і помилок. Розвиток ГАТ спрямоване не тільки на розширення функціональних можливостей методу, але і на підвищення точності, продуктивності та ефективності процесу в цілому. Існує ряд основних напрямків, в якому ведуться роботи по вдосконаленню процесу ГАО матеріалів, це призвело до появи на внутрішніх і зовнішніх ринках досить великої кількості фірм, зайнятих серійним випуском гідрорізного обладнання і пропозицій його використання в різних галузях народного господарства. З огляду на відносну простоту конструкції гідрорізного верстата, багато виробничих підрозділів намагаються створити діючі установки для точіння, ґрунтуючись на власному досвіді і виробничих традиціях.

Одним з найбільш очевидних методів вдосконалення обробки є підвищення ресурсу роботи установки ГАТ деталей типу тіло обертання та забезпечення концентричності циліндричних поверхонь і точного розташування торців щодо осі деталі.

Тому в нашому випадку обробку роблять ГАТ високонапірним струменем технологічної рідини, що містить природні або штучні абразивні матеріали.

Установка ГАТ [11] містить станину з поздовжніми направляючими, на яких з можливістю зворотно-поступального переміщення за допомогою приводу встановлено портал з поперечними направляючими. На поперечних направляючих з можливістю зворотно-поступального переміщення за допомогою приводу змонтована каретка, що несе приводний супорт, призначений для установки інструментальної (струменевої) голівки, оснащеної клапаном подачі технологічної рідини, приводом для регулювання кута її нахилу, автоматичним дозатором абразиву і змішувальною камерою. На станині є ванна з ґратами у вигляді рами для гасіння кінетичної енергії струменя в технологічній рідині. На протилежних стійках станини, розміщені повідковий патрон з електродвигуном та центри, призначені для кріплення в них, оброблюваної деталі типу тіло обертання і додання їй кругового руху. Центр оснащений затискною гайкою від поздовжнього переміщення деталі типу тіло обертання.

Установка ГАТ працює наступним чином. У центри та повідковий патрон, встановлених на протилежних поперечних сторонах станини, кріпиться деталь типу тіло обертання, що обробляється, і

затискається гайкою. У ванну з ґратами наливають необхідну кількість технологічної рідини. Включають електрообладнання гідроабразивної установки. Електродвигун створює обертовий рух деталі типу тіло обертання проти годинникової стрілки. Насос високого тиску, що складається зі сталеві рами з встановленими в ній електродвигуном, гідропанеллю і мультиплікатором високого тиску за допомогою бустера, нагнітає тиск від 300 до 600 МПа. При цьому всі коливання, які створюються насосом, гасяться в акумуляторі тиску великої місткості, що гарантує вільний від пульсації струмінь технологічної рідини. Після цього її для генерації струменя подають по гнучким трубах високого тиску в інструментальну голівку, яка і здійснює ГАТ деталі типу тіло обертання. Одночасно, з системи подачі абразиву, що складається з ємності циліндричної форми з пневмоклапаном для зручного його засипання і подальшої регульованої подачі через дозатор, абразив потрапляє в змішувальну камеру. Технологічна рідина, проходячи через отвір в голівці діаметром чверть міліметра (тиск при цьому ще більше зростає), потрапляє в змішувальну камеру, де вона з'єднується з дрібнодисперсним абразивом і потрапляє в формуючий струмінь. Залежно від матеріалу деталі вона може мати діаметр від 0,6–1,2 мм. В ріжучій голівці енергія тиску технологічної рідини перетворюється в кінетичну енергію, прискорюється з утворенням тонкого, всього в десяті частки міліметра, сфокусованого струменя, що служить в якості інструменту для ГАТ.

Установка ГАТ обладнана системою ЧПК для координації процесу обробки за заданою програмою і управління приводами переміщення порталу, каретки, супорта, решітки і електродвигуна для кругового руху деталі типу тіло обертання, забезпечуючи зручність її експлуатації і якість готових виробів. Система ЧПК за програмою забезпечує повільне підведення ріжучої голівки до оброблюваної деталі типу тіло обертання, а за рахунок вертикальних, поздовжніх і поперечних переміщень (v_B , $v_{пов}$ і $v_{п}$) порталу, каретки і супорта, забезпечує ріжучій голівці ГАТ деталі типу тіло обертання за розмірами креслення. Після закінчення ГАТ система ЧПК відключає подачу абразиву і технологічної рідини, відводить ріжучу голівку, зупиняє електродвигун і оброблену деталь знімають з повідкового патрону та центрів для її контролю.

Використання пропонованої установки ГАТ дозволяє різати різні матеріали без виділення теплової енергії, так як вона відразу поглинається технологічною рідиною. Крім цього не потрібні складні і ва-

жкі пристосування для кріплення і фіксації заготовки. Струмінь технологічної рідини не робить такого сильного впливу на заготовку як механічні інструменти (різець, фреза або пила) і забезпечує якість обробленої поверхні деталі типу тіло обертання, підвищивши їх довговічність і зменшивши витрати на експлуатацію та обслуговування.

Література

1. Денисов, А.С. Повышение эффективности гидроабразивного резания заготовок из толстолистовых металлов на основе дискретной подачи абразива / А.С. Денисов. – М., 2014. – 132 с.
2. Билик, Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов / Ш.М. Билик. – М. : ГНТИМЛ, 1960. – 198 с.
3. Patent U.S №. 2985050. MKU 83–58. Liquid cutting of hard materials // В.С. Schwacha. – 1961.
4. Саленко, О.Ф. Ефективне гідрорізання / А.Ф. Саленко, В.Б. Струтинський, М.В. Загірняк. – Кременчук : КДПУ, 2005. – 488 с.
5. Hideo, I. Flexible and incremental bulging of sheet metal using high-speed water jet / I. Hideo // JSME Internat. J. – 2001. – Vol. 44, № 2.
6. Bale, N. Software solution for abrasive water jet milling process / N. Bale, A. Popan, P. Berce, A. Luca // Techn. Un-ty of Cluj-Napoca. Faculty of Mechanical Engineering – 2001.
7. Mark, J. Machining with Abrasives / J. Mark, J.M. Jackson, J.P. Davim et all. // Purdue university MET, Center for advanced manufacturing college of technology West Lafayette USA. – 2011.
- 8/ Mehdi, Z. Modeling of Abrasive Waterjet Turning / Z. Mehdi, Z. Iman // Austral. J. of Basic and Applied Sci. – 2011. – № 5(8). – P. 70–79.
9. Fowler, G. Abrasive water-jet controlled depth milling of titanium alloys / G. Fowler // Thesis submitted to the university of nottingham for the degree of doctor of philosophy. – 2003.
10. Hashish, M. Turning with abrasive waterjets – a first investigation / M. Hashish // ASME J. of Eng. for Ind. – 1987. – № 109(4). – P. 281–290.
11. Патент UA № 146145. Установка для гідроабразивного точіння / С.А. Клименко, В.В. Бурикін, С.Ан. Клименко // Промислова власність. – 2021. – Бюл. № 3.

ГЛИБИНА ВПРОВАДЖЕННЯ РІЗУЧОЇ ЧАСТИНИ ЗЕРНА В КЕРАМІКУ ПРИ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

Глибина впровадження різальної частини зерна в надтверду кераміку визначається пружно-пластичною деформацією оброблюваного матеріалу силою притиску абразиву до оброблюваної поверхні. В якості оброблюваного матеріалу вибрана надтверда кераміка на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Початковою шорсткістю оброблюваної поверхні нехтували. Сила різання, прикладена до зерна, $P_z = 292,9$ Н. Радіус різальної частини зерна $r = 0,01$ мм. Для визначення глибини впровадження різальної частини зерна в кераміку використаний метод кінцевих елементів.

Загальновідомо, що процеси і механізми пластичної деформації в металах до теперішнього часу досить добре вивчені. Для керамічних матеріалів в цьому відношенні існує практично протилежна ситуація. Тільки деякі відомості про пластичну деформацію в кераміках, отриманих, головним чином, на основі галогенідів лужних металів (NaCl, KCl, LiF) і окремих оксидів (MgO, Al₂O₃), узагальнені в деяких наукових роботах.

В цілому процес утворення елементу стружки, як відомо, можна розділити на три етапи. На першому етапі і відбувається пружна і пластична деформація.

Розвиток пластичної деформації в кераміці відбувається так само, як в металі, тобто шляхом переміщення дислокацій. Трудність ковзання і визначає твердість і крихкість кераміки. Швидкість деформації пропорційна прикладеному навантаженню. Під дією докладеного зовнішнього зусилля атоми ковзають один по одному і руйнують міжатомні зв'язки. При цьому не існує якого-небудь переважного напрямку, в якому цей процес реалізується.

Для зниження часу розрахунків було розглянуто рішення задачі рівноваги зерна під дією сили різання і тиску на його різальну частину представлена на рис. 1, де F_m – сила тяжіння; $F_{тер}$ – сила тертя; $p_{ім}$ – імпульс сили, пов'язаний з віброприскоренням; Δt – час дії імпульсу; $F_{мс}$ – магнітна сила, яка вибудовує стовпчики інструменту. При впровадженні зерна на глибину t координата x^* визначається виразом [1]:

$$x^* = \sqrt{r^2 - (r-t)^2} = \sqrt{t(2r-t)}. \quad (1)$$

Глибину впровадження зерна в кераміку уздовж осі z визначимо з вираження:

$$z = r - t - \sqrt{r^2 - x^2 - y^2}. \quad (2)$$

На поверхню зерна діє сила, що перешкоджає проникненню зерна в кераміку, залежна від пластичної деформації при впровадженні абразивного зерна σ_{00} . Вектор дії сили знаходиться під певним кутом до осі z :

$$\cos \gamma = \frac{\sqrt{r^2 - x^2 - y^2}}{r}. \quad (3)$$

Для розрахунку сили, що діє уздовж осі z , потрібно це значення помножити на $\sin \gamma$:

$$\sigma_z(x, y) = \sigma_{00} \cdot \sin \gamma. \quad (4)$$

Для переходу до сили різання необхідно проінтегрувати вираження (4):

$$F = 4 \int_0^{x^*} \int_0^{\sqrt{(x^*)^2 - x^2}} \sigma_z(x, y) dx dy. \quad (5)$$

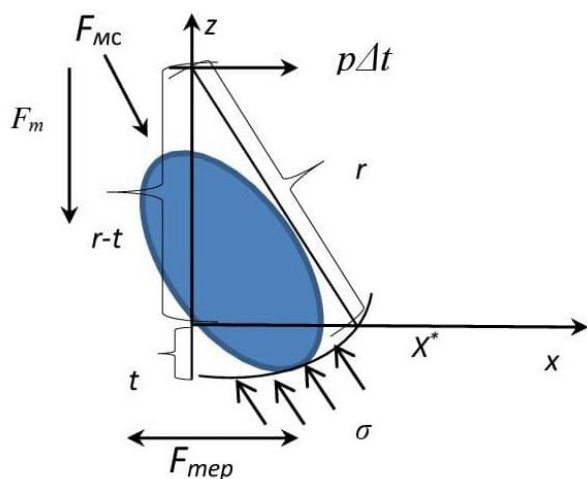


Рис. 1 – Схема впровадження зерна

Отримані вирази можна використати для визначення глибини впровадження зерна під дією сили різання. Для цього необхідно вирішити рівняння:

$$F(t) = P_z = P_{zn} + P_{zb}$$

де. P_{zn} – сума сил, які діють при русі в напрямку сили тяжіння; P_{zb} – сума сил, які діють при русі проти напрямку сили тяжіння.

Глибина різання t входить тільки в межі інтеграції через координату x^* .

Література

1. https://www.i-mash.ru/uploads/posts/2020-06/1593084204_f-1.jpg

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЯ В ANSYS EXPLICIT DYNAMICS

Пробивка отверстий в листовом металле является наиболее распространенной операцией листовой штамповки. За счет высокой производительности и относительной простоты выполнения она пользуется высокой популярностью. В последнее время появилась необходимость в совершенствовании некоторых элементов оборудования в связи с появлением новых материалов, скоростных методов их обработки, а также предъявляемых требований к качеству обрабатываемых изделий. Это приводит к необходимости разработки компьютерных моделей процесса пробивки, позволяющих варьировать режимами и параметрами процесса. Использование современных систем автоматизации инженерных расчетов (CAE-систем) на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных способов решения такого рода задач по исследованию напряженно-деформированного состояния тел, оценке прочностных характеристик и прогнозированию долговечности конструкций. Программная система конечно-элементного анализа ANSYS является одной из наиболее эффективных CAE-систем. Программное обеспечение ANSYS со специальным интерфейсом ANSYS Workbench позволяет успешно решать различные задачи механики деформируемого твердого тела, динамики жидкости и газа, теплофизики т.д.

В ANSYS Workbench 2019 R2 для твердотельного динамического анализа используется среда ANSYS Explicit Dynamics, которая позволяет проводить расчеты быстропротекающих высоко нелинейных процессов в постановках Лагранжа и Эйлера и предоставляет возможность решать все основные задачи явной динамики и быстропротекающих процессов. Программа проводит расчеты при помощи решателей ANSYS Autodyn, но в отличие от него использует тот же графический пользовательский интерфейс, что и широко распространенный решатель ANSYS Mechanical и другие аналитические системы платформы ANSYS Workbench. Explicit Dynamics является частью лицензии ANSYS Mechanical Enterprise.

Моделирование проводилось с учетом реальных условий процесса пробивки отверстия в листовом металле цилиндрическим пу-

ансоном на кривошипном прессе КД2128. В процессе пробивки пуансон вдавливают в отверстие матрицы, отделяя часть металла от всего листа в отверстие матрицы. В начальной стадии операции после упругого деформирования отмечается неизбежный для пластичных материалов процесс пластической деформации заготовки. Для снижения пластической деформации в таких операциях кромки пуансона и матрицы выполняют острыми с небольшим зазором между ними [1]. Зазор между пуансоном и матрицей варьировался от 5 до 15% от толщины пробиваемого металла на сторону. При моделировании толщина листа принималась равной $t = 4$ мм, материал – сталь 20 ГОСТ 1050-88. Материал пуансона – сталь X12МФ ГОСТ 5950-2000, твердость 57–60 HRC.

Построение геометрической модели выполнено с использованием графического модуля ANSYS SpaceClaim. 3D-модель системы пуансон-лист-матрица приведена на рис. 1. Эйлеровы методы позволяют отслеживать течение материала через грани ячеек на сеточной области, зафиксированной в пространстве. Эти методы идеальны для моделирования течений материалов с очень большими деформациями [2]. При формировании задачи в модуле ANSYS Explicit Dynamics Эйлерова сетка и начальная концентрация материалов создавались автоматически на основе геометрии.

Проведено исследование напряженно-деформированного состояния в модели пуансона и силы пробивки при различных режимах обработки и геометрических параметрах системы пуансон-лист-матрица. Типичное распределение эквивалентных напряжений приведено на рис. 2.

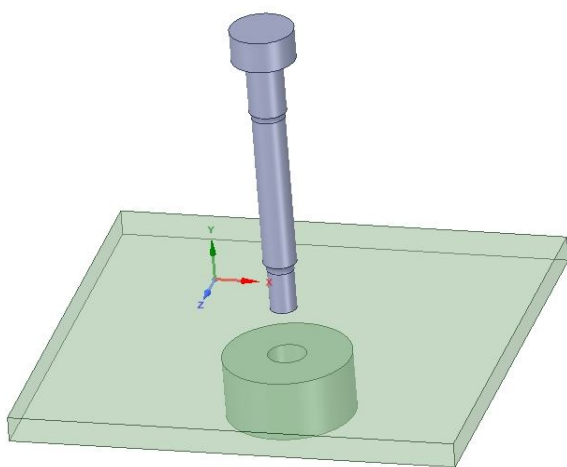


Рис. 1 – 3D-модель системы

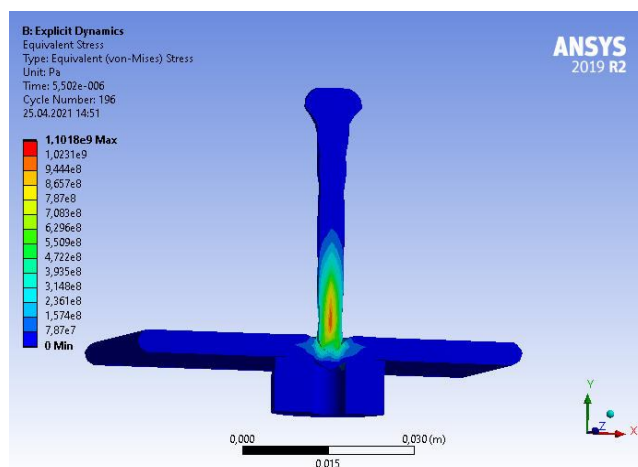


Рис. 2 – Типичное распределение эквивалентных напряжений по Мизесу

Выполнен расчет предельно допускаемой нагрузки в зависимости от длины рабочей части пуансона. Установлена предельная длина рабочей части, при которой возможно осуществлять процесс пробивки. Исследовано влияние скорости движения пуансона на возникающие в нем напряжения. Моделирование пробивного пуансона с измененной формой рабочей части не выявило существенных скачков напряжений по длине инструмента в процессе пробивки, что свидетельствует о том, что изменения в конфигурации пуансона не окажут негативного воздействия на его прочность.

Проведенные исследования позволяют оптимизировать форму и размеры рабочей зоны пуансона, зазор между матрицей и пуансоном в зависимости от их материалов и толщины листа.

Литература

1. <https://www.robur.ru/articles/factory-vliyayuschie-na-kachestvo-i-usilie-probivki>.

2. Мухутдинов, А.Р. Основы применения ANSYS Autodyn для решения задач моделирования быстропротекающих процессов / А.Р. Мухутдинов : уч. пособие. – Казань: КНИТУ, 2016. – 244 с.

Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвусевич В.М.
Брестский государственный технический университет, Брест,
Овчинников Е.В. Гродненский государственный
университет им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ

Для повышения износостойкости в процессе трения, сопротивляемости пластическому разрушению и предотвращения хрупкого разрушения деталей из различных сталей используется поверхностное плазменное упрочнение [1, 2], наиболее полно обеспечивающее оптимальное сочетание величины вязкости сердцевины с высокой поверхностной твердостью. В основе поверхностного плазменного упрочнения металлов лежит способность плазменной дуги создавать на небольшом участке поверхности высокие плотности теплового потока, достаточные для нагрева, плавления и испарения

любого металла. Такое упрочнение можно реализовать путем локальной закалки с помощью быстро перемещающегося высококонцентрированного источника тепла. Поверхностное плазменное упрочнение находит широкое применение как в условиях мелкосерийного и единичного (в том числе ремонтного), так и крупносерийного и массового производства [1–3].

В качестве высококонцентрированного источника тепла используется плазменная дуга, для генерации которой разработана установка, состоящая из плазмотрона постоянного тока, силового источника питания дуги, устройства ВЧ-поджига дуги, систем газоснабжения аргоном и азотом и водоохлаждения плазмотрона. Анодом выступает деталь. Для перемещения плазмотрона с заданной скоростью создана система устройств. Силовой источник обеспечивает горение плазменной дуги при напряжении 14–35 В и токах до 32 А.

Плазменное упрочнение проводилось при токах дуги $I = 6–30$ А и использовании в качестве плазмообразующего газа смеси аргона и азота, причем для защиты вольфрамового катода используется аргон с малым расходом, а по периферии дуги при помощи специального керамического сопла подается азот. Установлено, что происходит активное перемешивание аргона с азотом, что обеспечивает азотирование деталей. В плазмотроне применено обжимающее сопло с диаметром отверстия 1,9 мм. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 4 до 27 мм/с. Установлено, что ширина упрочненной плазменной дугой «дорожки» достигала 4,2 мм, а зона термического воздействия плазменной дуги по глубине детали имеет форму сегмента (рис. 1).

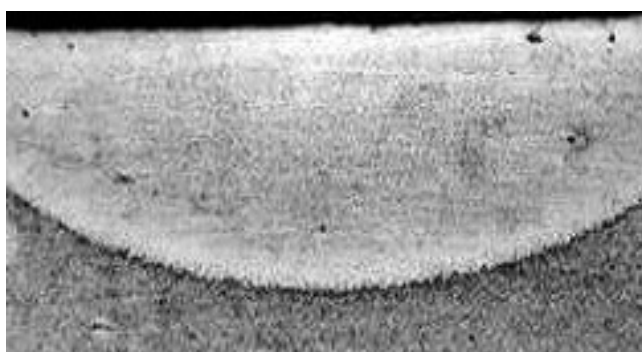


Рис. 1 – Зона воздействия плазменной дуги

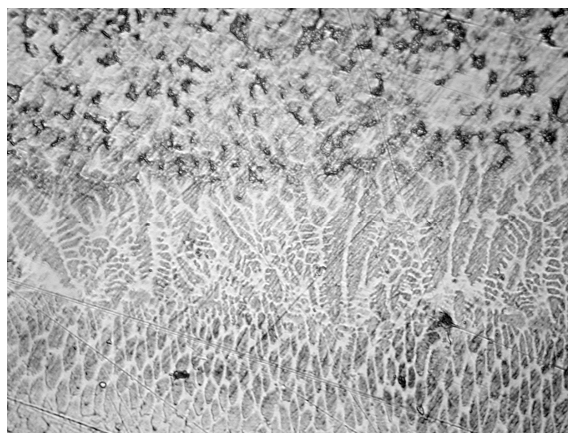


Рис. 2 – Микроструктура стали 14X17H2 при токе $I=15$ А ($\times 675$)

Исследованы микротвердость поверхностного слоя в зависимости от различных параметров: расхода газов, тока дуги, скорости перемещения плазмотрона, получены соответствующие зависимости. На рис. 2 представлена микроструктура, на рис. 3, 4 – распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя и по ширине «дорожки» для образца из стали 14X17H2.

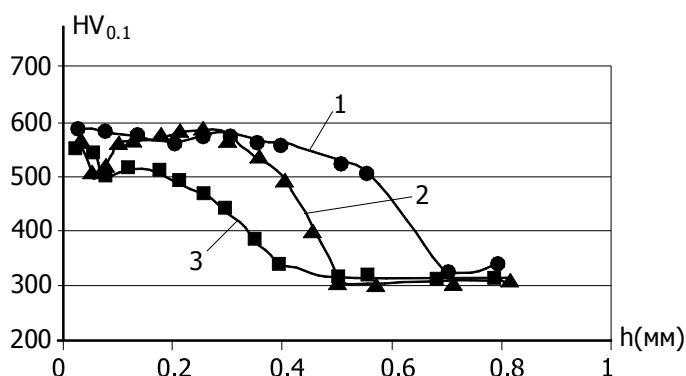


Рис. 3 – Распределение микротвердости упрочненного слоя по глубине при токах дуги: 1 – $I = 28$ А, 2 – $I = 26$ А, 3 – $I = 24$ А

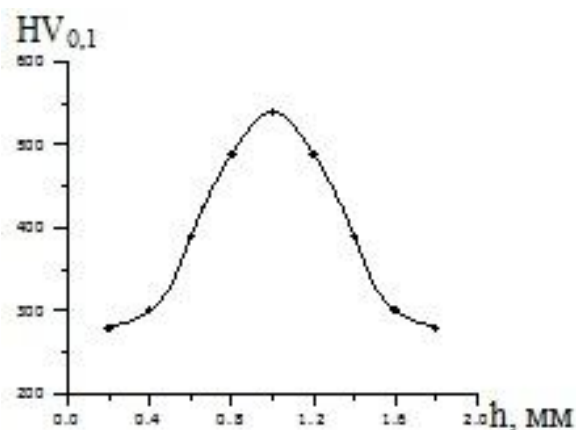


Рис. 4 – Типичное распределение микротвердости упрочненного слоя по ширине «дорожки» при токе дуги $I = 26$ А

По результатам исследований для изделий из стали 14X17H2 было достигнуто увеличение микротвердости до 550 $HV_{0.1}$. Толщина упрочненного слоя может изменяться в зависимости от скорости упрочнения от 0,1 до 0,6 мм. Установлено, что уменьшение скорости движения плазменной дуги приводит к увеличению глубины упрочненного слоя. Проведенные исследования показали увеличение износостойкости упрочненных деталей более чем в 2 раза.

Рассмотренная технология упрочнения может использоваться для закалки режущих кромок деталей, инструмента, ножей для гильотинных ножниц, дробильных установок, куттеров и т.д., и позволяет повысить их эксплуатационные свойства.

Литература

1. Балановский, А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов / А.Е. Балановский. – Иркутск : Изд-во ТрГТУ, 2006. – 180 с.
2. Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин / Т.Ю. Степанова : уч. Пособие. – Иваново : Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2009. – 64 с.

3. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Куприянов. – Мн. : Высшая школа, 1988. – 155 с.

Влайков Г.Г., Барабаш М.Ю., Башинський Я.В., Колесніченко А.А., Сезоненко А.Ю., Рябов Л.В., Мартинчук В.Є. Технічний центр НАН України, Київ, Україна

ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ ШАРІВ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ

Обговорено проблему вивчення теплофізичних властивостей вуглецевих шарів, описано комп'ютерну установку вимірювання температуропровідності шарів з використанням стаціонарної імпульсної методики. Виконано вимірювання температуропровідності вуглецевих шарів різної складу та товщини. Необхідність створення нових матеріалів для вирішення практичних завдань, що виникають при розробці компонентної бази квантової електроніки та оптоелектронних пристроїв, а також розвитку оптичних телекомунікаційних систем спонукає шукати нові підходи до вивчення резонансних та фотоіндукованих властивостей вуглецевих матеріалів. До таких матеріалів відносяться аморфні вуглецеві плівки з показником заломлення близьким алмазу, що поєднують в собі прозорість в ІЧ області спектра з механічною міцністю і хімічну стійкість. Унікальне поєднання властивостей відкриває великі можливості для застосування алмазоподібних вуглецевих плівок в оптичних елементах лазерів, інфрачервоної техніки і інших оптичних приладах, наприклад, в якості захисних і просвітлюючих покриттів оптичних елементів. Розроблений імпульсний метод визначення температуропровідності матеріалів різної природи. Рівняння теплопровідності: $C_p d\theta(r,t)/dt = k\Delta\theta(r,t) + W(r,t)$, граничні умови: $-k\partial\theta/\partial x|_0 = \alpha_1\theta(0,t)$; $-k\partial\theta/\partial x|_1 = \alpha_2\theta(L,t)$; де $W(r,t)$ – форма пройденого теплового імпульсу, C_p – питома об'ємна теплоємність, k – коефіцієнт теплопровідності (Вт/м·град), L – товщина шару, α_1, α_2 – коефіцієнти тепловтрат шару.

Теплова гранична задача є у визначенні радіаційній щільності випромінення задньої стінки шару, схильного до імпульсного опромінення [1, 2]:

$$q_p(t) = q_{p0} \{ \eta(t) - \eta(t - \tau_u) \}, \quad \rho c = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right).$$

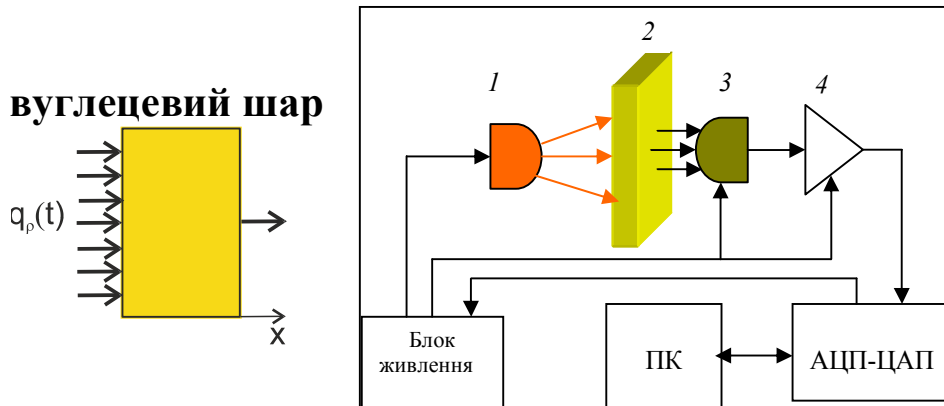


Рис. 1 – Блок схема приладу:

1 – світлодіод (GREE-XML), 2 – зразок кераміки, 3 – піродатчик (IRA-E700ST0), 4 – посилювач ($K_u = 10000$), Блок АЦП-ЦАП ($\pm 10V$, 12 розрядний, 2 канали), блок живлення ($\pm 15 V$, $+6 V$), ПК – персональний комп'ютер

Проведено вимірювання температуропровідності вуглецевих шарів різного складу та товщини (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльні дані температуропровідності вуглецевих шарів, отриманих різними методами

Номер зразка	τ , повітря 10^{-3} с	τ , зразок 10^{-3} с	Товщина зразка, 10^{-6} м. L , м	χ , $m^2/s \cdot 10^{-6}$ температуропровідність
1	329	897	1400	$2,2 \cdot 10^{-6}$
2		608	1025	$3,76 \cdot 10^{-6}$
3		709	1060	$2,97 \cdot 10^{-6}$
4		653	1005	$3,12 \cdot 10^{-6}$
5		694	980	$2,63 \cdot 10^{-6}$
6		362; 746	950	$27,3; \cdot 10^{-6}$ $2,16 \cdot 10^{-6}$
7		359; 985		$30,0; \cdot 10^{-6}$ $1,4 \cdot 10^{-6}$
Al			355	50

Рішення задачі має вигляд: $\tau_d = L^2/\chi = C\rho L^2/k$; $\chi = k/ C\rho$, де χ – коефіцієнт температуропровідності, m^2/s ; τ_d – зсув за часом максимуму пройденого теплового імпульсу, C – ізобарна теплоємність, ρ – густина шару.

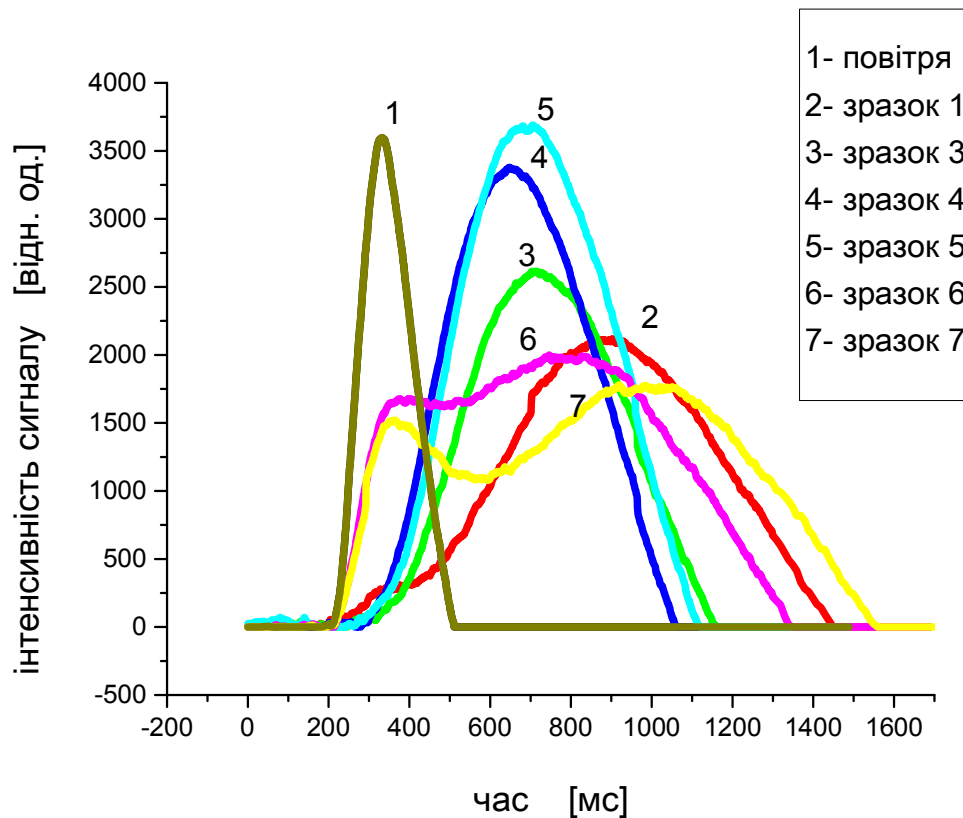


Рис. 2 – Залежність значення часу від 0 до 1,6 с та інтенсивності сигналу при проходженні імпульсу крізь вуглецевий шар різної товщини $T(r,L,t)$ як функція відстані – r

Проведений аналіз імпульсного методу вимірювання температуропровідності із створенням у зразку короткохвильового теплового імпульсу. Отримані дані за вказаним методом відповідають стандартним значенням температуропровідності зазначених матеріалів. Розроблено лабораторне устаткування з використанням імпульсного методу з реєстрацією даних на ПК. Показана можливість вимірювання температуропровідності вуглецевих шарів та матеріалів різної природи у лабораторних умовах.

Література

1. Taylor, R.E. Pulse method for thermal diffusivity measurement / R.E. Taylor, K.D. Maglic // Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods. Vol: 1: Survey of Measurement Techniques, Eds. K.D. Maglic et al. – Plenum Press New York, 1984. – P. 305–336.
2. Figari, A. In plane thermal diffusivity evaluation by infrared thermography / A. Figari // Review of Scientific Instruments. – 2001. – № 72(10). – P. 3988–3995.

Гаркун А.С. Институт прикладной физики НАН Беларуси,
Дорошко С.И. ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси,
Седнин В.А. Белорусский национальный технический университет;
Абразовский А.А. ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»,
Гориченко С.Ф. УП «Мингаз», Минск, Беларусь

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Механические испытания материалов эксплуатируемых газопроводов для участков трубы с дефектами в виде отслоений проводились путем измерения твердости и микротвердости, испытаний на растяжение и ударную вязкость. Также определялось напряженно-деформированное состояние в зоне возле дефекта (рис. 1).

Измерения твердости и микротвердости. Твердость по Бринеллю измерялась на приборе ИТА-5010 и составила 135 НВ.

Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 г. Для определения распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя «прокалывались» 2 дорожки отпечатков. Расстояние между отпечатками составляло не менее 50 мкм. Графики изменения микротвердости по глубине строились на основании усредненных значений.



Рис. 1 – Общий вид дефекта

Механические испытания на растяжение и ударную вязкость. Испытания на растяжение проводились на разрывной машине TESTOCOM-100 (Испания) при нагрузке до 45 кН.

Ударная вязкость исследовалась при разрушении стандартных образцов на маятниковом копре GALDABINI IMPACT 300.3 (Италия). Результаты испытаний на разрыв для образцов на участках трубы без видимых дефектов и на участке трубы с внутренними отслоениями представлены на рис. 2, 3.

Определение напряженно-деформированного состояния. Измерение поля напряжений проводилось с помощью рентгеновского дифрактометра GNR STRESS X в режиме Ψ . Применялось CrK_α излучение, а в качестве рентгеновского максимума для определения

напряжений использовали пик {211} ОЦК-решетки стали (угловая координата $2\theta_{211} = 156^\circ$). Диаметр коллиматора составлял 0,5 мм, диаметр пятна, с которого производилась съем информации о состоянии металла – около 0,8 мм. Для исследуемого материала глубина проникновения рентгеновских лучей составляла 5–10 мкм.

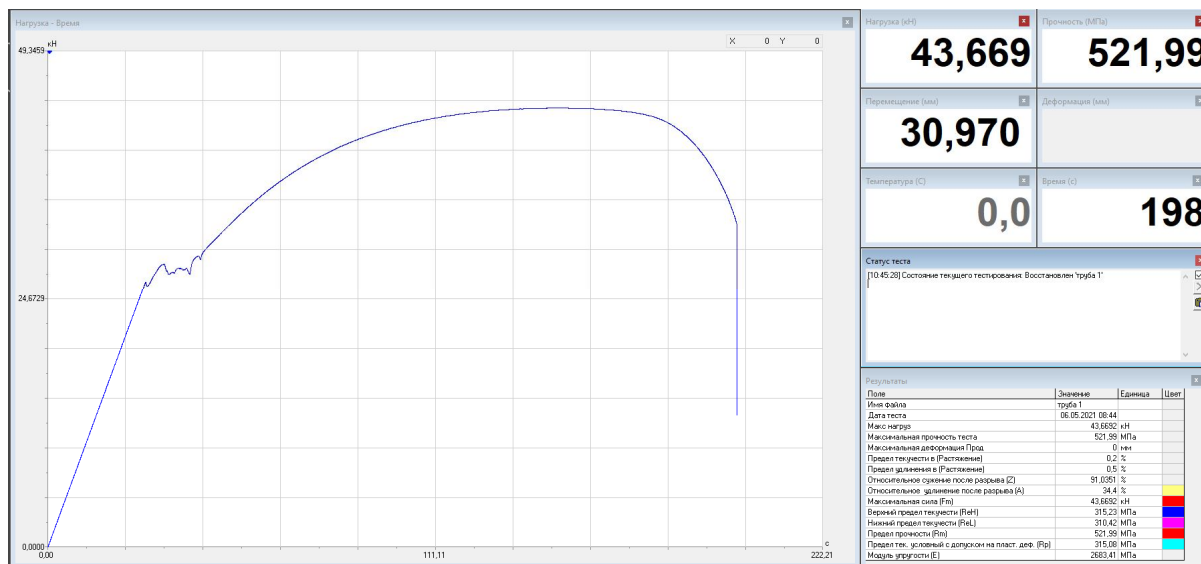


Рис. 2 – Результаты испытаний на разрыв образца на участке трубы без видимых дефектов

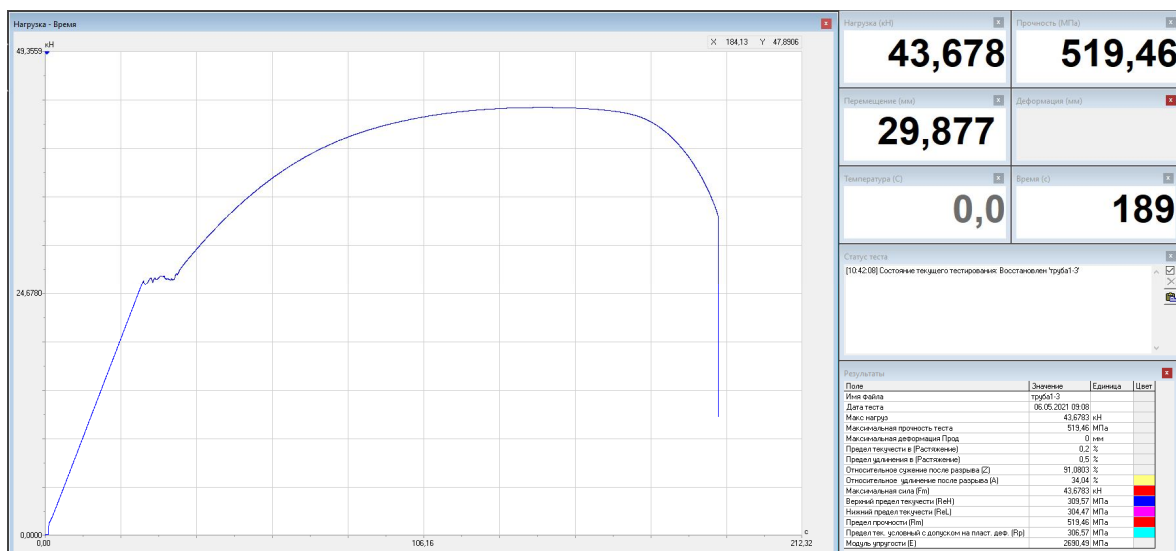


Рис. 3 – Результаты испытаний на разрыв образца на участке трубы с внутренними отслоениями

Перед проведением измерений с помощью установки Krystall 650 производилось электролитическое травление металла для снятия локальных поверхностных напряжений, вызванных процессами резания и полировки.

Измерения напряжений, возле дефекта, проводились перпендикулярно плоскости плены. Изменения напряжений, во всех случаях не превышали 60% от предела текучести.

Проведенные исследования показали, что обнаруженный дефект вероятнее всего производственный, и не связан с длительной эксплуатацией газопровода. Фактические эксплуатационные свойства металла исследованного фрагмента трубы газопровода соответствуют требованиям, предъявляемой к Стали 20. Существенной деградации свойств не было обнаружено.

Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И. Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ПОГОВОРИМ ОБ ОТХОДАХ ПРОИЗВОДСТВА

На предприятиях Ферганской области процессе получения конечного продукта производства вырабатывается значительное количество отходов.

Вследствие постепенного истощения природных ресурсов, ухудшения окружающей среды, в последние годы пристальное внимание уделяется утилизации отходов производства. Использование отходов различных отраслей промышленности в качестве сырья для получения многих ценных продуктов является одной из важнейших проблем современной научной общественности. АО «Farg'onaazot» образуется в день не менее 18 т шламовых отходов, на предприятии АО «Кувасайцемент» образовалось 2379 т/год асбеста и пыли цемента [1–6]. Часть отходов утилизируются а часть в настоящее время вывозится в накопители (рис. 1) или находятся на территории предприятий.

В условиях перехода экономики Республики к рыночным отношениям и исходя из мирового опыта выработана стратегия по сокращению отходов с одной стороны за счёт реконструкции старых производств, внедрения малоотходных технологий, их сбора и хранения, а с другой стороны, повторного использования и утилизации отходов.

На Ферганском Нефтеперерабатывающем заводе наряду с другими отходами при производстве парафина образуется глиношлам в результате осветления парафина при помощи специальной глины.

Неосветленный парафин пропускают через пласты глины и при этом в глине удерживаются примеси нефтепродуктов.



Рис. 1 – Шламкопители АО «Farg'onaazot»

Исследования, проведенные на кафедре "Безопасность жизнедеятельности" Ферганского политехнического института, показали возможность утилизации этих отходов: получение из глиношлама парафина в пропорциях – из единицы отходов – 5–10% парафина. Отработаны параметры получения парафина, разработана технология его получения в лабораторных условиях.

Технологический процесс заключается в следующем:

- разогрев глиношлама при температуре в пределах 100–120 °С, в специальных ёмкостях;
- отделение парафиновой массы в виде чёрно-коричневого цвета от глины;
- осветление парафиновой массы путём нагрева её до температуры 110 °С и последующим пропусканием её через ту же глину, которая присутствовала в отходах;
- получение товарного парафина;
- изготовление свечей в специальных формах.

Силами сотрудников частной фирмы разработана технология получения парафина из глиношлама, в полупромышленных условиях. Для выполнения данной работы непосредственное содействие оказало Ферганское областное управление по экологии и охране окружающей среды в обеспечении необходимым количеством отходов. На основании разработанной технологии смонтирована технологическая линия получения парафина и свечей из них. Каждый год выпускается около 500 кг парафина. Технологический регламент получения парафина из глиношлама разработана, она заключается в следующем: 100–150 кг глиношлама загружается в ёмкость

и нагревается постепенно в течении 30–60 мин при температуре в пределах 100–150 °С в зависимости от качества разделения парафиновой массы от глины. После полного расплавления парафиновой массы при помощи крана сливается во вторую ёмкость, предназначенную для дальнейшей переработки парафиновой массы. Оставшаяся глина в первой ёмкости выгружается для дальнейшего использования. Ёмкость с парафиновой массой разогревается и после достижения температуры 100–110 °С, в нее загружается глина в количестве до 30% от объёма парафиновой массы.

После загрузки глины нагрев продолжается ещё в течение 30 мин. После этого отключается обогрев и масса отстаивается в течении 15–20 мин. После этого парафин в виде массы светло-жёлтого цвета сливается в пластмассовые формы для охлаждения и придания ему товарного вида. Полученный парафин, кроме использования его для производства свечей может применяться в качестве парафиновых ванн в физико-терапевтических кабинетах больниц и поликлиник, а также в качестве основы при получении обувного крема и в текстильной промышленности в качестве смазки при производстве нитей.

На АО «Farg'ona azot» в количестве до 18 т в день образуются шламовые отходы, которые являются прекрасным сырьем для получения строительного материалов (например, мела и негашеной молотой извести). Основными составляющими шламовых отходов является содержание 60–70% мела.

Технология получения мела из шламовых отходов заключается в его обжиге при температуре 120–200 °С в течении 6–12 часов в зависимости от исходного сырья. Разработанная технология получения строительного мела, внедрена в полупромышленных условиях частной фирмы. Уже вот десятый год прекрасный строительный мел, изготовленный в этой фирме реализуется по всей Ферганской области. На полученный мел разработан технологический регламент и технические условия на качество продукта. Полученный мел используется в качестве добавок в краску, получение резинотехнических изделий, шпатлевки и других строительных материалов. Из различных шламовых отходов, отходов фосфогипса и золы получен сульфоминеральный цемент марки 400. Примерная классификация сырья для производства известковых вяжущих веществ приведена в табл. 1. По ГОСТ 5331-63 в зависимости от химического состава карбонатные породы делят на пять классов – А, Б, В, Г, Д (табл. 2). Химический состав некоторых отходов приведен в табл. 3.

Таблица 1 – Примерная классификация сырья для производства известковых вяжущих веществ

Сырье известняк	Состав сырья %			Получаемая известь
	CaCO ₃	MgCO ₃	глинистые примеси	
чистый	95–100	0–3	0–2,5	маломагнезиальная жирная
обычный	87–95		3–8	маломагнезиальная тощая
мергелистый	75–90	0–5	8–25	гидравлическая
доломитизированный		5–20	0–8	магнезиальная
доломит	55–75	25–45		доломитовая
доломитизированный мергелистый известняк	50–70	5–25	8–30	магнезиальная гидравлическая

Таблица 2 – Требования к химическому составу известняков для производства известковых вяжущих материалов

Компоненты	Класс				
	А	Б	В	Г	Д
CaCO ₃ в %, не менее	93	90	85	47	72
MgCO ₃ в %, не более	4	7		45	8
Глинистые примеси (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃) в %, не более		3	8		20

Таблица 3 – Химический состав золы и шламовых отходов (вес.%)

П.П.П.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	HCl	Σ
зола								
13,78	45,41	8,06	18,94	6,66	3,12	0,40	3,13	100
шламовые отходы								
37,17	5,26	0,65	1,64	50,36	1,65	0,34	1,93	100

На полученный сульфоминеральный цемент разработан технологический регламент, который можно при необходимости внедрить в любом малом предприятии, необходимы капитальные вложения. Основным составляющим в фосфогипсе является содержание 93–95% гипса. Поэтому исследования проводились с целью получения гипса из фосфогипса. Разработана технология получения

гипса из фосфогипса, составлен технологический регламент и бизнес-план по строительству минизавода по выпуску гипса.

При получении строительных материалов, таких как, например, гипс, завозимый из других республик, отход является недорогим сырьём. Фосфогипс же это мелкодисперсный материал, который уже является готовым сырьем для получения гипса, при этом сокращаются несколько операций, такие как дробление и помол кускового материала.

Как известно из литературных источников строительный гипс получают обычно из двухводного гипса $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. При обжиге его при температуре 150–160 °С происходит частичная дегидратация двухводного гипса с переходом его в полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$. Фосфогипс состоит из тех же элементов что и природный гипс.

Проведенные исследования показали, что из фосфогипса получается прекрасный гипс, отвечающий всем техническим требованиям. Опытно-экспериментальные исследования были проведены на лабораторной установке, где варьировались температура, время обжига, при этом учитывались возможности существующих установок обжига на промышленных предприятиях, таких как варочные котлы и сушильные барабаны.

Проведенная работа показывает, что отходы промышленных предприятий являются прекрасным сырьем для получения различных материалов.

Литература

1. Попспирова, Н.М. Пути решения некоторых экологических проблем в Ферганской области / Н.М. Попспирова, И.Х. Домуладжанов, С.С. Турдиматов // Научно-технический журнал. – Фергана : Типография ФерПИ, 2000. – №3/4. – С. 89–93.

2. Домуладжанов, И.Х. Экономические методы управления природоохранной деятельности предприятия / И.Х. Домуладжанов, Н.М. Попспирова // Мат. Международ. науч.-практ. конф. «Химико-биологические технологии и экологическая безопасность», июль 2001, г. Минск. – Мн. : «Общественное объединение «Международная академия экологии», 2001. – С. 284–286.

3. Domuladjanov, Ibragimjon. Radiation state of Fergana city / Ibragimjon Domuladjanov // Internat. Sci.-Techn. Conf. «Radiation on and chemical safety problems», 05-06 November 2019, Baku. – С. 50–51.

4. Домуладжанов, И.Х. Размещения отходов производства и потребления на нефтебазе / Ш.И. Домуладжанова, М.И. Латипова, Д.И. Турсунова // Научно-технический журнал ФерПИ. – 2020. – Т24, спец. вып., №1, ч. 2. – С.197–201.

5. Домуладжанов, И.Х. Текстильный комплекс «ДЭУ Текстайл Компани» и его воздействие на окружающую среду Куштепинского района / И.Х. Домуладжанов, Ш.И. Домуладжанова, М.И. Латипова, Ю.М. Холмирзаев // Universum: технические науки. – 2020. – № 7(76), ч. 1. – С. 30–33.

6. Домуладжанов, И.Х. Загрязнение атмосферы от выбросов ООО «А-Сервис» / И.Х. Домуладжанов, А.М. Тешабоев, Ш.И. Домуладжанова, М.И. Латипова // Universum: технические науки. – 2020. – №7(76). – С. 6–9.

*Евтушенко В.В., Голякевич А.А. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев,
Евдокимов А.В. ООО «Стил Ворк», Кривой Рог,
Лавров С.Н. (ФОП),
Демьяненко В.З. (ФОП), Днепр, Украина*

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ И ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ ПРИ НАПЛАВКЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ

На сегодняшний день на рынке Украины и постсоветском пространстве наиболее широкое применение нашли наплавочные материалы, применяемые в виде порошковых проволок или порошковых лент.

Цель наших испытаний определить коэффициент расхода порошковой проволоки и порошковой ленты на 1 кг наплавленного металла, а также исходя из полученных данных, сравнить производительности данных наплавочных материалов.

Необходимо также учесть, что конкретных расчетных данных по производительности наплавленного металла при наплавке порошковой лентой в литературе приведено мало, а именно отсутствие конкретных цифр по расчету и сравнению с производительностью с порошковой проволокой. Например, данные, предоставленные в журнале «Автоматическая сварка», выпуск № 1, 2012 г., где приводятся

сравнительные данные наплавки порошковой ленты и порошковой проволоки марки ПП-Нп-35В9Х3СФ (под флюсом).

Также в журнале «Автоматическая сварка», выпуск № 1, 2012 г. показан график сравнительной производительности наплавки различными способами (рис. 1). Из данных рис.1 видно, что производительность наплавки порошковой проволокой (3) на токах до 600 А больше производительности наплавки одной порошковой лентой (4).

Наплавка порошковой проволокой и лентой производилась в один слой с использованием автоматической наплавочной головки марки АД-231 и источника питания марки ВС-600. В качестве наплавочных материалов применяли порошковую ленту марки ПЛ-АН101 тип Б, сечением 16,5×3,8 мм и порошковую проволоку марки Велтек-Н630-О – 2,8 мм. В процессе наплавки, вылет проволоки (ленты), время и длина наплавки не изменялась. Применяемый режим сварки лентой: $I = 550\text{--}600$ А, $U = 30\text{--}31$ В, $V_{п/п} = 450$ мм/мин. Режим сварки проволокой: $I = 300\text{--}320$ А, $U = 30\text{--}31$ В, $V_{п/п} = 2500$ мм/мин. Способ наплавки обеими способами: наплавка открытой дугой.

В дальнейшем в процессе испытаний определяли коэффициент расхода проволоки и ленты, а затем из полученных данных определяли производительность порошковой проволоки и ленты.

В результате проведенных испытаний наплавки, порошковая проволока марки Велтек-Н630-О-2,8 показала большую производительность в сравнении с порошковой лентой ПЛ-АН101. Производительность ПП показала – 6,82 кг/ч, а порошковой лентой сечением 16,5×3,8 мм – 5,31 кг/ч. Также было установлено, что уровень

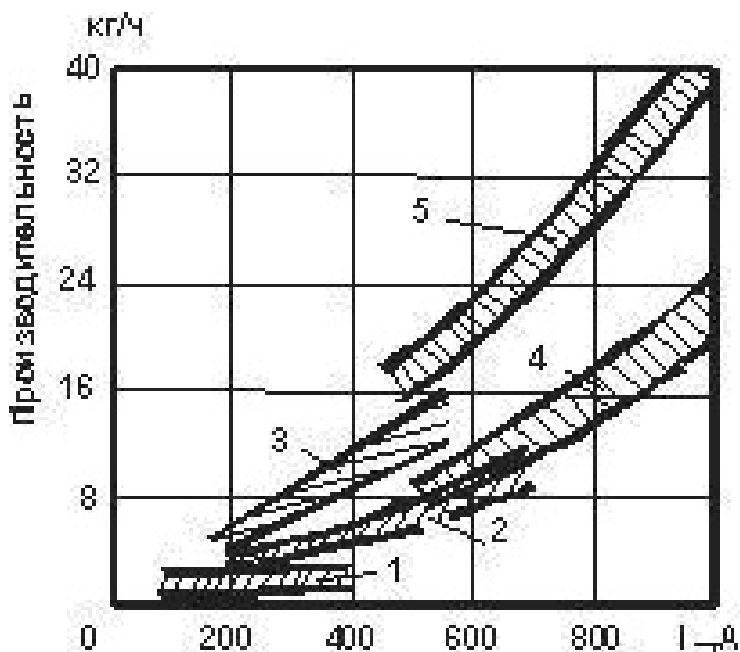


Рис. 1 – Производительность наплавки:
1 – штучными электродами; 2 – цельнотянутой проволокой под флюсом;
3 – порошковой проволокой открытой дугой; 4 – порошковой лентой открытой дугой (один электрод); 5 – двухдуговая наплавка порошковой лентой

разбрызгивания порошковой проволокой ниже, чем при наплавке порошковой лентой.

На основании полученных данных испытаний, а также исходя из графика рис. 1 можем сделать вывод, что при наплавке биметаллических листов порошковая проволока показала большую производительность по сравнению с использованием однодуговой наплавки порошковой лентой при параметрах тока до 600 А.

*Зяхор І.В., Завертанний М.С., Самоотрясов С.М.,
Капітанчук Л.М., Левчук А.Н.* Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона, Київ, Україна

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТЕРТЯМ ЖАРОМІЦНОГО НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ ІЗ СТАЛЛЮ МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ

При розробці нових конструкцій авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) вітчизняні виробники (ДП «Івченко-Прогрес», АТ «Мотор Січ») передбачають заміну механічних кріплень елементів конструкції ГТД зварними з'єднаннями, що дозволить зменшити масу двигуна. Особливо актуальним це завдання є для вузлів типу "вал-диск", елементи яких виготовляються із різних сплавів: диски – з деформованих жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) вали – із зносостійких жароміцних сталей мартенситного класу.

Для нероз'ємного з'єднання елементів конструкції авіаційних ГТД використовують різні методи зварювання плавленням і тиском, зокрема перспективним є застосування зварювання тертям (ЗТ). Суттєвою перевагою ЗТ є можливість збереження у шві хімічного складу матеріалів, що зварюються, незначна ширина зони структурних перетворень, порівняно низький рівень зварювальних напружень, що обумовлює можливість запобігти утворенню тріщин.

У роботі досліджували процеси нагрівання, деформації та формування мікроструктури різнорідних з'єднань при ЗТ дискового деформованого нікелевого сплаву ХН73МБТЮ (ЕІ698) із сталлю 40Х9С2 мартенситного класу.

Дослідженнями процесів нагріву та деформації встановлено, що переважно осадка заготовок відбувається за рахунок сталі 40Х9С2. Для забезпечення деформації у макрооб'ємах сплаву ЕІ698

і витіснення оксидних фаз за межі перерізу заготовок застосовували технологію комбінованого ЗТ, при якій забезпечується інтенсифікація деформації зсуву у зоні контакту за рахунок прикладення підвищеного зусилля проковки на етапі гальмування обертання.

Методами оптичної та електронної мікроскопії встановлено закономірності структурних перетворень і зміни морфології зміцнюючих фаз у зоні різнорідних з'єднань сплав EI698+сталь 40X9C2. Методом вимірювання мікротвердості («Лесо» М400) визначено розподіл показників механічних властивостей металу зони різнорідних з'єднань. Аналіз отриманих результатів свідчить про необхідність проведення після зварювання термічної обробки для зменшення твердості металу в зоні з'єднання з боку сталі 40X9C2 і відновлення морфології зміцнюючої γ' -фази з боку сплаву EI698. Дослідженнями встановлено, що при використанні розробленої технології комбінованого ЗТ забезпечується твердофазний характер формування з'єднання сплав EI698+сталь 40X9C2. У зоні з'єднання відсутні будь-які дефекти, ширина зони концентраційних змін не перевищує 10 мкм.

Кириченко І.О. Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, Северодонецьк,
Воронцов Б.С. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Технологічні процеси ремонту будь-яких складних технічних систем (металорізних верстатів, складного обладнання, літаків, рухомого складу) – є сукупністю дій ремонтного виробництва, в результаті чого відновлюється працездатність складних технічних систем та їх частин.

Технологічні процеси ремонту складних технічних систем повинні включати конструкторську та технологічну підготовку виробництва, яка здійснюється завдяки метрологічному забезпеченню виробництва.

Основною метою метрологічного забезпечення відповідно до вимог ДСТУ 2681-94 є поліпшення якості продукції, підвищення ефективності виробництва, використання матеріальних цінностей,

енергетичних ресурсів та наукових досліджень [1]. Одним з найважливіших напрямків підвищення якості продукції (будь-яких технічних систем) є проведення метрологічної експертизи нормативної, конструкторської та технологічної документації.

Будь-яка продукція повинна відповідати вимогам стандартів та технічних умов, в тому числі після ремонтних операцій. Тому, задача метрологічного забезпечення при проектуванні, виготовленні, ремонті продукції – є складною та актуальною задачею. При технологічній підготовці виробництва не завжди приділяється належна увага призначенню параметрів, що підлягають виміру, вибору засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для контролю й керування технологічними процесами, ефективності використання ЗВТ і ін.

Відсутність на робочих місцях, де параметри технологічних процесів і продукції, що випускається, яка підлягають контролю, необхідних ЗВТ з вини розроблювача технічної документації, недостатня ефективність закладених розроблювачем методів вимірів приводить до випуску продукції з відступом від вимог стандартів і технічних умов.

Попередити ці недоліки й покликане проведення метрологічної експертизи технічної документації на стадії розробки. Під метрологічною експертизою (МЕ) технічної документації розуміються аналіз і оцінка технічних рішень на вибір параметрів виміру, встановленню норм точності й забезпеченню методами й засобами вимірювальної техніки процесів розробки, виготовлення, випробування, експлуатації й ремонту виробів.

МЕ не зводиться до пасивної перевірки документації. Вона є формою участі фахівців у розробці документації. Така участь має дві основні мети: 1) виявлення помилкових або недостатньо обґрунтованих рішень, по метрологічному забезпеченню; 2) надання допомоги розроблювачу технічних систем в пошуку найбільш раціональних рішень. Практика показує, що проведення таких заходів приводить до поліпшення метрологічного забезпечення виробництва й, як наслідок, позитивно позначається на якості продукції, що випускається та ефективності виробництва.

Література

1. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.

Клименко С.А. Институт сверхтвердых
материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев
Полонский Л.Г. Государственный университет
«Житомирская политехника», Житомир
Харламов М.Ю., Харламов Ю.А. Восточноукраинский
национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина
Витязь П.А., Чижик С.А. Президиум НАН Беларуси,
Ивашко В.С. Белорусский национальный
политехнический университет,
Хейфец М.Л. Институт прикладной физики
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ

В современном машиностроении все более широкое применение находят новые конструкционные материалы, разрабатываемые для специальных применений. Однако при этом постоянно увеличивается спрос на защитные и функциональные покрытия деталей машин. Это связано с растущими требованиями к деталям, такими как: – улучшение функциональных характеристик, например, рабочей температуры, при использовании теплозащитных покрытий; – увеличение срока службы деталей за счет использования покрытий, обладающих более высокой стойкостью к изнашиванию, эрозии и коррозии; – увеличение жизненного цикла деталей путем восстановления изношенных поверхностей; – замена основного материала детали на более дешевые или с более приемлемыми физическими и техническими свойствами, например, на легированные сплавы, применяемых как в производстве, так и на стадии лабораторных исследований. Каждый из этих способов обладает определенными преимуществами и ограничениями. Широкими и практически неограниченными возможностями обладают методы газотермического напыления покрытий, охватывающие группу процессов нанесения покрытий путем осаждения на деталь дисперсных материалов в расплавленном, полурасплавленном или твердом состоянии. В качестве материала газотермических покрытий используются металлы, сплавы, оксиды, тугоплавкие соединения, полимеры и их композиции. Это определяет большое разнообразие газотермических покрытий по функциональному назначению.

Основными видами газотермического напыления, применяемыми в промышленности, являются плазменное, газопламенное, детонационно-газовое, электродуговое, высокоскоростное газопламенное и холодное. Несмотря на отличия в используемых источниках энергии, производительности, режимных параметрах и прочем, все они имеют единую физическую природу формирования покрытий.

Обеспечение надлежащего качества и надежности деталей с газотермическими покрытиями следует рассматривать на всех этапах их жизненного цикла. Все операции и их технологические переходы взаимосвязаны, конечные характеристики деталей с покрытиями формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины и ее техническом обслуживании.



Отмеченным вопросам посвящена монография «**Формирование газотермических покрытий при производстве деталей**» / С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Ю. Харламов и др.; под общ. ред. Ю.А. Харламова, М.Л. Хейфеца. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 436.

Рассмотрены особенности технологии подготовки поверхностей деталей под газотермические покрытия, включая требования к геометрии напыляемых деталей, методы очистки деталей, придания шероховатости для обеспечения высокой прочности сцепления покрытий и удаления адсорбатов и конденсатов. Приведен анализ общих представлений о процессе газотермического напыления. Описана сущность процессов газотермического напыления, особенности нагрева частиц порошка и их теплообмена с окружающей средой. Показано, что формирование структуры и свойств газотермических покрытий определяется совокупностью большого числа постоянных и переменных параметров, связанных с характеристиками исходного материала, режимом технологического процесса, составом окружающей среды и пр. Исходный материал в процессе напыления подвергается сложным структурным и химическим превращениям и приобретает в результате этого процесса свойства, не присущие ему в исходном состоянии. Многие свойства покрытий, в том числе триботехнические, определяются специфич-

ческими структурными особенностями напыленных покрытий: наличием межчастичных и межслойных границ, аморфных и метастабильных фаз, размером и характером пористости и др.

Приведена классификация уровней и элементов структуры покрытий, которая может быть использована при моделировании технологических процессов газотермического напыления. Последнее требует разработки комплекса подмоделей для отдельных этапов процесса напыления.

Формирование газотермических покрытий происходит путем наслаивания отдельных напыленных частиц – сплэтов. Их образование является определяющим в формировании покрытий и требует глубокого системного подхода к моделированию взаимодействия напыляемых частиц с основой. Поэтому в книге рассмотрены основные виды и характер взаимодействия частиц с основным материалом детали. Рассмотрены причинно-следственные связи, определяющие формирование показателей качества газотермических покрытий. Большое разнообразие способов напыления, их разновидностей и комбинаций, оборудования, специальных материалов, рабочих газов, технологических процессов напыления и смежных операций, технологических режимов и прочего приводят к широкому разнообразию свойств формируемых покрытий. Процесс формирования покрытий является элементарным актом получения напыленных покрытий, описаны основные методы их исследования – получения отдельных осажденных частиц, их формы и морфологии, температурно-скоростных условий их осаждения, прямого наблюдения их образования и др. Взаимодействие напыляемых частиц с подложкой связано с процессами деформации и затвердевания и, в свою очередь, зависит от таких факторов, как: скорость частиц, размер и фазовый состав при соударении; свойств материалов частиц и основы, в том числе поверхностные; способность смачивания основы жидкими частицами; температура основы; шероховатость основы и др. При образовании сплэтов важную роль играют действующие при ударе давления термический цикл в контакте частица-основа, динамика растекания капель и их последующее затвердевание.

Рассмотрено влияние шероховатости поверхности основы, угла соударения и других факторов на формирование сплэтов.

Окончательное формирование структуры и свойств покрытий происходит на операциях их механической обработки. Механическая обработка деталей с покрытиями сопровождается высокими силами,

температурами в зоні різання, інтенсивним изнашиванням режущого інструмента, при цьому суттєво затруднено формування стану поверхнового шару деталей, забезпечуючого їх підвищену работоспособність в експлуатації. Низька оброблюваність різанням покриттів являється наслідком неоднорідної структури і нестабільних механічних властивостей, великої истираючої здатності карбидних і боридних включень, схильності до адгезії з матеріалом інструмента і ряду інших факторів.

Розглянуті особливості обробки покриттів лезвийним і абразивним інструментом. Застосування перспективних технологій, таких як точення інструментами, оснащеними твердими сплавами і ПСТМ, гібридних технологій – обробки вращаючимся інструментом, з попереднім нагрівом срізаного шару, з накладенням на інструмент високочастотних коливань, дозволяють забезпечити високу продуктивність процесу формування деталей з напыленими робочими поверхностями, досягти значительного підвищення стійкості інструмента, забезпечити необхідну точність деталей і вимогу якості поверхностей, розширити номенклатуру функціональних матеріалів і підвищити довговічність виробів.

Книга присвячена пам'яті академіка НАН України Б.Е. Патона.

Коморова Г.Л., Волошина Л.В., Цап О.І.
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНУ КОМПЛЕКСНОЮ ОБРОБКОЮ

Умови роботи вузлів тертя визначають ряд вимог до їхнього матеріалу: висока міцність при достатньому запасі пластичності, підвищена теплопровідність, досить високий модуль пружності, підвищена зносостійкість і гарна припрацьованість.

У вітчизняному машинобудуванні для деталей подібних вузлів широко застосовують як сірий легований чавун із пластинчастим графітом, так і високоміцний чавун із графітом кулястої форми, що відповідають перерахованим вимогам.

Аналіз відомих методів зміцнення робочої поверхні (азотування, сульфідкування, сульфоцианування та ін.) показує, що вони трудомісткі, тривалі, вимагають застосування дефіцитних і шкідливих хімікатів та складного устаткування. При такій обробці на поверхні чавуну утворюються одношарові покриття, які можуть із успіхом вирішувати лише одне конкретне завдання. Так, наприклад, поверхневі шари, отримані при азотуванні, підвищують зносостійкість, але погано припрацьовуються через високу твердість, що приводить до викрашування азотованого шару в процесі експлуатації. При фосфатуванні поліпшується припрацьовуваність, але не забезпечується необхідної зносостійкості чавуну гарантує чавуну антифрикційні властивості за рахунок утворення м'яких складових типу сульфідів. Але ці шари не можуть тривалий час протистояти високим навантаженням, при яких працюють багато деталей.

У цьому зв'язку для забезпечення надійної безвідмовної роботи чавунних деталей, що працюють в умовах тертя та зношування, необхідно на поверхні одержати такий шар, який одночасно забезпечував би гарну та швидку припрацьовуваність, низький коефіцієнт тертя і мале зношування, мав здатність добре втримувати масляну плівку та протистояти задирам і схоплюванню.

Поверхневий шар з необхідними властивостями може бути отриманий, якщо його формування буде відбуватися в середовищі перегрітої пари водяного розчину водорозчинних солей, зокрема амонію молібденово-кислого.

При підвищеній температурі в контакті з металевою поверхнею відбувається дисоціація розчину та хімічних сполук з утворенням атомарних кисню, сірки, азоту, молібдену.

Елементи адсорбуються поверхнею, збільшують зносостійкість і поліпшують припрацьовуваність. Так як основне робоче середовище – перегріта водяна пара, то і температурний режим цього процесу може бути тим же, що і для парооксидування чавуну: нагрівання до $600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20$, час витримки не повинне бути більш 1 години (за цей час встигає утворитися багатшарове покриття, що містить оксиди, нітриди та сульфідів).

Слід зазначити, що в результаті взаємодії різних факторів графіт у поверхневому шарі змінює свою форму, стаючи кулястим, хоча в матриці він мав пластинчасту форму. При спостереженні в растровому мікроскопі видно, що пластинчасті включення графіту округляються.

ИННОВАЦИОННЫЙ УЧЕБНЫЙ КУРС ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ УКРАИНЫ: РЕЦИКЛИНГ СУДОВ В МИРОВОМ ФЛОТЕ

В настоящее время произошла смена парадигмы научно-технического прогресса в экономически развитых странах Запада и сложилась новая концепция устойчивого развития техносферы Земли вообще и судостроительной/судоремонтной промышленности в частности. В конце прошлого века появилась рециклинговая индустрия как самостоятельный (относительно) вид производства и новая (новейшая) технология общего машиностроения в глобализированной мировой экономике. Мировая судостроительная промышленность ответила на новые вызовы нового времени, разработав и внедрив международный Кодекс по рециклингу судов в 2001 году. Более того, Международная морская организация (ИМО, London) – специализированный орган ООН в сфере морской индустрии в мае 2009 году в Гонконге собрала дипломатическую конференцию стран-участниц и подписала международную конвенцию по рециклингу судов в статусе обязательного для исполнения международного стандарта – HongKong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships, 2009 (HONG KONG SRC 2009). Вступление этой конвенции в силу ожидается в ближайшие годы. В 2013 году в странах Европейского Союза (ЕС) усилиями Европейской Комиссии (ЕК) приняты Правила о рециклинге судов (EU SRR – Ship Recycling Regulation), согласно которым демонтаж судов под флагами стран – членов Евросоюза должен осуществляться только на предприятиях, включенных в соответствующий список. Список утвержден 19 декабря 2016 года. В первую версию списка вошли 18 верфей, располагающихся в Латвии, Литве, Польше, Дании, Бельгии, Нидерландах, Франции, Португалии и Великобритании. Эти предприятия получают исключительное право разделки судов, которые принадлежат странам — членам Евросоюза.

Возникновение «рециклинга судов» в международных документах ИМО заложены «все взаимосвязанные операции (процессы) в течение жизненного цикла судна с момента его постройки до утилизации, включая проектирование, изготовление, эксплуатацию, окончательную швартовку судна к причалу или выброс судна на берег, его раз-

борку (разделку), восстановление (recovery) деталей (элементов судовых конструкций и оборудования, материалов и веществ) с целью их повторного многократного использования и возобновление всех повторяющихся процессов (reprocessing)». Очевидно, что выполнение всех этапов рециклинга под силу только развитым странам – лидерам мирового судоходного бизнеса. Примером тому является Англия (Хортлпул, Тисайд), уже построившая в 2008 году и запустившая в работу судовую рециклинговую верфь (ship recycling yard), где в специальном доке производится безопасная и экологически чистая разборка отслуживших свой срок военных и торговых судов и все другие операции рециклинга. Очевидно и то, что Украина как развивающаяся морская страна не в состоянии конкурировать с мировыми лидерами, но свою нишу в инновационном развитии нового вида производства просто обязана занять. При этом вовсе не обязательно ждать каких-либо решений высших законодательных и исполнительных органов государственной власти. Опережающее развитие – определяющий аргумент конкурентных преимуществ любого бизнеса. Имеющаяся в Украине сырьевая база рециклинга в виде устаревших судов пригодных только к списанию на металлолом уже является достаточным основанием для запуска начального этапа рециклингового производства, потребители продукции которого уже есть и еще найдутся. Конечно, без наличия стартового капитала (инвестора), производственной базы (территории, акватории, доки, складские площадки и помещения, специальное оборудование и др.), энергетических и, главное, человеческих ресурсов высокой квалификации о каком-либо инновационном развитии и новом производстве говорить не приходится. Как и сам рециклинг, основанный в странах Запада на системном и процессном подходах – базовых принципах менеджмента жизненного цикла любого вида продукции, его понимание и внедрение в Украине должно базироваться на этих же принципах. В качестве признанной во всем мире модели реализации этих принципов менеджмента следует принять цикл Шухарта-Деминга: Plan-Do-Check-Act (PDCA) = Планируй – Выполняй – Проверяй - Воздействуй. Начинать в любом случае надо с обучения персонала, разработки технического задания и выполнения научно-исследовательских работ.

Далее в докладе изложены модули и краткое их содержание в программе нового учебного курса для преподавателей морских вузов, а также специалистов-практиков судостроительной, судоремонтной и судоходной отрасли Украины. В общем случае представлены полезные и актуальные знания о процессе рециклинга су-

дов как элемента стабильного развития всей морской индустрии. За основу и в качестве прототипа взят существующий уже английский учебный курс Lloyd's Maritime Academy (Лондон).

Рециклинг судов является актуальной проблемой в глобальной морской индустрии, но для морских отраслей многих стран всё ещё представляется сложным для прохождения лабиринтом непонятного. Учебный курс позволяет получить представление об этом.

Кучук-Яценко С.І., Антіпін Є.В., Дідковський О.В.,
Зяxor І.В. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона, Київ, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ДЮЧИМ СТАНДАРТАМ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ОБ'ЄМНО- ТА ПОВЕРХНЕВО ЗАГАРТОВАНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

У різних галузях промисловості при масовому виготовленні зварних конструкцій застосовується контактне стикове зварювання оплавленням (КСЗО). Зокрема, розроблена в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона (ІЕЗ) технологія КСЗО залізничних рейок на протязі декількох десятиріч успішно використовується в Україні, РФ, ЕС, США, Китаї та інших країнах світу при виготовленні довгомірних рейкових плітей і при їх нероз'ємному з'єднанні на місці укладки залізничних колій [1].

В основу технології КСЗО покладено програмну зміну основних технологічних параметрів з одночасним використанням зворотних зв'язків для регулювання (стабілізації) їх миттєвих значень. В ІЕЗ розроблено і впроваджено на всіх рейкозварювальних комплексах ПАТ «Укрзалізниця» алгоритми і системи контролю якості зварювання, які забезпечують видачу змінного рапорту по кожному із зварних стиків рейок [2]. У результаті багатофакторного керування параметрами процесу КСЗО система автоматичного керування забезпечує виконання вимог для отримання показників якості зварного з'єднання згідно з технічними умовами (ТУ) підприємства АТ «Укрзалізниця» при спорудженні нових залізничних колій здійснюється перехід на використання сучасних рейок високої зносостійкості, зокрема термічно зміцне-

них – об’ємно- та поверхневозагартованих. Використання рейок високої зносостійкості вимагає суттєвого удосконалення технології КСЗО та модернізації зварювального устаткування. При зварюванні, у результаті термічного та деформаційного впливу, змінюється структура і фазовий склад металу зони з’єднання, що обумовлює зниження показників механічних властивостей з’єднань.

Для способів зварювання тиском також характерним є зміна текстури прокату і утворення локальних ділянок із зниженими показниками механічних властивостей або крихких структурних складових, зокрема ділянок з мартенситною структурою. Забезпечити виконання технічних умов на зварні з’єднання можна за умови удосконалення технології зварювання за рахунок керування термічним та деформаційним впливом на метал у зоні з’єднання.

У зв’язку із зростанням вимог до якості зварних рейок у стандарті [4], в якому додатково регламентуються ширина зони термічного впливу (ЗТВ), допустима зміна твердості, відсутність мартенситу у структурі зварних з’єднань та циклічна міцність, виникла необхідність удосконалення технологій КСЗО термічнозміцнених зносостійких рейок марок К76Ф, R260Mn, R350HT. встановлено попередніми дослідженнями, вирішення завдання підвищення механічних властивостей з’єднань при КСЗО термічнозміцнених рейок може бути забезпечено за рахунок дозованого введення енергії та прецизійного керування процесом термомеханічної деформації.

Мета роботи – встановити закономірності формування зварних з’єднань термічнозміцнених рейок, визначити вплив енерговкладення при КСЗО на розподіл показників твердості металу в ЗТВ з’єднань.

Досліджено мікроструктуру основного металу (ОМ) рейок високої зносостійкості марок сталі К76Ф виробництва ПАТ МК «Азовсталь», R260Mn (Huta Katowice (Польща)), R350HT (British Steel French Rail) та їх зварних з’єднань, виконаних КСЗО, проведено порівняльний аналіз механічних характеристик з’єднань в залежності від термодіформувальних циклів КСЗО.

Встановлено наявність у складі ОМ рейок неметалевих включень, що істотно погіршують зварюваність рейкових сталей. Виконано порівняльний аналіз механічних характеристик з’єднань в залежності від термодіформувального циклу КСЗО. Визначено, що в зварних з’єднаннях з шириною ЗТВ в межах 24–35 мм відсутні дефекти по лінії з’єднання та отримані необхідні механічні властивості. В зварних з’єднаннях з шириною ЗТВ менше 20 мм спостеріга-

ються гартівні структури в ЗТВ, які призводять до локальної підвищення твердості вище допустимих значень і можуть призводити до появи дефектів по лінії зварного з'єднання. Встановлено, що при ЗТВ більше 40 мм спостерігається зниження механічних властивостей та зниження показників міцності зварного з'єднання.

У результаті досліджень встановлено вплив енерговкладення у процесі оплавлення на формування зварних з'єднань та визначено оптимальний діапазон зміни технологічних параметрів КСЗО для забезпечення відповідності діючим стандартам показників якості зварних з'єднань термічнозмцнених залізничних рейок. Удосконалено алгоритми управління та контролю процесом КСЗО та визначено перспективу їх практичного застосування на зварювальних комплексах ПАТ «Укрзалізниця».

Література

1. Кучук-Яценко, С.И. Технологии и оборудование контактной сварки рельсов: 60 лет непрерывных инноваций / С.И. Кучук-Яценко // Автомат. сварка. – 2018. – №11–12. – С. 29–45.

2. Kuchuk-Yatsenko, S.I. Real-time operational control information management system for flash-butt welding of rails / S.I. Kuchuk-Yatsenko, A.V. Didkovsky, E.V. Antipin // Mining Inform., Automat. and Electric. Eng. – 2017. – 1 (529). – P. 35–42.

3. ТУ У 24.1-40075815-002:2016. Рейки нові зварені для залізниць. Технічні умови.

4. EN 14587-2:2009 (E) «Railway applications – Track – Flash butt welding of rails - Part 2: New R220, R260, R260Mn and R350HT grade rails by mobile welding machines at sites other than a fixed plant».

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

СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ У НАПРЯМКУ ЗАСТОСУВАННЯ CVD-АЛМАЗІВ У АЛМАЗНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

CVD (Chemical Vapour Deposition) – одна з нових технологій лабораторного отримання алмазних продуктів шляхом хімічного осадження з парової фази. CVD-алмаз виготовляється методом га-

зофазного 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. CVD-алмаз є перспективним матеріалом для виготовлення алмазних інструментів завдяки своїм високим показникам твердості, модулю Юнга та ізотропності. Застосування CVD-алмазу у інструменті нині ще більше поширюється, тому нижче розглянуті сучасні напрацювання по застосуванню CVD-алмазів в інструментах.

Нині в Україні з'являються відомості із застосування нового класу правлячого інструменту з CVD-алмазів [1]. В роботі [2] наведені перші відомості з такої розробки в Україні. Авторами визначені певні особливості виготовлення правлячого інструменту з CVD-алмазу та правки абразивних кругів таким інструментом [2]. Між тим, імпортований інструмент з CVD-алмазу використовується на деяких машинобудівних підприємствах України для правки сучасних абразивних кругів, наприклад, при шліфуванні зубчастих коліс. Тобто розробка технології виготовлення нових правлячих інструментів з CVD-алмазу є актуальною для прецизійної правки абразивних кругів.

Застосування CVD-алмазів у правлячому інструменті пов'язане з тим, що за даними [3] нині при прийнятних витратах можливо забезпечити теплопровідність CVD-алмаза в межах $\lambda=1000-1200$ Вт/(м·К) (для природного алмаза її значення складає $\lambda=900-2300$ Вт/(м·К)) [4]. Такі алмази практично не містять домішки. Як відомо [5], колір зразків CVD-алмаза визначається мірою їх чистоти і структурної довершеності, що залежать від умов отримання. Для правлячого інструменту можуть бути застосовані монокристалічні CVD-алмази (однокристалний інструмент), або полікристалічні CVD-алмази (багатокристалний інструмент).

На сайті <http://www.intech-diamond.com/cvd-almaz.html> наведені відомості про нові полікристалічні алмазні матеріали CVDITE. Це серія CVD-алмазних продуктів, спеціально розроблених для застосування у різальних інструментах і виробках, що піддаються тертю. Дана серія була розроблена у додаток до існуючих серій Syndite та Monodite (табл. 1).

CVDRESS це окрема марка CVD-алмазів, спеціально розроблена для правки шліфувальних кругів. Постачаються переважно у вигляді стрижнів (діаметрами від 0,4 до 0,8 мм та довжиною від 2 до 5 м). CVD-алмазні стрижні можуть кріпитися до корпусу інструме-

нта за допомогою активного твердого припою в неокислювальному середовищі. Застосовуючи технологію шліфування CVD-алмазів, інструментам можливо придати необхідну форму.

Таблиця 1 – Порівняння властивостей CVDITE, Monodite та SYNDITE

Властивість	CVDITE	Monodite	Syndite
Густина, 10^3 кг/м ³	3,52	3,52	4,12
Твердість, ГПа	85–100	50–100	50
Міцність на руйнування, МПа/м ²	5,5-8,5	3,4	8,81
Модуль Юнга, ГПа	1000–1100	1000–1100	776
Коефіцієнт Пуасона	0,07	0,07	0,07
Межа міцності під час розтягу, МПа	450–1100	1050–3000 різна орієнтація	1260
Поперечна міцність на розрив, ГПа	1,3	2,9	1,2
Міцність на стиск, ГПа	9,0	9,0	7,60
Теплопровідність при 20 °С, Вт/(м·К)	500–2200	600–2200	560
Теплопровідність при 200 °С, Вт/(м·К)	500–1100	600–1100	200
Термічна дифузія, см ² /с	2,8–11,6	5,5–11,6	2,7
Коефіцієнт теплового розширення при 300 К	1,21	1,21	4,2
500 К	3,84	3,84	–
1000 К	4,45	4,45	6,3

У глобальному звіті «CVD Diamond Market» (<https://www.industryresearch.co/enquiry/request-sample/16690639>) показано, що 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. Наведене вище вказує на те, що ринок CVD-алмазів буде істотно зростати протягом наступних років, а CVD-алмази розділяються на три основних групи: монокристалічні, алмазні покриття та полікристалічні. **Монокристалічний CVD-алмаз** тепер доступний для різних областей застосування від електроніки до різальних інструментів. CVD метод дозволяє мати точний контроль щільності точкових де-

фектів у зростаючому кристалі та, як наслідок, отримувати високу чистоту алмазу, легованого бором [6].

В роботі [7] проведено вимірювання твердості та в'язкості для алмазу, легованого бором (рис. 1). Без легування бором монокристалічний CVD-алмаз, вирощений в суміші $\text{H}_2/\text{CH}_4/\text{N}_2$, має досить високу в'язкість руйнування $15,2 \pm 4,8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, порівняно з $8 \pm 4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для природного Ia, Pa та кольорового CVD монокристалічного алмазу, вирощеного без додавання N_2 до вихідного газу, та $10 \pm 2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для синтетичного жовтого алмазу Ib. В'язкості руйнування монокристалічного CVD-алмазу, легованого бором, складають від 22 до 34 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Тобто, легування бором монокристалічного CVD-алмазу може до 2 раз збільшити в'язкість, не погіршуючи твердість – $78 \pm 12 \text{ ГПа}$.

За даними Diamond Coatings Market by Technology обсяг ринку CVD-алмазних покриттів до 2022 року прогнозується на рівні 2,56 млрд. доларів США при середньорічному темпі зростання у 7,8% (<https://www.market-sandmarkets.com/Market-Reports/diamond-coating-market-255400901.html>).

Пластини *полікристалічного CVD-алмазу* діаметром до 100 мм в роботі [8] синтезувалися у плазмово-хімічному реакторі на основі НВЧ розряду. Фізико-механічні характеристики такого CVD-алмаза при 300 К: твердість за Кнупом – 30–110 ГПа, теплопровідність – 600–2100 Вт/(м·К), питомий електроопір – 10^9 – 10^{14} Ом·см, модуль Юнга – 900–1100 ГПа, міцність на злом – 400–1200 МПа, швидкість звуку – 17,5–18,0 км/с. Полікристалічні алмазні пластини після синтезу мають на поверхні низку хаотично орієнтованих кристалітів розмірами біля 20 мкм і необхідною є їх наступна обробка.

Враховуючи наведене, розглянемо далі питання особливостей ефективної абразивної обробки CVD-алмазів.

Особливості алмазної обробки ПАП (полікристалічних алмазних пластин) були розглянуті в роботі [9]. Мікрошліфування ПАП виконувалося алмазними кругами форми 12A2-45° діаметром 250 мм із зернистістю алмазів 7/5 на полімерній зв'язці та із зернистістю 20/14 на керамічній зв'язці. Встановлено, що при подачах на врізання 0,030–0,005 мкм мінімальна шорсткість по Ra склала 2,4 нм. Враховуючи, що значну частку контакту круга з поверхнею ПАП займає зв'язка, від властивостей якої залежать сила різання і температура в зоні обробки, використовували зв'язки з меншим коефіцієнтом тертя і максимальною теплопровідністю, щоби зменшити потік теплової енергії в ПАП. Механохімічне полірування із за-

стосуванням окислювача складу KMnO_4 дозволяє отримувати R_a до 20 нм [9]. Недоліком при механічному поліруванні ПАП (які є ізотропними і там немає «м'якого» напрямку) на чавунному диску є різке зменшення швидкості зйому при розмірах оброблюваної ПАП більшу за 10 мм. Шорсткість по R_a тут може бути знижена до 30 нм. При використанні чавунного диску застосовували алмази АСМ 28/20. Типова шорсткість поверхні, виміряна на достатньо великій площі, що вміщує багато кристалітів, складає при такій обробці 7–15 нм. Цікаво, що межах окремого кристаліту з розміром біля 100 мкм величина R_a склала менше 1 нм (мінімальне R_a 0,18 нм) незалежно від його орієнтації [9].

В роботі [10] також досліджені особливості полірування алмазу. Встановлено, що товщина зйому алмазу, спочатку збільшується нелінійно на стадії припрацювання, а потім лінійно на наступній стадії стабільного зносу. Для розрахунків розроблена модель, яка враховує аморфізацію вуглецю алмаза та товщину зйому. Збільшення швидкості контактування підвищує швидкість аморфізації алмазу вуглецю і частоту дряпання алмазними зернами.

В статті [11] описане дослідження високошвидкісної обробки (300 м/с) CVD-алмазних покриттів алмазними (зернистістю 70/80 меш, природними і синтетичними) частинками. Встановлено, що у покриттях при взаємодії із алмазними частинками утворюються радіальні і бокові тріщини і матеріал видаляється після перетину цих тріщин. Показано, що синтетичний алмаз продемонстрував більшу ефективність у руйнуванні CVD-алмазного покриття.

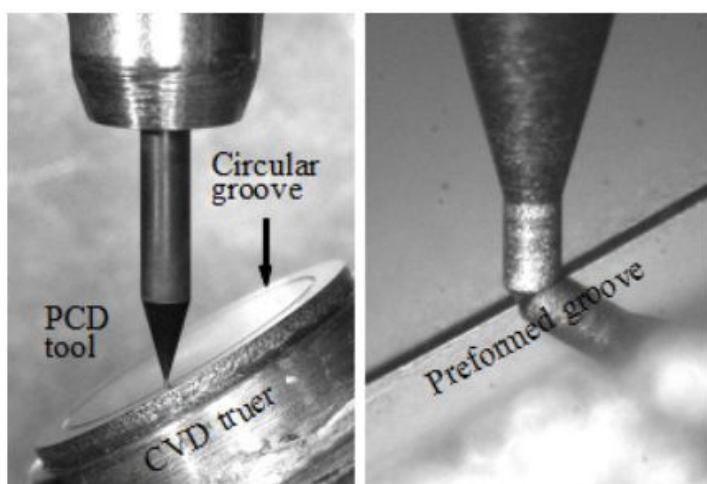


Рис. 1– Процедура шліфування, що включає контакт між інструментом PCD та попередньо сформованою канавкою в CVD-алмазному крузі [12]

Ще одним варіантом шліфувального круга є круг на основі CVD-алмазу, який може бути застосований для ефективної обробки PCD інструменту [12]. Відсутність зв'язуючого і малий рівень домішок у кристалах приводить до того, що CVD-алмаз є більш абразивним за звичайний PCD. На рис. 1 показано CVD-алмазний диск діаметром 15 мм для мікрошліфування PCD ін-

струменту, з розміром алмазних зерен від 40 до 50 мкм. На диску є напрямна напівсферична канавка із зворотним профілем (шорсткість поверхні вздовж периферійного напрямку $Rz\ 0,5$), яка утворювалася на диску методом лазерної обробки та притирання (рис. 1).

З CVD-алмазного шару можливо виготовити невеликі абразивні олівці (корпус твердосплавні стрижні). Найменший CVD-алмазний абразивний олівець мав діаметр 50 мкм (рис. 2). Абразивний олівець показав хорошу ефективність при шліфуванні кремнієвих канавок для мікроемеханіки [13].

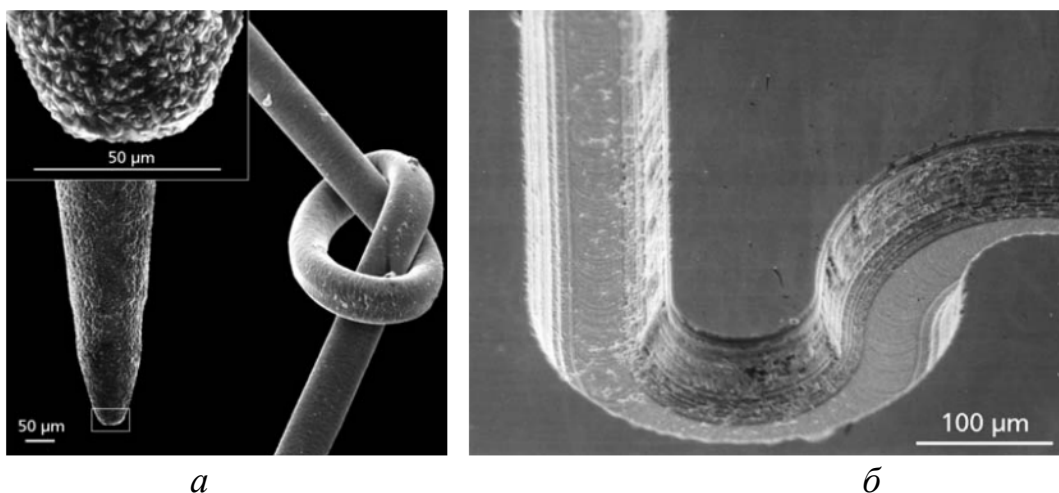


Рис. 2 – CVD-алмазний абразивний олівець, діаметр кінчика 50 мкм:
а – наконечник інструменту з деталями та людським волоссям як порівняння розміру, *б* – паз, шліфований у кремнії [13]

Вище нами було показано, як можливо застосовувати CVD-алмази для шліфування полікристалічних алмазів. В роботі [14] проведений теоретичний аналіз процесів обробки РСД-алмаза алмазними мікропорошками з покриттям, який засвідчив, що таке покриття повинно відповідати наступним вимогам: прискорити процес графітизації поверхні оброблюваного алмазу, зменшити роботу руйнування CVD-алмазу та захистити його від графітизації. Покриття з металів підвищують міцність алмаза з-за впливу пластичності металу, що є у складі покриття. У якості металу, що інгібує графітизацію алмазних мікропорошків, був вибраний кремній, який утворює з вуглецем міцний у термодинамічному відношенні карбід кремнію, а з киснем – міцний оксид. Наприклад, присутність карбиду кремнію і незначної кількості нікеля і олова на міжфазній межі алмаз-покриття оберігає його від графітизації [14].

Підсумуємо наведене вище. Для абразивного застосування краще застосовувати монокристалічні CVD-алмази, леговані бором,

які мають найвищі твердість і абразивність. Разом з тим, полікристалічні CVD-алмази мають найвищий модуль пружності. Вивчення особливостей абразивної обробки CVD-алмазів засвідчило наступне. Зв'язуюче алмазних кругів повинно бути з максимальною антифрикційністю та теплопровідністю. Синтетичні алмази є більш ефективними в кругах, аніж природні. При обробці необхідно прискорювати процес графітизації оброблюваного алмазу (лазерний, плазмовий, тепловий впливи) і, разом з тим, зменшувати знос алмазів в крузі та захищати їх від графітизації, наприклад, застосуванням покриття алмазів в крузі.

Література

1. Пыжов, И.Н. Некоторые подходы к повышению ресурса работы алмазных карандашей / И.Н. Пыжов, В.А. Федорович, Н.В. Рязанова-Хитровская Н.В. и др. // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2014. – Вып. 9. – С. 134–141.

2. Пащенко, Є.О. Виготовлення правлячих роликів з CVD-алмазу / Є.О. Пащенко, С.В. Рябченко, С.А. Кухаренко // Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Мат. 20-го Международ. науч.-техн. семинара, 23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси. – К. : АТМ України, 2020. – С. 133–135 Sen., P.K. Synthetische Diamant-Abriechrohlinge für den zukünftigen Industriebedarf // P.K. Sen // http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm.

4. Uhlmann, E. Leistungsfähigere Zerspanprozesse durch die wärmespreizende Wirkung von CVD-Diamant / E. Uhlmann, E. Wörner, M. Brücher // http://www.idronline.com/german/pages/archive/2002_2/07_art/art07_2_02.htm.

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

6. Spits, Ray. Review of recent large single crystal HPHT & CVD diamond synthesis developments / Ray Spits // www.diamondatwork.com – 2nd Internat. Industr. Diamond Conf. : 19–20 April, 2007, Rome, Italy.

7. Liang, Q. Development in synthesis, characterization, and application of large, high-quality CVD single crystal diamond / Q. Liang, Y.F. Meng, C.-S. Yan at all // Сверхтв. мат. – 2013. – № 4. – С. 3–25.

8. Ральченко, В.Г. Условия синтеза, абразивная и лазерная обработка поликристаллического CVD-алмаза / В.Г. Ральченко, Е.Е. Ашкинази // Інструмент. світ. – 2005. – № 3. – С. 14–18.

9. Meng? D. Thermal stability of ultrahard polycrystalline diamond composite materials / D. Meng, W. Yue, F. Lin et al. // Сверхтв. мат. – 2015. – № 2. – С. 3–10.

10. Yang, Ning. Wear process of single crystal diamond affected by sliding velocity and contact pressure in mechanical polishing / Ning Yang, Wenjun Zong, Zengqiang Li, Tao Sun // Diamond and Related Materials. – 2015. – V. 58. – P. 46–53.

11. Wheeler, D.W. High velocity erosion of CVD diamond coatings by diamond particles / D.W. Wheeler, R.J.K. Wood // Diamond and Related Materials. – 2018. – V. 84. – P. 32–40.

12. Semba, Takuya. Reactive ion etching of microgrinding tool made of polycrystalline diamond / Takuya Semba, Yoshifumi Amamoto, Hirokazu Fujiyama // The 6th Internat. Conf. of Asian Soc. for Precis. Eng. and Nanotechnol.(ASPEN2015), 15–20 August 2015, Harbin, China.

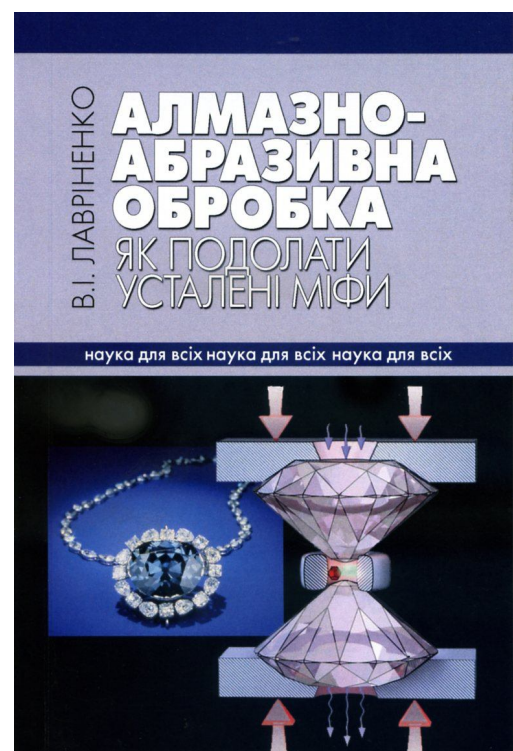
13. Gäbler J. CVD diamond layers with a controlled roughness enable high-precision and micro grinding tools // J. Gäbler, S. Pleger, L. Schäfer // www.diamondatwork.com – 2nd Internat. Industr. Diamond Conf., 19–20 April, 2007, Rome, Italy.

14. Ножкина, А.В. Механическая обработка алмазных монокристаллов алмазными порошками с покрытием / А.В. Ножкина, В.И. Костиков, В.Г. Ральченко и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2018. – вып. 21. – С. 315–324.

Користуючись нагодою звертаємо увагу на нову книгу, яка вийшла в рамках проекту НАН України «Наука для всіх» якраз до 60-ти річчя Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України:

Лавріненко В.І. Алмазно-абразивна обробка: як подолати усталені міфи / Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. – К.: Академперіодика, 2021. – 366 с.

В книзі викладено відомості про низку усталених міфів та хибних припущень, що склалися за останні 50 років, в наукових та практичних дослідженнях процесів алмазно-абразивної обробки при застосуванні найтвердіших матеріалів (алмазів і кубічного нітриду бора). Показані шляхи подо-



лання таких міфів, що дозволить підвищити ефективність процесів обробки та більш реально будувати теоретичні засади подальшої розробки нових процесів із застосуванням інструментів з надтвердих матеріалів. Розкрито сучасні уявлення про процеси обробки абразивними інструментами з надтвердих матеріалів, особливості їх ефективного застосування на прикладі розробок установ Національної академії наук України.

Книгу призначено допитливим школярам, студентам, аспірантам, інженерно-технічним працівникам, яких цікавить правильне та ефективне використання надтвердих абразивів для обробки різноманітних матеріалів у побуті та виробничих умовах.

Лавріненко В.І. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Проц Л.А. Ужгородський національний
університет, Ужгород, Україна

ДО ПИТАННЯ АНАЛІЗУ НАЯВНИХ ДАНИХ ТА ОЦІНКИ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Питанням енергоефективності процесів механічної обробки приділяється увага вже протягом останніх 50 років [1–8]. Пов'язане це з тим, що у порівнянні із іншими галузями промисловості металургія і машинобудування вирізняються високим рівнем енергоемності продукції. Питома частка енергетичної складової у собівартості машинобудівних виробів раніше не перевищувала 5–7% [1], а за останні десятиріччя вона збільшилася до 18–25% [1] і має тенденцію до подальшого зростання. Тобто, енергоемність є важливим елементом оцінки ефективності процесу обробки. Саме тому, метою даної роботи і був аналіз оцінки та наявних у літературі показників енергетичних витрат процесів обробки, і визначення узгоджених даних з цих показників.

Енергія у абразивному процесі – енергія, що витрачається при шліфуванні, і складається з трьох компонентів [6]: енергії на утворення стружки, енергії на пластичне деформування матеріалу без відділення стружки та енергії, що обумовлюється тертям між площадками зносу на абразивних зернах та обробній поверхні. При шліфуванні чорних металів мінімальна питома енергія складає 124–155 кДж/см³ незалежно від виду сталі. В той же час, енергія, що є необхідною для розплавлення одиниці об'єму сталі з твердого стану

при 25 °С складає лише 75% від мінімальної, вимірної питомої енергії шліфування. Зроблено припущення, що енергія різання матеріалу під час стружкоутворення наближається до енергії, необхідної для плавлення металу, а надлишкова (на 25%) величина витраченої енергії шліфування витрачається на тертя між стружкою та шліфувальним кругом [6]. Така велика енергія зрушення для утворення стружки викликана великими від'ємними передніми кутами на абразивних зернах. Звернемо увагу на головну думку, висловлену авторами у даній роботі, яка є на наш погляд, слушною і цікавою для подальшого розгляду. Автори вказують на зв'язок між енергією шліфування і енергією, необхідною для плавлення обробного матеріалу і навіть вказують, що для широкого діапазону металів мінімальна питома енергія подрібнення може навіть бути дещо більшою, аніж енергія, необхідна для плавлення одиниці об'єму матеріалу.

Енергоємність процесів руйнування і деформації автор роботи [5] визначає питомою роботою, що витрачається на них, тобто відношенню роботи руйнування до об'єму зруйнованого матеріалу. В [5] наведені значення питомої роботи руйнування для деяких матеріалів, які надалі будуть нам цікаві. Для твердого сплаву ця величина склала (2000 HV) – 72 Дж/мм³, для загартованої сталі 45 (580 HV) – 53,6 Дж/мм³. Для твердих і крихких матеріалів питома робота ще нижче. Так, у корунду (2300 HV) – 22 Дж/мм³.

Енергоємність автори [3] визначають як роботу різання (A), що витрачається на знімання об'єму оброблюваного матеріалу (V), тобто: $E = A/V$. Тут $A = N \cdot \tau$, а $V = Q \cdot \tau$ (де N – потужність обробки, τ – час, Q – продуктивність). Тоді $\Delta E = N/Q$ (розмірність Дж/м³). Автори [3] також звертають увагу на енергію, необхідну для плавлення обробного матеріалу, але висновок у них є іншим, аніж у авторів роботи [6]: при механічній обробці руйнування відбувається окремими частинами (стружкою), аніж коли розплавляється весь матеріал, тому останнє вимагає більших витрат енергії. Крім іншого, в роботі є дані по енергоємності різних обробок: точіння – 2 кДж/см³, фрезерування – 9 кДж/см³, шліфування – 60 кДж/см³, електроіскрова обробка – 3000 кДж/см³.

В статті [1] питома енергоємність процесу різання (синоніми, що зустрічаються – «питома робота різання», «питомі енерговитрати різання», «густина роботи різання») чисельно характеризує кількість енергії, що витрачається різальним інструментом на відділення у вигляді стружки одиниці об'єму шару, що зрізається, (чорнові стадії обробки), або на утворення одиниці площі нової поверхні де-

талі (чистові стадії обробки). Крім того автор [1] вказує на те, що чим меншою є величина питомої енергоємності при забезпеченні необхідних результатів обробки (продуктивність, стійкість інструменту, якість обробки), тим процес різання більш ефективний. У зв'язку із цим, звернемо увагу, що в жодній формулі питомої енергоємності немає величини стійкості інструменту. Автор роботи [1] намагався вирішити це протиріччя через висунутий ним «енергетичний ККД процесу різання». Але тут цікавим є інший висновок автора [1], який вказує на те, що корисна енергетична складова для кінцевої обробки (а це саме шліфування) має трактування як питома теплота плавлення.

Автори [4] визначають енергоємність обробки як відношення роботи різання до об'єму знятого матеріалу і, як наслідок, до відношення потужності обробки до її продуктивності. Далі автори [4] зводять енергоємність обробки до величини умовного напруження різання. Виякнизі [2] є конкретні цифри питомої теплоємності видів обробки (табл. 1). Цікавим тут є те, як викладається для різних видів обробки фізичний процес, який їх характеризує (див. таблицю). Як бачимо, процес абразивної обробки (шліфування) автор [2] трактує як фізичний процес плавлення. Тобто і тут ми бачимо певну аналогію питомої енергоємності обробки, як питому теплоємність плавлення.

Таблиця 1 – Питома теплоємність видів обробки [2]

Вид обробки	Фізичний процес	Питома енергоємність, кДж/см ³
Точіння	Пластична деформація	1–10
Фрезерування		
Абразивна різка	Плавлення	10–30
Чорнове шліфування		20–60
Чистове шліфування		60–200
Електроерозійна	Випаровування	100–1000
Електрохімічна	Іонізація	500–2000

Автор роботи [7] детально розібрав обидва поняття – питому енергоємність (E), що є відношенням роботи, що витрачається на знімання маси матеріалу, та питому роботу ($A_{\text{пит}}$), яка є відношенням роботи, яка витрачається на знімання об'єму матеріалу. Для одного матеріалу обидва критерії будуть однаково характеризувати енергетичні витрати. Разом з тим, при визначенні оброблюваності

різних матеріалів застосування критерію $A_{\text{пит}}$ може спотворити ці витрати. Так, безвольфрамові тверді сплави гірше піддаються обробці, аніж вольфрамові. Продуктивність тут менша. А відтак питома енергоємність буде вищою. Однак, враховуючи, що густина безвольфрамового сплаву є майже у 2 рази меншою за вольфрамові, то питома робота при шліфуванні першого може виявитися нижчою. Відтак, автор [7] робить висновок, що при порівнянні енергетичних характеристик процесу шліфування більш доцільним є застосування показника питомої енергоємності із розмірністю Дж/кг.

Автор [8] також користується для визначення питомої енергоємності обробки через питому роботу шліфування, як відношення потужності до продуктивності шліфування і дорівнює її до умовного напруження різання. Значення питомої енергоємності автор [8] не наводить, але є значення умовного напруження, через які ми і оцінемо енергоємність. Для лезової обробки вона склала 1–7 кДж/см³, для мікрорізання 2–10 кДж/см³, для шліфування – від 10 кДж/см³. Разом з тим, слід звернути увагу і на такий висновок автора [8] як «...продуктивність обробки можна збільшувати лише в межах збільшення температури різання до температури плавлення оброблюваного матеріалу».

Підіб'ємо проміжні підсумки. У нас є низка даних по питомій енергоємності. Десь вони співпадають, десь істотно різняться. Як оцінити їх притомність? Скористаємося для цього отим припущенням, яке зустрічається у низки дослідників, а саме про питому теплоту плавлення. Одні вказують, що питома енергоємність процесу абразивної обробки повинна бути нижче за теплоту плавлення [3, 8], інші – що вище [6], і такі, що їй відповідає [1, 2]. Тепер зведемо усі наявні вище дані до однієї розмірності – кДж/см³. В роботі [6] питома енергоємність шліфування склала 124–155 кДж/см³. В роботі [5] питома робота руйнування сталі складає 56,4 кДж/см³, твердого сплаву – 72 кДж/см³, а корунду – 22 кДж/см³. В роботі [3] питома енергоємність шліфування – 60 кДж/см³. В роботі [2] питома теплоємність шліфування 20–200 кДж/см³, а питома робота шліфування – 55–70 кДж/см³. Як бачимо, в усіх випадках дані з невеликим розкидом співпадають, а діапазон 20–200 кДж/см³ з роботи [2] для оцінки питомої енергоємності шліфування можливо визнати за такий, який вміщує усі наявні дані.

А тепер додатково застосуємо експериментальні дані. Для цього скористаємося даними по шліфуванню сталі Р6М5 які є у достатньому вигляді у книзі [9]. Як нами вже було вказано вище, під пи-

томою енергоємністю шліфування розуміють відношення $\Delta E = N/Q$. З книги [9] ми знаємо, що при шліфуванні сталі Р6М5 при шліфуванні з продуктивністю (Q) 400 мм³/хв. показник потужності (N) склав 0,4 кВт. Тоді $\Delta E = 60$ кДж/см³. При $Q = 1000$ мм³/хв. та $N = 1,4$ кВт, $\Delta E = 84$ кДж/см³, а при $Q = 2000$ мм³/хв. та $N = 2,0$ кВт, а $\Delta E = 60$ кДж/см³. Як бачимо і ці, вже експериментальні дані, фактично збігаються із переважною більшістю інших дослідників. Здавалося б це питання з'ясоване і може бути закритим. Але – є одне ні. Ота сама питома теплота плавлення.

З низки інструментальних матеріалів зупинимося на більш-менш однорідному матеріалу, а саме – сталі. Питома теплота плавлення сталі складає 84 кДж/кг. У сталі при плавленні це складає 639,6 Дж/см³, або 0,64 кДж/см³. Тобто, питома енергоємність шліфування сталі – 60 кДж/см³. А питома теплота плавлення сталі – 0,64 кДж/см³. А відтак, при шліфуванні в сталь закачується в 100 разів більше тепла, аніж це треба для її розплавлення. Джерело [6] допускає можливість такого перевищення, але лише на 25%, а не в 100 разів. А джерела [1–3, 8] вказують на те, що питома теплоємність шліфування не повинна перевищувати теплоту плавлення і навіть бути нижче. Тобто наявне протиріччя. Прічемуємо викладене вище. Розрахунок питомої енергоємності шліфування за традиційним показником по відношенню ефективної потужності шліфування до продуктивності обробки не зовсім відповідає реальним енергоємностям процесу алмазно-абразивної обробки і перевищує теплоємність плавлення оброблюваного матеріалу від 10 до 100 разів. Для пошуку шляхів вирішення цього протиріччя логічно звернутися до одного з висновків роботи [1], на що ми вказували вище, а саме треба досягати мінімальної величини питомої енергоємності обробки при забезпеченні необхідних результатів обробки (продуктивність, стійкість інструменту, якість обробки). На наш погляд при шліфуванні кругами з надтвердих матеріалів (НТМ) це має принципове значення, адже якщо круг зношується дуже швидко, то це означає, що питома енергоємність шліфування зазвичай буде підвищеною і навпаки. На це свого часу звертали увагу і автори роботи [10], коли до складу коефіцієнту працездатності алмазних і кубонітових кругів нарівні із іншими вводили і показник відносних витрат зерен НТМ. Тобто, на наш погляд, більш вірним є оцінювати питому енергоємність алмазно-абразивної обробки кругами з НТМ через додаткове врахування зношуваності при цьому робочого шару круга.

Література

1. Карпов, А.В. К вопросу снижения энергоемкости технологических процессов обработки резанием / А.В. Карпов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 2–10.
2. Кузнецов, А.П. Тепловые процессы в металлорежущих станках / А.П. Кузнецов. – М. : Техносфера, 2019. – 488 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / под общей ред. Ф.В. Новикова, А.В. Якимова. В 10 т. – Т. 3. Резание материалов лезвийными инструментами. – Одесса : ОНПУ, 2003. – 546 с.
4. Рябенков, И.А. Теоретические исследования энергоемкости механической обработки и определение условий ее уменьшения / И.А. Рябенков, Ф.В. Новиков.– Вісник НТУ «ХП».– 2014.– № 44.– С. 145–150.
5. Сагарда, А.А. К анализу износа и энергетических затрат при абразивной обработке металлов / А.А. Сагарда // Сверхтв. мат. – 1987. – № 1. – С. 51–54.
6. Malkin, S. Minimum energy in abrasive processes / S. Malkin, N. Joseph // Wear. – 1975. – 32. – P. 15–23.
7. Узунян М.Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М.Д. Узунян. – Харків : НТУ «ХП», 2003. – 359 с.
8. Полянський, В.І. Основи забезпечення якості та зниження трудомісткості механічної обробки складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості / В.І. Полянський // Автореф. дис...д.т.н. – Харків : НТУ «ХП», 2021. – 40 с.
9. Лавриненко В.И. Электрошлифование инструментальных материалов / В.И. Лавриненко. – К. : Наук. думка, 1993. – 152 с.
10. Кацнельсон, М.Д.. Коэффициент работоспособности алмазных и кубонитовых кругов / М.Д. Кацнельсон, А.И. Лурье // Сб. науч. тр. ПШИ «Алмазно-абразивная обработка».– 1974. – № 149. – С. 90–93.

*Лавров О.С., Голякевич А.А. ТОВ «ТМ.Велтек», Київ,
Лавров С.М. (ФОП), Дніпро, Україна*

ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОЗБРОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» постійно займається технічним переозброєнням виробництва, яке, в свою чергу, і дозволило суттєво зменшити вплив виробництва на екологію.

Шляхи зменшення впливу негативних екологічних показників і покращення умов праці:

1. Технічне переозброєння виробництва і модернізація, вдосконалення технології виробництва:

- модернізовані лінії виробництва порошкових дротів шляхом встановлення на нього сучасного, високоякісного імпортного обладнання і виготовлене нове обладнання для нанесення мастила і очищення дроту від залишкового мастила (розробка ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»);
- встановлено сучасне намотувальне обладнання фірми Gimax Italy, що дозволяє намотувати рядно дріт на касетні барабани і в бочки;
- встановлено сучасне обладнання для укрупнення металеві стрічки (розробка ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»);
- реконструйовано вузли дозування шихти і формування стрічки (формування і дозування – розробка ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»).

2. Технологічне переозброєння – покращення технологічного процесу за рахунок використання молотих матеріалів з певною фракцією, а також використання різаної і укрупненої стрічки.

3. Спеціалізовані заходи – спроектована і встановлена нова вентиляція.

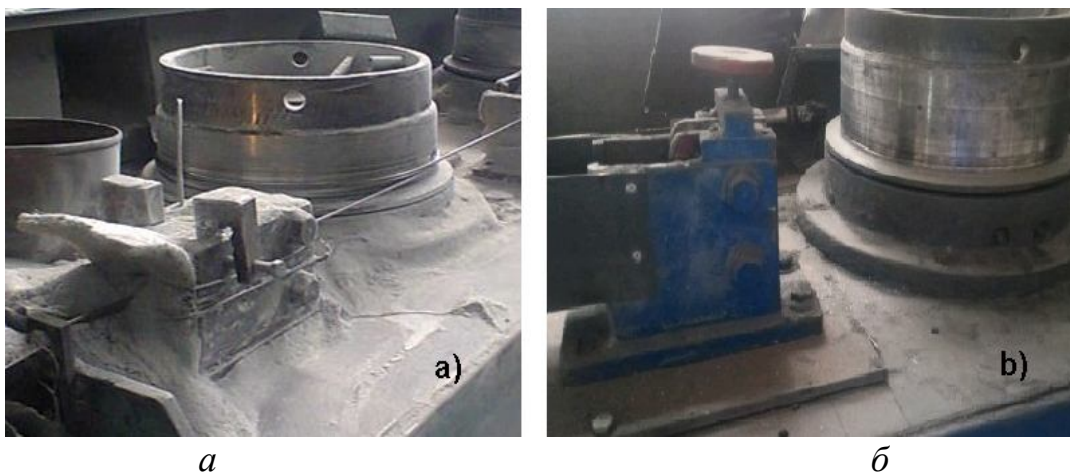


Рис. 1 – Фото зменшення кількості мастила при виготовленні дроту: до технічного переозброєння (а) та після (б)

Висновки:

Технічне переозброєння виробництва і модернізація і постійний розвиток системи менеджменту якості ISO 9001:2015 дозволили покращити екологічні показники на виробництві і покращити умови праці для робітників:

- зменшено тверді відходи підприємства до 14 разів;
- зменшена ГДК, значно зменшена запиленість на виробництві;
- покращена якість порошкових дротів (зварювальні характеристики та інші);
- збільшена продуктивність ліній до 50%.

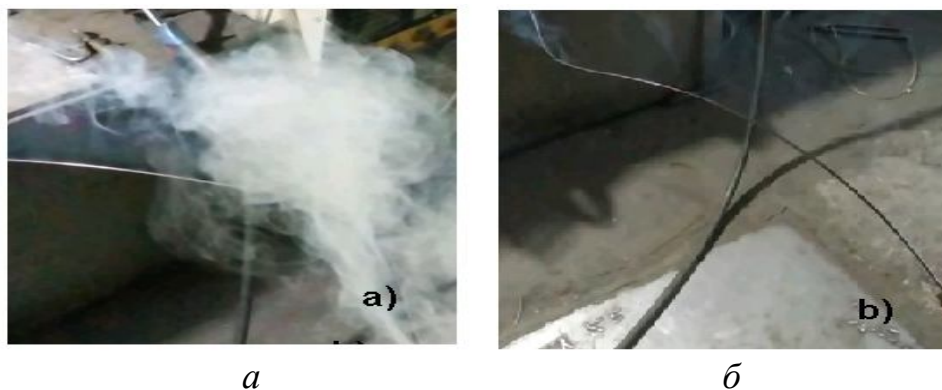


Рис. 2 – Фото мастила на дроті: *а* – до технічного переозброєння та *б* – після

Таблиця 1 – Основні параметри до і після технічного переозброєння

Параметри	Проведення технічного переозброєння і модернізації	
	до	після
Відходи мастила – витрати мастила на виготовлення 1 т порошкового дроту, кг/т (в залежності від марки і Ø)	≥5,0	~0,5
Кількості мастила на поверхні порошкового дроту, кг/т (в залежності від марки і Ø)	0,4–1,0	0,1–0,3
Зменшено до min використання фтор-складних матеріалів в газо-шлаковій системі	max	min
Продуктивність, т (в залежності від марки і Ø)	≥1,0 за 8 годин	≥1,5 за 8 годин
Відходи стрічки і дроту (обривність при виготовленні дроту)	≥5%	≥1,5%
Очищення різаної і укрупненої стрічки	≥10 кг чистячих матеріалів	≥0,2 кг/т чистячих матеріалів
Використання різаної і укрупненої стрічки	Відходи при різанні стрічки ≥7%. Обривність 10%	Відходів на різку немає, Обривність ≥1%
Тверді відходи (утилізація), т на рік	≥20	≥1,5

Лебедев В.Г., Николаєва Т.В., Чумаченко Т.В.,
Омельченко Є.І. Державний університет
«Одеська політехніка», Одеса, Україна

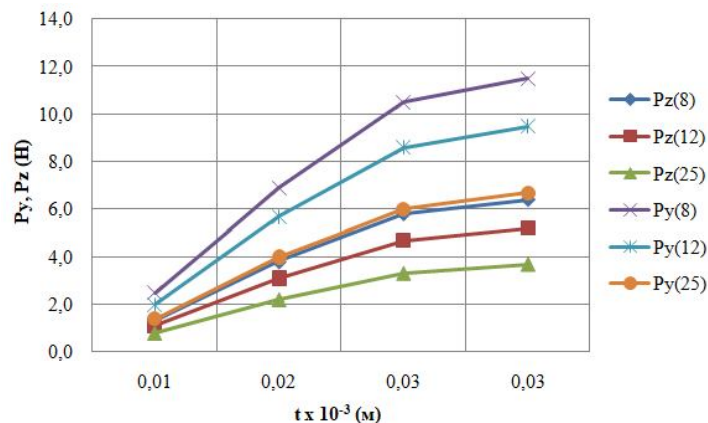
ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ЕЛЕКТРОКОРУНДОМ, КРУГОМ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ТА СИНТЕТИЧНИМ АЛМАЗОМ

Сьогодні, в повному обсязі, навіть великі потужні підприємства не мають технічних можливостей для операцій, пов'язаних з обробкою титану. В основному заготовки з титану частіше піддаються висадці, обточуванню, свердлінню, фрезеруванню кромки, штампуванню, гнуттю та іншими операціями. Такі операції як точіння, а також шліфувальні роботи вимагають спеціального обладнання та умов [1–2]. Але недостатньо вивчений вплив сил різання під час шліфування титанових поверхонь, обмежує їх подальше практичне застосування [3–4]. Через це існує актуальна на сьогодні задача – дослідження сил різання при шліфуванні деталей із титану електрокорундом, кругом з кубічного нітриду бору та синтетичним алмазом.

Експерименти проводились на сплаві ВТ8 з використанням абразивних шліфувальних кругів з електрокорунду марок 25А8 СМ1К, 25А12 СМ1К, 25А25СМ1К; а також кругів з кубічного нітриду бору марок ЛО 80/60С10 100%, ЛО 120/100 С10 100%, ЛО 250/200С 10 100%; синтетичного алмазу – АСО80/60С10 100%, АСО120/100С10 100%, АСО250/200С10 100%. Дослідження проводились з використанням методики планованого експерименту. Сили різання вимірювались за допомогою динамометра УДМ 50.

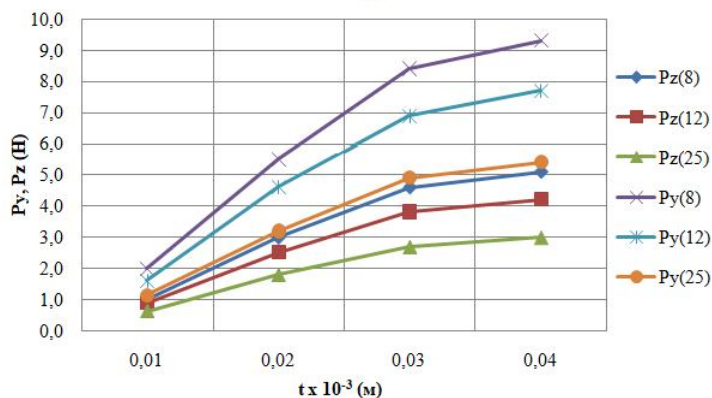
В результаті проведених експериментів (рис. 1), встановлено, що сили різання P_y і P_z в широті допустимих режимів можуть досягати наступних значень $P_y = 11,5\text{Н}$, $P_z = 6,5\text{Н}$. Зменшуючи зернистість круга, одержуємо ефект збільшення енергетичних витрат процесу шліфування, за рахунок значного зростання величини сил різання. Порівнюючи сили різання, що виникають при шліфуванні різними колами, можна відзначити наступне: при використанні кіл з КНБ сили різання зменшуються на 20–25% у порівнянні з електрокорундом, при шліфуванні алмазними колами сили різання зменшуються на 25–30%.

Сили різання зростають при збільшенні поздовжньої подачі та глибини різання, а при зростанні швидкості обертання круга відбувається зворотне – величина сил різання зменшується.



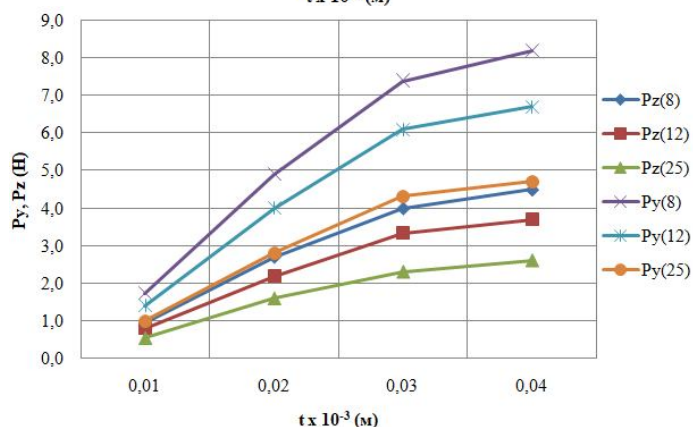
Круги керамічні (електрокорунд):

25A8 CM1K,
25A12 CM1K,
25A25CM1K



Круги з КНБ:

ЛО 80/60С10 100%;
ЛО 120/100 С10 100%;
ЛО 250/200С 10 100%



Круги

алмазні:

АСО80/60С10 100%;
АСО120/100С10 100%;
АСО250/200С10 100%.

Рис. 1 – Залежність зміни величин сил P_y і P_z від глибини шліфування сталі Н8К18М14 при різній зернистості кругів при $V_{кр} = 35$ м/хв; $V_d = 0,1$ м/хв; $S = 2$ мм/хід.

На прикладі шліфування титанового сплаву ВТ8 можна стверджувати, що необхідно вибирати кола, які мають максимальну зернистість, яка тільки допустима для задоволення заздальгідь наявних вимог до шорсткості поверхні деталі. Рекомендовано режими шліфування: $V_{кр} = 35$ м/хв; $V_d = 0,1$ м/хв; $S = 2$ мм/хід. Використовуючи при шліфуванні кола з КНБ необхідно знати, що сили різання на 20–25% менше, ніж при шліфуванні колами з електрокорунду. Використовуючи при шліфуванні алмазні кола слід враховувати, що сили різання на 30% менше, ніж при шліфуванні колами з електрокорунду.

Література

1. Гуляев, А.П. *Металловедение* / А.П. Гуляев, Гуляев А.А. : уч. для вузов. – М. : Альянс, 2011. – 643с.
2. Патон, Б.Ю., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. *Электронно- лучевая плавка тугоплавких и высокорекреационных металлов* / Патон Б.Ю., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. – К. : Наук. думка, 2008. – 213 с.
3. Лазоглу, И. *Механика обработки титана* / И. Лазоглу, Эхсан Лайег Хавидаки С., А.В. Мамедов, Дж. Давим // *Обработка титановых сплавов. Формование материалов, обработка и трибология.* –Берлин, Гейдельберг : Шпрингер, 2014.
4. Алимов, А.И. *Совершенствование технологии изготовления колец из титанового сплава ВТ8 путем определения рациональных режимов деформирования* А.И. Алимов : дис...к.т.н. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 160 с.

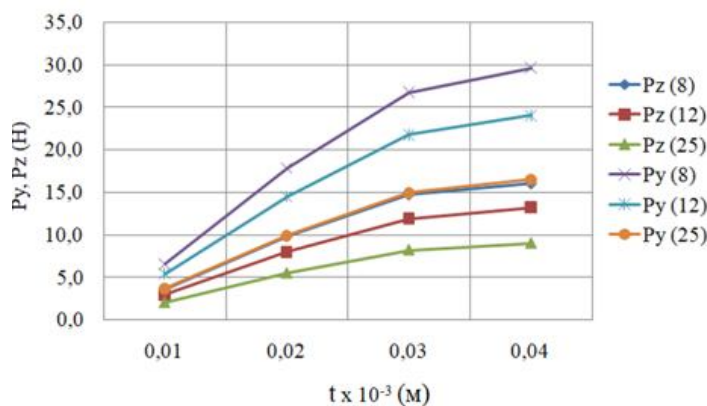
*Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В., Омельченко Є.І.,
Ніколаєва Т.В. Державний університет «Одеська політехніка»
Беспалова А.В. Одеська державна академія
будівництва і архітектури, Одеса, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ МАРТЕНСИТНО-СТАРІЮЧОЇ СТАЛІ ЕЛЕКТРОКОРУНДОМ, КРУГОМ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ТА СИНТЕТИЧНИМ АЛМАЗОМ

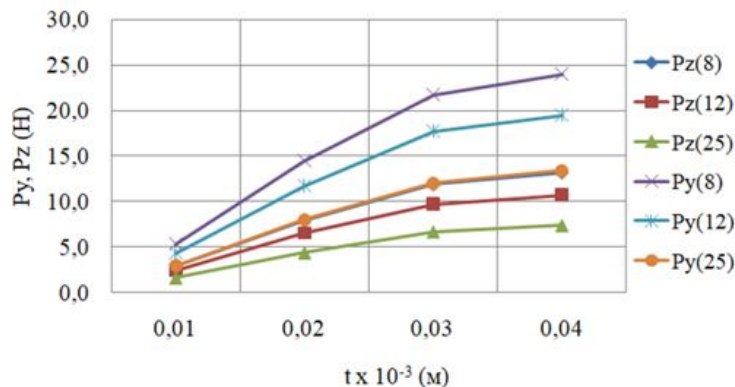
Сучасний розвиток техніки вимагає забезпечення гарантованої надійності елементів конструкцій і їх матеріалів, які працюють при високому тиску, підвищених і наднизьких температурах, експлуатації в корозійних середовищах різної агресивності. Мартенситно-старіючі сталі (МСС) – одні з найбільш перспективних матеріалів, що застосовуються в даних умовах, так як поєднують високі властивості міцності з гарною пластичністю і в'язкістю, що досягається легуванням і спеціальною термічною обробкою. Відсутність достатньої кількості експериментальних даних про вплив сил різання при шліфуванні поверхонь з мартенситно-старіючих сталей обмежує їх подальше практичне застосування [4–5]. Тому дослідження сил різання при шліфуванні таких сталей

електрокорундом, кругом з кубічного нітриду бору та синтетичним алмазом – актуальна задача сучасного машинобудування.

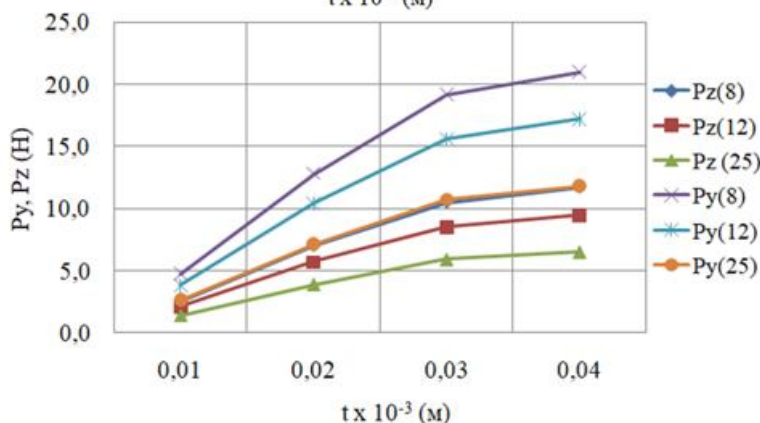
При дослідженнях використовувалась мартенситно-старіюча сталь марки Н8К18М12, абразивні електрокорундові шліфувальні круги марок 25А8 СМ1К, 25А12 СМ1К, 25А25СМ1К; а також круги з кубічного нітриду бору марок ЛО 80/60С10 100%, ЛО 120/100 С10 100%, ЛО 250/200С 10 100%; синтетичного алмазу – АСО80/60С10 100%, АСО120/100С10 100%, АСО250/200С10 100%. Експериментальні дослідження проводились з використанням методики планованого експерименту. Сили різання вимірювались за допомогою динамометра УДМ 50.



Круги керамічні
(електрокорунд):
25А8 СМ1К,
25А12 СМ1К,
25А25СМ1К



Круги з КНБ:
ЛО 80/60С10 100%;
ЛО 120/100 С10 100%;
ЛО 250/200С 10 100%



Круги алмазні:
АСО80/60С10 100%;
АСО120/100С10 100%;
АСО250/200С10 100%.

Рис. 1 – Залежність зміни величин сил P_y і P_z від глибини шліфування сталі Н8К18М14 при різній зернистості кругів при $V_{кр} = 35$ м/хв; $V_d = 0,1$ м/хв; $S = 2$ мм/хід.

В результаті проведених експериментів (рис. 1), встановлено, що сили різання при шліфуванні мартенситно-старіючою сталі можуть досягати величин відповідно $P_y = 30$ Н, $P_z = 17$ Н і суттєво зростають при зменшенні зернистості кругів. Рекомендовано режими шліфування: $V_{кр} = 35$ м/хв; $V_d = 0,1$ м/хв; $S = 2$ мм/хід. Швидкість обертання круга слід вибирати не менше 30 м/хв, або трохи вище, якщо дозволяють умови охорони праці. Збільшення глибини різання і поздовжньої подачі призводить до значного зростання сил різання, а збільшення швидкості обертання круга призводить до їх зменшення.

Найкращі (найнижчі) результати отримуємо при шліфуванні мартенситно-старіючої сталі алмазними кругами з більшою зернистістю марки АСО250/200С10 100%, так як сили різання відповідно на 30% нижчі, ніж при шліфуванні електрокорундовими кругами. При шліфуванні кругом з КНБ марки ЛО 250/200С 10 100% отримуємо найкращі результати сил різання відповідно $P_y = 13$ Н, $P_z = 7$ Н, що на 20-25% нижче, ніж при шліфуванні електрокорундовими кругами для даних сталей.

Література

1. Биронт, В.С. Влияние термической и термоциклической обработки на структуру и свойства мартенситно-старееющей стали / В.С. Биронт, Г.Г. Крушененко // J. of Siberian Federal Un-ty. Eng. and Technolog. – 2008. – № 2. – С. 247–255.
2. Гуляев, А.П. Металловедение / А.П. Гуляев, А.А. Гуляев: уч. для вузов. – М. : Альянс, 2011. – 643 с.
3. Биронт, В.С. Теория термической обработки / В.С. Биронт. – Красноярск : СФУ; ИЦМиЗ, 2007. – 234 с.
4. Jindrich, F. Grinding of Maraging Steel 1.2709 with SiC Grinding Wheels and Effect of Grinding Conditions on the surface Roughness and Wear of the Wheels / F. Jindrich, B. Tomas, Z. Miroslav // Manufacturing Technology. – 2020. – 20(1). – P. 18–22.
5. Zhongpeng, Z. Ultra-precision micro-cutting of maraging steel 3J33C under the influence of a surface-active medium / Z. Zhongpeng, Lee Yan Jin, Z. Jiayi et all. // J. of Mat. Proces. Technology. – 2021. – № 292.

Логінова О.Б., Кістерська Л.Д. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
Кондратюк Т.О. ННЦ «Інститут біології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
Бошицька Н.В. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
Солодуха А.Б. ТОВ «Нанофлюїд плюс», Київ, Україна

МОДИФІКУВАННЯ ПОЛІЕСТЕРНОГО ТЕКСТИЛЮ НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА ДЛЯ БІОЦИДНОГО ЗАХИСТУ

Одне з головних напрямків біоцидного захисту людини за допомогою спеціально оброблених текстильних матеріалів є профілактика шкірних захворювань, особливо в професійній сфері. За даними експертів комітету Всесвітньої організації охорони здоров'я, гнійничкові захворювання шкіри складають третину всієї шкірної патології і займають 3–4 місце в загальній структурі захворюваності після грипу, респіраторних і серцево-судинних захворювань. Тому актуальним питанням сьогодні є вибір ефективних засобів запобігання інфекційним захворюванням різної етіології та створення дезінфекційних препаратів у системі профілактики. Метою даної роботи було вивчення впливу нанодисперсної суспензії срібла на бактерії, мікроскопічні міцеліальні гриби та дріжджі для надання біоцидного захисту текстильним матеріалам широкого вжитку.

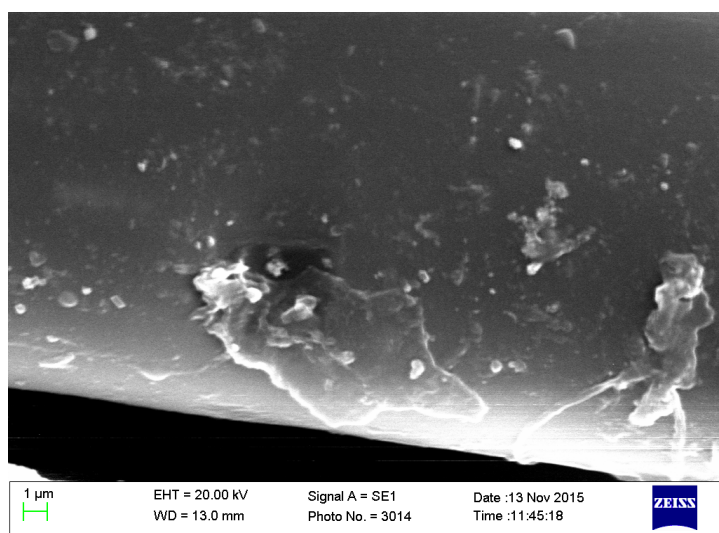
Для модифікування волокон використовували наносуспензію срібла Ag Nanofluid, виготовлену з використанням іонно-плазмової технології в екологічно чистому технологічному циклі за міжнародним патентом PCT WO 2008/039160A1 та патентом України № 80513 (<https://www.nanofluid.com.ua/>). Концентрація наночастинок (НЧ) срібла в водно-гліцериновому розчині складала 12,5 мг/л.

Модифікування поліестерного текстилю (тканина «Оксфорд» – водостійке полотно із 100% поліестера с поліуретановим просоченням НЧ срібла виконували методом адсорбції з розчину в ультразвуковій ванні.

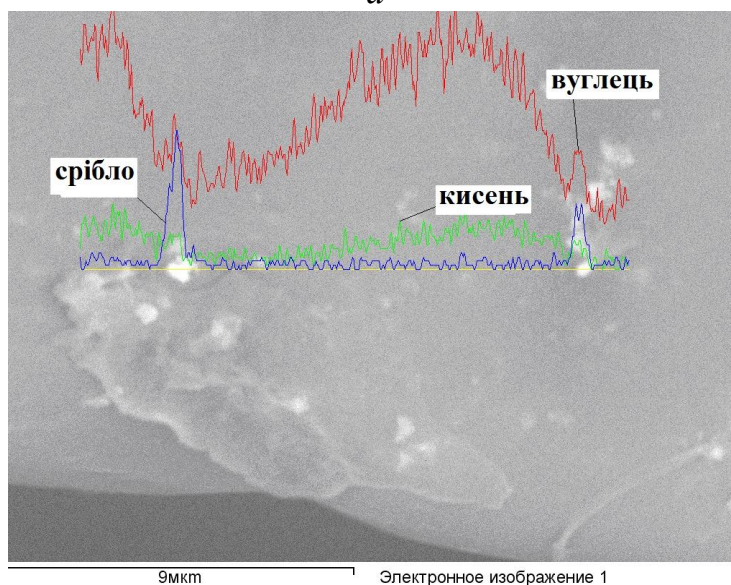
Бактерицидну та фунгістатичну дію препарату Ag Nanofluid щодо тест-культур бактерій *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та фунгістатичну дію щодо дріжджових грибів *Candida albicans* оцінювали DD-method по формуванню зони

пригнічення росту досліджуваних культур. Біостійкість вихідної тканини та обробленої НЧ срібла вивчали по відношенню до клітин мікроорганізму *Staphylococcus aureus* – методом вологих камер.

Характерний вигляд поверхні волокна, модифікованого НЧ срібла після перебування у розчині хлориду натрію наведено на рис. 1, а. Присутні на поверхні тканини НЧ срібла відрізняються за розмірами – спостерігаються окремі частинки с розмірами 58 нм та їх агрегати с розмірами 174 нм. Криві розподілу елементів в точках проведення рентгеноспектрального аналізу надано на рис. 1, б. Згідно з отриманих даних, на поверхні тканини крім срібла присутні вуглець та кисень, проте вміст кисню та вуглецю залишається на рівні фону.



а



б

Рис. 1 – СЕМ зображення НЧ срібла на поверхні тканини (а) та криві розподілу елементів в точках проведення рентгеноспектрального аналізу (б). Червоне – вуглець, зелене – кисень, синє – срібло

Отримані результати дозволяють стверджувати, що застосування УЗ обробки для нанесення НЧ срібла на поверхню поліестерного текстилю є доцільною. Вона активно руйнує агломерати наносрібла у розчинах та дозволяє рівномірно розподілити його на поверхні полотна.

Обробка тканини НЧ срібла, призводить до морфологічних та хімічних змін клітин тест-культур бактерій *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та дріжджових грибів *Candida albicans* – пошкодженню поверхні та цілісності клітин, брунькуванні, вибіркового накопиченню окремих елементів, що призводить до їх руйнування. Встановлена чітка бактерицидна дія препарату Ag Nanofluid для тест-культур бактерій *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та дріжджових грибів *Candida albicans*. Зона пригнічення росту бактеріальних культур при внесенні препарату формується вже протягом перших 8 год та залишається незмінною до 40 год., що свідчить про стабільну та довготривалу бактерицидну дію препарату. Доведено, що біостійкість композиційного матеріалу на основі поліестерної тканини, модифікованої НЧ срібла по відношенню до *Staphylococcus aureus* збільшується ~ в 3 рази відносно контрольного зразка та не обробленої тканини. Визначено, що обробка текстильних матеріалів препаратом Ag Nanofluid, що містить НЧ срібла, отриманих за допомогою плазмової технології, є перспективною для надання текстильним матеріалам широкого вжитку біоцидного захісту.

Lopata A., Smirnov I. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Zinkovskii A., Lopata L. Institute of Strength Problems
G.S. Pisarenko NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

IMPROVEMENT OF PROPERTIES COATINGS BY ELECTROCONTACT TREATMENT

Among the current technological and material science areas of science and technology, the problem of surface engineering is one of the most significant. Giving the surfaces of machine parts, working bodies, tools, and other structures the necessary physical, chemical, and

performance properties is most successfully implemented when using approaches and technological methods for surface engineering. Via coating and modifying surface layers, it is possible to significantly improve the performance and reliability of parts and structures, to provide them with new, not achievable by other methods, functional properties. Promising are methods for surface engineering which combine coating with surface modification or processing.

Without the use of modern high-technology for hardening protective coatings, Ukraine's economy will not come out of the crisis of an acute shortage of metal, spare parts, electricity, and fuel. The use of coatings prolongs the service life of parts by increasing their wear and corrosion resistance, restoring performance, and also by replacing expensive materials with cheaper ones with coatings. Moreover, the use of coatings can markedly reduce the cost of alloyed steels and alloys. In this case, it is possible to create products with a unique combination of properties that are unattainable when using traditional structural materials. The coating material is usually chosen on the basis of the substrate material and operation conditions.

Coatings are multifunctional. They can help regulate thermal conductivity, provide the surface with corrosion resistance, wear resistance, specific performance properties (electrical, optical, anti-friction, etc.). Coatings are a promising way to protect against exposure to high heat fluxes and corrosive media. The creation of coatings ensuring the operability of machines and equipment under extreme operation conditions (exposure to high temperature, wear, aggressive media) was and remains an important and urgent task.

The use of coatings is associated with the implementation of a fundamentally new approach to the creation of structural materials: the strength and carrying capacity of a part are provided by the base material, whereas the resistances to corrosion wear, and other harmful factors – by a coating. Most methods for coating deposition can be considered as alternative. The same coating material can be deposited in different ways. The complex of mechanical properties and operation characteristics of the coated part depends on the method for obtaining the coating. The development of coatings should ensure their impermeability to corrosive environments, increase the strength of coating to substrate adhesion, hardness, and wear resistance. The transition of the economy to the path of intensive development involves the use of coating processing methods that are implemented using autonomous or joint effects of temperature, mechanical, and chemical factors. The application of meth-

ods with the minimum necessary heating and small values of allowances is of great importance. In this regard, the mechanical-thermal processing is of considerable interest.

One of the most effective mechanical methods is an electrocontact treatment (ECT). Its advantages include: minimum heat input and finishing allowances. One of the most effective methods of mechanical-thermal processing is electrocontact treatment (ECT) (Fig. 1, 2, table 1). Its advantages include minimum heat input and finishing allowances.

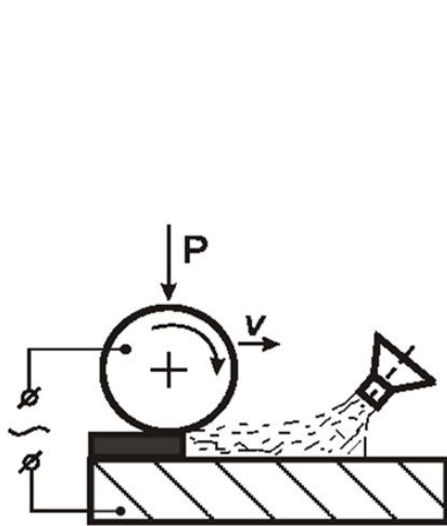


Fig. 1 – Scheme of electrocontact

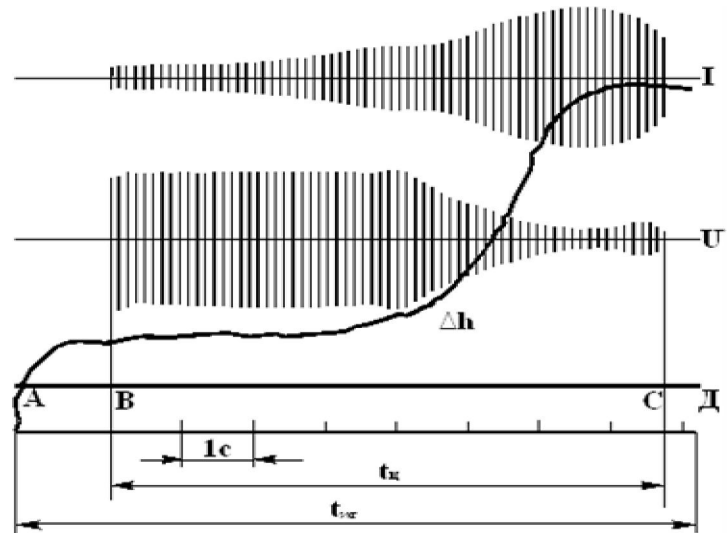


Fig. 2 – Stages of electric pulse treatment

Table 1 – Parameters of electrocontact treatment

Process parameters	Notation	Unit	Value
Current strength	I	kA	15–30
Pulse duration	t_{imp}	s	0.02–0.06
Pause duration	t_p	s	0.02–1.0
Pressure on electrode	P	MPa	10–60
Secondary voltage	U_2	V	3–6
Temperature of baking to surface	T	K	$(0.9–0.98)T_m$
Initial electric resistivity of powder layer	ρ_0	$\Omega \cdot m$	$(15–6) \cdot 10^{-5}$
Rate of heating	dT/dt	K/s	$10^3–10^4$

Advantages of electrocontact processing:

- minimum heat-affected zone on the part (0.1–0.3 mm) due to small duration of the heating pulse;
- the absence of a liquid phase in the hardening zone significantly expands the technological capabilities of the process: it allows one to increase the thickness of the wear-resistant layer by 3–6 times (coating

thickness up to 3 mm and more), increases the electrode durability, reduces the cost of the coating material, and contributes to a more uniform distribution of physic mechanical properties.

- provides almost poreless coatings with adhesion strength of 150–220 MPa, while maintaining the initial properties of the material.
- high performance (0.01–0.015 m) and low energy consumption 0.25–0.60 kWh /m.

For the first time, it has been shown that ECT of coatings reduces their porosity down to 2.08–3.03%, increases microhardness to 7.4–8.5 GPa and wear resistance by 2–4 times at optimal ECT parameters (current strength $I = 6.0$ kA, pressure $P = 30$ MPa, pulse and pause duration 0.04 s.). For the first time, it has been shown that a smooth decrease in microhardness through the thickness of sprayed coatings after their ECT ensures adhesion strength of coatings of 180–200 MPa and minimizes the probability of their detachment. For the first time, it has been established that the high coating-to-part adhesion strength after ECT is associated with the phenomenon of anomalous mass transfer, in particular with the accelerated migration of atoms under the electroplastic effect due to the formation of a significant diffusion interlayer. A proper combination of pressure and current pulses makes it possible to realize the electroplastic effect, which, reducing the power parameters of the process, can attribute it to the energy-saving technology. Electrocontact treatment of sprayed coatings using residual heat allows obtaining “dimensional coatings” with the required accuracy and surface cleanliness with minimal finishing machining or without it.

References

1. Lopata, L.A. Improvement of sprayed coatings / L.A. Lopata, N.A. Medvedeva, T.M. Tunik, S.G. Salii // World of Engineering and Technologies – 2005. – 8 (54). –P. 54–56.

*Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д.,
Олійник Н.О., Загора А.П., Виноградова О.П.,
Васильчук О.С., Базалій Г.А.* Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Закутевський О.І. Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН
України, Київ, Україна

ВПЛИВ СТУПЕНЯ АРМУВАННЯ ПОРОШКОМ АЛМАЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ

Ефективність роботи, інтенсивність зношування інструменту з вставками з композиційного алмазовмісного матеріалу (КАМ) забезпечується використанням високоміцних термостійких порошків алмазу та відповідних зв'язок і залежить від ступеня армування робочої поверхні (САРП) вставки. САРП вставки – це відношення площі поверхні розкритих кристалів алмазу до площі робочої поверхні вставки. САРП вставки враховує вплив розмірних, фізико-механічних, фізико-хімічних характеристик, концентрації абразивної складової (АС) і зв'язки та створює умови для оцінки зносостійкості КАМ.

Мета роботи – встановити залежність впливу САРП в елементах з КАМ на металічній зв'язці на характеристики продуктів руйнування гірської породи.

Досліджено продукти руйнування гірської породи (шлам), отриманий при точінні блоку пісковика Торезького родовища експериментальними функціональними елементами (вставками) з КАМ на основі зв'язки Ni (94%) – Sn (6%) армованими порошком алмазу марки АС 300, зернистістю від 630/500 до 200/160 та концентрацією від 25 до 100 умов.%. Вставки виготовляли методом резистивного електроспікання (струм 1,2–1,4 кА, тиск 300–400 МПа, температура до 700–850⁰С, час спікання 10–20 с.).

Після точіння досліджували топографію робочих поверхонь вставок, гранулометрію частинок шламу, розраховували САРП. При дослідженні застосовували мікроскоп Levenhuk DTX 50 з програмним забезпеченням Adobe AutoCAD.

Шлам досліджували хімічним гравіметричним методом, магнітно-фракційним аналізом, системно-аналоговим методом з застосуванням приладу DiaInspect.OSM (фірма VOLLSTÄDT DIAMANT

GmbH). Елементний склад, визначали з використанням приладу "X-Ray Fluorescence Spectrometr Elvax. Інтенсивність зношування вставок визначали: – як відношення втрати маси вставки до довжини шляху точіння гірської породи; – як відношення втрати маси вставки до маси утвореного шламу; – як відношення маси металічних частинок зв'язки в шламі до його загальної маси.

Встановлено:

1. Середній діаметр частинок шламу має широкий спектр розмірів від 16,047 до 57,181 мкм. Зменшення зернистості та концентрації АС призводить до зниження середнього розміру частинок шламу. Металічні частинки мають форму трикутника і трапеції, з середнім еквівалентним діаметром 35 мкм.

2. Вміст розчинних складових в шламі становить 19,85 мас.% при зернистості 630/500 та концентрації 100 умов.%, та збільшується до 21,7 мас.% при їх зменшенні.

3. В елементному складі шламу містяться Si, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Zn, Sn, Zr. Сумарний вміст Ni та Sn змінюється від 0,048 до 0,741 об.%. Використання постійної зернистості і зменшення її концентрації від 100 до 25 умов.% призводить до збільшення вмісту Ni та Sn в шламі від 2,5 до 6,2 разів. При постійної концентрації АС і зменшенні зернистості від 630/500 до 400/315 вміст Ni та Sn в шламі зменшується в 3–8,6 рази.

4. Величина питомої магнітної сприйнятливості шламу варіюється в інтервалі $(1,81-72,57) \cdot 10^{-8}$ м³/кг. При постійній концентрації АС 50–100 умов.% та зниженні її зернистості від 630/500 до 200/160 питома магнітна сприйнятливості шламу зростає в 2–6 разів. При однакової зернистості, але зниженні концентрації зростає питома магнітна сприйнятливості, що корелює з підвищенням зношування. **Опримизувати залежності впливу САРП на інтенсивність зношування.**

В результаті проведеного аналізу показано, що вплив зміни концентрації і зернистості армівної складової корелює зі зміною магнітофракційного і елементного складу і інтенсивності зносу зв'язки.

Інтенсивність зношування КАМ можна визначати не тільки за відношенням втрати маси вставки до довжини шляху різання, але і за співвідношенням вмісту часток зв'язки до маси утвореного шламу. Такий спосіб дає можливість оцінювати зносостійкість не вставки, а композиційного алмазовмісного матеріалу з різним ступенем армування його робочої поверхні.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СУБШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ

В основу предлагаемой спектральной модели положено спектральное разложение случайной функции $R(t)$ посредством преобразования Фурье [1]. Интегральное преобразование Фурье в комплексной форме записывается для линейных частот в следующем виде:

$$S(f) = 2 \int_0^{\infty} R(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

В качестве функции $R(t)$ целесообразно использовать функции, описывающие профиль шероховатой поверхности, находящийся во фрикционном контакте. По аналогии с вероятностной моделью в качестве критерия для описания профиля берётся длина площадки контакта d . Измерение длины контактов субшероховатостей $d_{\text{суб}}$ показало, что они носят случайный характер и имеют большой разброс. В последние годы для обработки сигналов применяют вейвлет-преобразования. Вейвлеты – функции в виде коротких волн (всплесков) с нулевым интегральным значением и локализацией по оси переменной (x или τ), способные к сдвигу по этой оси и масштабированию (растяжению-сжатию).

Для практического использования вейвлет-преобразований разработана компьютерная программа Matlab, включающая в себя графический интерфейс Matlab Wavelet Toolbox [2, 3]. Исследуемый сигнал можно ввести в систему Matlab посредством графического интерфейса и представить в виде кусочно-линейной функции табличным способом. Для функции $d_{\text{суб}}(\tau)$ (рис. 1) выбран табличный способ, при этом интервал дискретности по времени $\Delta t = 1,5 \cdot 10^{-10}$ с, в результате чего число отсчётов в табличном представлении составило $N = 512$.

Для ввода, обработки и анализа табличной информации использовали графический интерфейс пакета System Identification [4]. В режиме командной строки данные из Excel импортировали в Matlab. Предварительная обработка исходных данных заключалась в исключении постоянной составляющей. В результате получена функция нового сигнала, отличающаяся от исходной отсутствием постоянной составляющей (рис. 1, а).

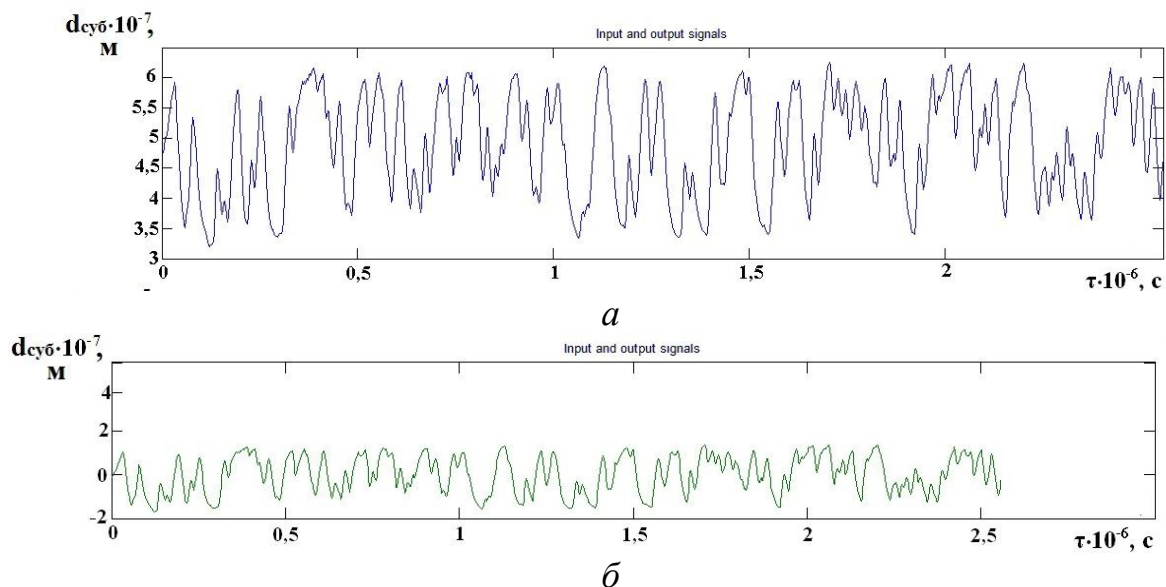
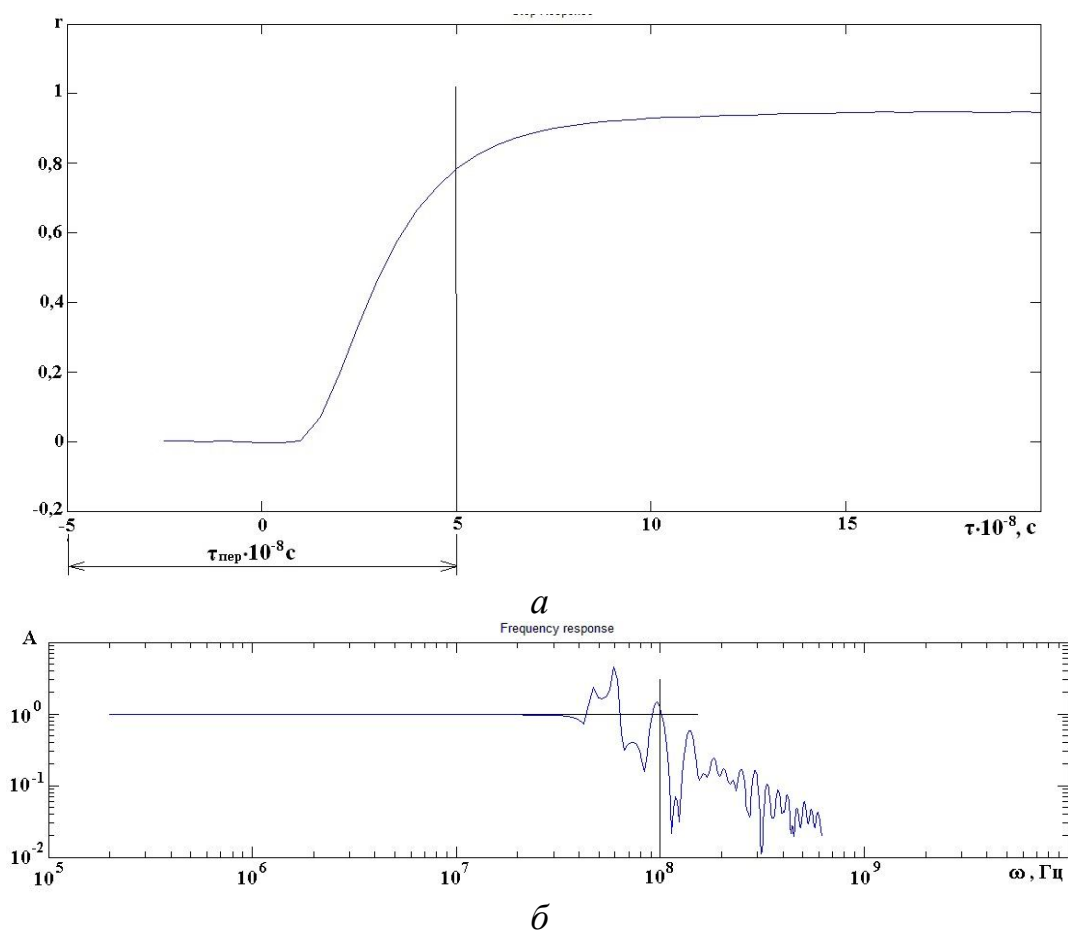


Рис. 1 – Результаты представления исходной информации:
a – временная диаграмма процесса контактирования; *б* – модель



**Рис. 2 – Оценка выбранной модели корреляционным (*a*)
и спектральным (*б*) методами**

Далее выполняли выбор диапазона (операция Select Rang). В результате получена функция процесса с нулевым средним (рис. 1, *б*), представляющая собой модель процесса. Оценку полученной модели,

как правило, выполняются нахождением функции процесса, определяющей его длину и время перехода к стационарному состоянию. Так как переходную функцию оценивали корреляционным методом, то стационарность модели достигла при коэффициенте корреляции $r \rightarrow 1$, которому соответствует выбранная частота Δt дискретности (рис. 2, а). Другой метод оценки – частотная характеристика модели, найденная спектральным методом (рис. 2, б). Частотная характеристика стабилизирует амплитуду сигнала ($A = 10$) в интервале частот, соответствующих степени дискретности.

Проведённый спектральный анализ субшероховатостей сам по себе представляет определённый научный интерес, а также является основой для анализа температурных процессов на субшероховатостях.

Литература

1. Яглом, А.М. Корреляционная теория стационарных случайных процессов / А.М. Яглом. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 279 с.
2. Смоленцев, Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
3. Дьяконов, В.П. MATLAB. Обработка сигналов и изображений / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
4. Мусалимов, В.М. Динамика фрикционного взаимодействия / В.М. Мусалимов, В.А. Валетов. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 191 с.

Михеев Р.С. МГТУ имени Н.Э. Баумана,
Калашников И.Е., Быков П.А., Кобелева Л.И.,
Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Клименко С.А., Копейкина М.Ю. Институт сверхтвёрдых
материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ЗОНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФУНКЦИОНАЛЬНО- ГРАДИЕНТНЫХ СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Современный этап развития техники характеризуется потребностью в принципиально новых материалах функционального назначения, поскольку доступные материалы не отвечают непрерыв-

но возрастающим требованиям, а уровень их служебных характеристик достиг предельных значений [1]. За последние годы значительные успехи достигнуты в разработке составов и методов синтеза изотропных дисперсно-армированных композиционных материалов (КМ) на основе сплавов алюминия, обладающих лучшим сочетанием триботехнических, механических и других свойств, необходимых для подвижных сопряжений машин и механизмов [2, 3]. Однако, во многих случаях процесс изготовления из подобных КМ массивных деталей с макрооднородной структурой оказывается технологически сложным и не оправданным экономически. Кроме того, в трибосопряжениях работают преимущественно поверхностные слои, повреждение которых вследствие износа приводит к возникновению аварийных ситуаций. Поэтому весьма перспективным является создание функционально-градиентных композиций с повышенными триботехническими свойствами на базе конструкционных сталей с поверхностными рабочими слоями из КМ на основе алюминия. Однако, главное препятствие, ограничивающее широкое внедрение подобных композиций, связано с низкой адгезионной прочностью покрытия и подложки вследствие образования на границе раздела диффузионной зоны из хрупких интерметаллидов Fe_xAl_y [4]. Поэтому важное значение для его преодоления имеет исследование диффузионной зоны и раскрытие механизмов образования интерметаллидного слоя, чему и посвящена настоящая работа.

Покрyтия из КМ наносили на пластины размером 150×200×2 мм, изготовленные из качественной низкоуглеродистой стали 20 (ГОСТ 1050), процессом аргонодуговой наплавки, характеризующимся универсальностью и экономичностью. Предварительно на поверхности стальной подложки процессом «холодного каплепереноса» или «Cold Metal Transfer» (CMT), характеризующимся минимальным тепловложением, формировали промежуточный слой из алюминия марки А5 (ГОСТ 7871-75), позволяющий, согласно ранее проведенным исследованиям, ограничить межфазное взаимодействие между материалом подложки и матрицей КМ [5].

Условия матрицей КМ процессе дуговой наплавки на сталь с предварительно нанесенным промежуточным алюминиевым слоем матричный расплав КМ контактирует не с чистой сталью, а с имеющимся на границе раздела интерметаллидным слоем системы Fe-Al, что сопровождается частичным его растворением, степень которого зависит от температуры и времени существования сварочной ванны

(рис. 1). Скорость растворения исходных интерметаллидов меньше скорости образования новых тройных систем Fe-Al-Si, что приводит к росту с 8,2 до 18 мкм среднего значения толщины интерметаллидного слоя при синтезе функционально-градиентных сталеплюминиевых композиций, которые могут быть рекомендованы для применения в узлах трения, адгезионная прочность которых составляет 25 МПа.

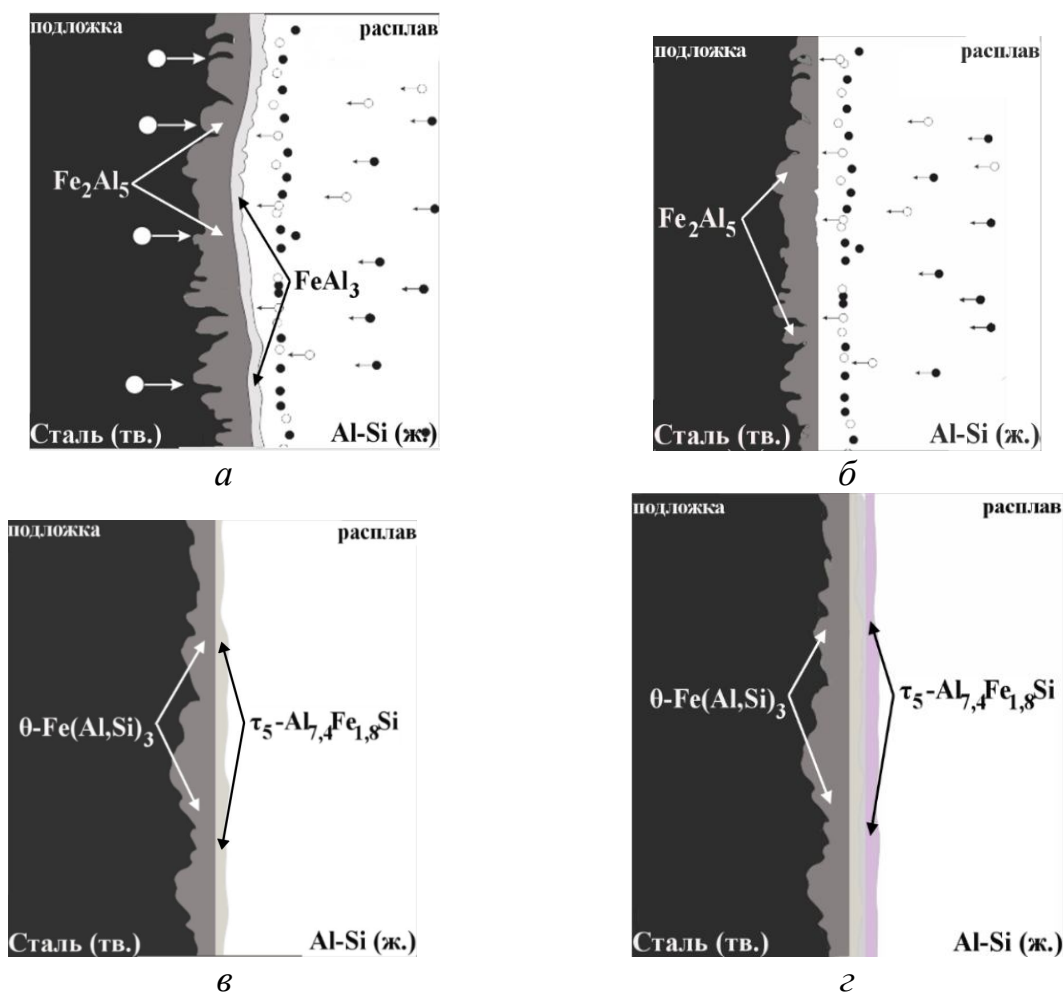


Рис. 1 – Схема формирования интерметаллидного слоя при наплавке КМ покрытия с матрицей из сплава Al-Si на сталь с полным проплавлением полученного по технологии СМТ промежуточного алюминиевого слоя. ● – атомы расплава Al и Si; ○ – атомы Fe

Литература

1. Pogodaev, L.I. Improving the durability of operating devices of technical fleet vessels using wear-resistant facings / L.I. Pogodaev, Yu.E. Ezhov // J. of machin. Manufact. and reliability. – 2014. – № 43. – P. 528–532.

2. Chernyshova, T.A. Development and testing of Al-SiC and Al-TiC composite materials for application in friction units of oil-

production equipment / T.A. Chernyshova et al. // Inorg. Mat. : Applied research. – 2011. – № 3. – P. 322–329.

3. Arunkumar, S. A review on aluminium matrix composite with various reinforcement particles and their behaviour / S. Arunkumar et al. // Mat. Today: Proceed. – 2020. – V. 33, № 1. – P. 484–490.

4. Рябов, В.Р. Алітирование сталі / В.Р. Рябов. – М. : Металлургия, 1973. – 240 с.

5. Ковалев, В.В. Особенности получения сталеалюминиевых соединений методами сварки плавлением / В.В. Ковалев, Р.С. Михеев, Н.В. Коберник // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2016. – № 3. – С. 134–151.

*Ночвай В.М., Полонський Л.Г., Свінцицький М.А.,
Сидорчук В.С. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир, Україна*

РЕМОНТ ШТАМПІВ ПРЕСА СИЛІКАТНОЇ ЦЕГЛИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Широке впровадження в практику ремонтів обладнання сучасних методів наплавлення дозволяє добитися значної економії коштів. Електродугове наплавлення дозволяє зміцнювати нові та відновлювати початкові розміри спрацьованих деталей. Наплавлення дозволяє отримати на поверхні виробу зносостійкий шар металу, міцно з ним зв'язаний, має необхідні експлуатаційні властивості – зносостійкість, твердість, антифрикційні якості. Найбільше застосування знаходять методи наплавлення: під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, відкритою дугою, струмами високої частоти, електрошлакове наплавлення.

В даній роботі приведено результати ремонту штампів преса силікатної цегли СНС 152.04.01. Найбільш часто штампи виходять з ладу від спрацювання робочих поверхонь. Штампи працюють без подачі мастила в умовах інтенсивного абразивного спрацювання. Спрацювання робочої поверхні штампа призводить до зупинки преса, зняття і списання в брухт спрацьованих деталей та встановлення нових. Це викликає непродуктивні простої преса та в кінцевому підсумку втрати виробництва.

На підставі результатів дослідно-експериментальних робіт та проведених досліджень фізико-механічних властивостей покриттів розроблено технологію відновлення спрацьованих штамтів методом електродугового наплавлення.

Для відновлення штамтів електродуговим наплавленням вибрано електроди марки УОНІ 13-45, порошок для наплавлення марки ПГ-С1, стрижні для наплавлення марки ПР-С1.

Після очищення деталі від технологічної маси на спрацьовані поверхні наносили шар порошку товщиною 3 мм. Шар порошку розплавляли електричною дугою, яка утворювалась між електродом марки УОНІ 13-45 і деталлю. В результаті шар покриття формувався за рахунок розплавленого поверхневого шару деталі, металу електрода та порошкової суміші ПГ-С1. Процес наплавлення виконували на постійному струмі.

При використанні стрижнів марки ПР-С1 для наплавлення шару покриття процес вели наступним чином: при горінні електрода марки УОНІ 13-45 в електричну дугу подавали стрижень. В результаті шар покриття формувався за рахунок розплавленого поверхневого шару деталі, металу електрода та металу стрижня марки ПР-С1. Процес наплавлення виконували на постійному струмі.

Твердість отриманих покриттів – 40–50 HRC.

Результати роботи можуть бути використані при відновленні спрацьованих деталей технологічного обладнання на підприємствах по виробництву будматеріалів.

Петасюк Г.А., Петасюк О.У. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ГЕОМЕТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ 3D МОДЕЛІ ЗЕРНА ТА ФОРМИ ЙОГО ПРОЕКЦІЇ ДЛЯ ВИСОКОМІЩНИХ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ

Проекція зерен шліфпорошків синтетичного алмазу (СА) є невід'ємним методологічним їх атрибут. Можемо виділити два прикладних аспекти проекції зерен абразивних порошків. Перший з них стосується проекції зерен як об'єкта метрологічних дій при діагносту-

ванні морфометричних характеристик як ознак якості виготовлених порошків. Другий важливий прикладний аспект пов'язаний з екстраполюванні на підставі геометричних характеристик проекції зерна 3D його форми. Саме за тією чи іншою прийнятою 3D моделлю зерен здійснюється сучасне опосередковано-аналітичне діагностування таких технологічних властивостей абразивних порошків як зовнішня питома поверхня, число зерен в одному караті та товщина і ступінь.

Зазвичай форма проекції окремих зерен абразивних порошків оцінювалася візуально на якісному рівні (округла, менш округла, овалоподобна, прямокутна і т.п.). Однак, останнім часом з'явилися більш точні методи і алгоритми автоматизованої ідентифікації та кількісного оцінювання формоподібності проекції зерен абразивних порошків [1, 2], а також метод визначення показника їх однорідності за цією морфометричною характеристикою [3]. Це дозволяє використовувати формоподібність проекції зерен абразивних порошків як повноцінну морфометричну характеристику, а показник однорідності за нею – як ознаку їх якості. Однією із важливих методологічних складових зазначених вище методів є сукупність базових фігур-аналогів (БФА) можливої форми проекції зерен. Ця сукупність передбачає наступні плоскі фігури: овалоподібні фігури (коло, еліпс), прямокутник, ромб, трапеція, квадрат, правильний п'ятикутник, правильний шестикутник, правильний восьмикутник, трикутник, паралелограм. Але стосовно високоміцних крупнозернистих шліфпорошків СА такий перелік БФА не є довершеним. Недосконалістю зазначеної вище існуючої сукупності БФА є відсутність у ній плоскої фігури у вигляді напівправильного дванадцятикутника. Це не дозволяє повноцінно виконувати автоматизовану ідентифікацію форми проекції зерен високоміцних крупнозернистих шліфпорошків СА. Відомо, що однією із можливих 3D форм таких абразивних порошків є усічений октаедр (рис. 1, поз. I, II), який є напівправильним многогранником [4]. Проекцією такого просторового тіла на площину, паралельну одній з його граней у формі правильного шестикутника, буде напівправильний дванадцятикутник. Метою цієї роботи є отримання аналітичного подання взаємозв'язку як між твірними та похідними геометричними параметрами подібної проекції зерна, так і між твірними геометричними параметрами самої 3D моделі та форми її проекції. Наявність подібної інформації дозволить автоматизувати ідентифікацію форми проекції зерен зазначеного вище класу абразивних порошків з подальшим екстраполюванням за

нею 3D форми зерна і застосуванням отриманої таким чином 3D його моделі до різних прикладних задач.

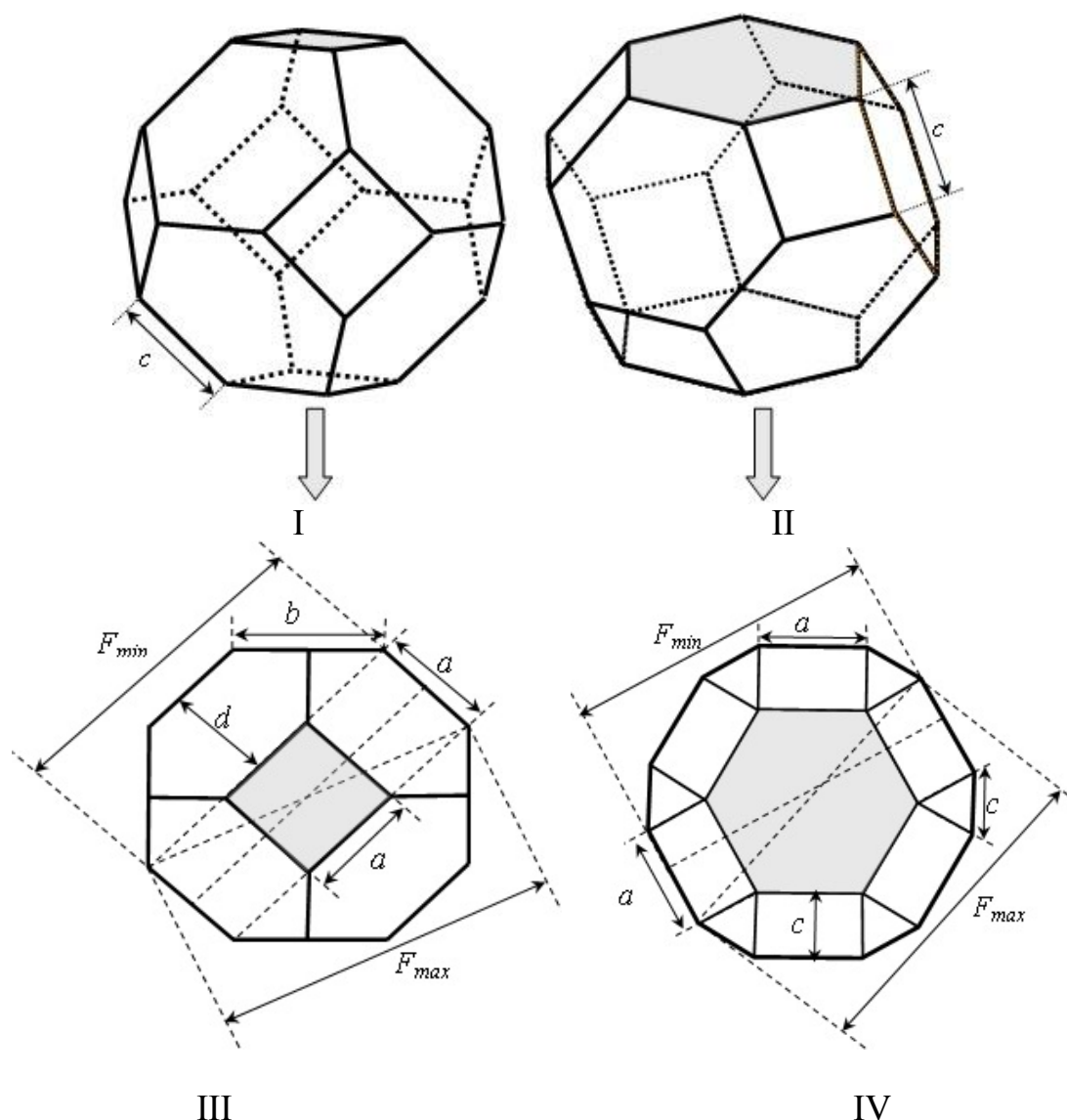


Рисунок 1 – Позиціонування (розташування) усіченого октаедра: I – на грані у формі квадрата, II – на грані у формі правильного шестикутника; та відповідні цьому його проєкції: III – напівправильний восьмикутник, IV – напівправильний дванадцятикутник

Нами установлені твірні геометричні параметри БФА проєкції зазначеного вище класу абразивних порошків серед морфометричних характеристик, які діагностуються приладом DiaInspekt.OSM, і виконано аналітичне подання взаємозв'язку як між її твірними та похідними геометричними параметрами. Твірним геометричним параметром напівправильного дванадцятикутника як проєкції усіченого октаедра на площину, паралельну одній із його граней, на якій він розташовується (позиціонується), буде або напівправильний дванадцятикутник (якщо ця грань є правильним шестикутни-

ком), або правильний восьмикутник (якщо ця грань є квадратом). Отримані аналітичні залежності є такими

$$S = 4\sqrt{3}b^2, L = \frac{6(\sqrt{3}+1)}{\sqrt{3}}b, F_{\max} = \frac{2\sqrt{7}b}{\sqrt{3}}, F_{\min} = \frac{5b}{\sqrt{3}}; \quad (1)$$

для напівправильний дванадцятикутника та

$$S = (3 + 4\sqrt{2})b^2, L = 4(1 + \sqrt{2})b, F_{\max} = \sqrt{10}b, F_{\min} = 3b, \quad (2)$$

для напівправильного восьмикутника. Тут c – довжина ребра усіченого октаедра, а всі інші характеристики стосуються його проекції, а саме: L – периметр проекції; S – площа проекції, F_{\max} та F_{\min} максимальний та мінімальний діаметри Фере проекції, а F_{el} – їх відношення, яке іменується Фере-подовженням. Більш повне пояснення геометричної суті останніх трьох характеристик подається в роботі [5]. Корисною при опосередковано-аналітичному визначення технологічних властивостей зазначеного вище класу шліфпорошків СА є інформація щодо об'єму ($V_{\text{зрокт}}$) і площі поверхні ($S_{\text{зрокт}}$) усіченого октаедра та щодо висоти (H) зерна в залежності від способу його позиціонування. Аналітичне подання перших двох із зазначених геометричних характеристик є таким

$$V_{\text{зрокт}} = 8\sqrt{2}c^3, S_{\text{зрокт}} = 6(1 + 2\sqrt{3})c^2. \quad (3)$$

Для висоти зерна аналітичні залежності є такими: $H_6 = \sqrt{6}c$ при позиціонуванні усіченого октаедра на грані у формі правильного шестикутника (рис. 1, поз. II), та $H_4 = 4c/\sqrt{2}$ – при його позиціонуванні на грані у формі квадрата (рис. 1, поз. I).

На базі залежностей (1), (2) та із врахуванням взаємозв'язку між визначальними морфометричними характеристиками, що діагностуються приладом DiaInspect.OSM [6], можна отримати аналітичне подання простих критеріїв формоподібності до БФА у формі напівправильних восьмикутника та дванадцятикутника, що буде виконано в подальшому.

Література

1. Petasyuk, G.A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection / G.A. Petasyuk // Powder Technology. – 2014. – V. 264. – P. 78–85.
2. Петасюк, Г.А. Системно-аналоговий метод ідентифікації та кількісного оцінювання фактичної геометричної форми проекції зерен абразивних порошків / Г.А. Петасюк // Сверхтв. мат. – 2016. – №4. – С. 74–89

3. Petasyuk, Grygorii A. Generalized index of the shape-similarity of the diamond powders grains projection / Grygorii A. Petasyuk, Oleksandr O. Bochechka // Powder Technology. – V. 353. – 2019. – P. 125–131

4. Гордєєва, Є.П. Нарисна геометрія. Багатогранники (правильні, напівправильні та зірчасті). Частина I. / Є.П. Гордєєва, В.Л. Величко: навч. посібн. – Луцьк : Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2007. – 198 с.

5. Петасюк, Г.А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень / Г.А. Петасюк // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 30 (106). – С. 138–145.

6. List, E. A new system for single particle strength testing of grinding powders / E. List, J. Frenzel, H. Vollstadt // Industr. Diamond Review. – 2006. – № 1. – P. 42–47.

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Аксьом П.А.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

ПРЕЦИЗИЙНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ТРУБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Трубчасті деталі спеціального призначення – це стволи (дула) важкої артилерійської зброї гармат, гаубиць, танків тощо. При кожному пострілі ці стволи зазнають дії кількох потужних факторів, які викликані горінням вибухової речовини та складним рухом із великим прискоренням активного снаряду. Принагідно відзначимо, що за класифікацією фахівців з озброєння, снаряди бувають також реактивними. Отже, ствол при кожному пострілі зазнає теплової і хімічної дії, а також сил тертя від поздовжньо-обертового руху снаряду. За практичними даними фахівців, один постріл призводить до збільшення діаметра отвору гармати калібру 125 мм танка на 0,01 мм. Тому, крім чисто геометричних розмірів ствола (відношення товщини t стінки до діаметра d отвору $t/d = 0,2–0,3$ при довжині порядку 7000–8000 мм) високі вимоги ставляться і до матеріалу з відповідними термічною та механічною обробками.

Полігонні випробування та досвід експлуатації показують, що підвищити строк служби ствола можна виготовленням останнього з

високовуглецевої доєвтектоїдної сталі, яку слід легувати хромом, нікелем, молібденом, марганцем і кремнієм. При цьому сталь має бути високоякісною за мінімальними вмістом шкідливих домішок (сірки і фосфору). У цьому випадку склад матеріалу ствола є оптимальним, оскільки забезпечує мінімальний вплив дії трьох вище названих факторів: теплового, хімічного та триботехнічного. Таким чином, трубні заготовки для стволів, крім іншого, слід ретельно контролювати за хімічним складом високолегованої сталі.

Для цього нами запропоновано і досліджено спектральним аналізом зразки з такої сталі, які отримано із реального ствола танка "Булат" [1].

Сутність спектрального аналізу полягає у тому, що речовина, яка аналізується, при нагріванні перетворюється на пару. Одержана пара "збуджується" за рахунок додаткової енергії, яка підводиться до вільних атомів пари. Після повернення у свій "нормальний" стан атом випромінює одержаний ним при збудженні енергетичний надлишок у вигляді світла певної довжини хвилі. Слід відзначити, що спектри випромінювання речовини є такі ж характеристики, як і атомна вага.

Кількісний спектральний аналіз базується на існуванні зв'язку між числом атомів, що світяться, і інтенсивністю випромінювання. Для здійснення якісного спектрального аналізу необхідно випромінювання пари розкласти на прості монохроматичні промені, визначити довжину хвиль останніх і за допомогою таблиць визначити, до спектру якого елемента вони належать.

Для обох видів аналізу нами було використано установку для спектрального аналізу SPECTROMAXx [2] (рис. 1).



Рис. 1 – Модернізована стаціонарна установка для проведення спектрального аналізу SPECTROMAXx

Вимірювання проводилося не менше 10 разів у різних точках досліджуваного зразка. Визначення хімічного складу відбувається шляхом просвічування парів металу, що утворюються в результаті іскрового розряду між установкою та зразком. Зона іскрового розряду захищається інертним газом – аргоном. Світлочутливі датчики вимірюють відбивання світла від хімічних елементів, що знаходяться в парах металу, та визначають їхню кількість та найменування.

Як приклад, наведено дослідження сталі невідомої марки стволю танкової гармати танку Т-64 “Булат”, діаметром 125 мм та товщиною 30 мм (рис. 2). Було встановлено, що зразок має наступний хімічний склад: С – 0,50%; Si – 0,38%; Mn – 0,248%; P – 0,001%; S – 0,001%; Cr – 1,14%; Ni – 3,17%; Mo – 0,376%; Al – 0,0084%; Cu – 0,15%; Co – 0,0043%; Ti – 0,0056%; Nb – 0,0097%; V – 0,111%; W – 0,01%; Pb – 0,003%; B – 0,0005%; Sn – 0,001%; As – 0,0015%; Bi – 0,0035%; Ca – 0,0024%, все інше – залізо. Таким чином, матеріал зразка відповідає марці сталі 50ХНЗМСА.

Середня похибка методу складає 2–5%.

Переваги методу над методом хімічного аналізу полягають у високій точності (до 0,00001%), особливо при малих кількостях домішок або легуючих елементів та швидкості і дешевизні аналізу.

Отже, нами проведено прецизійне визначення хімічного складу високолегованої сталі для стволів артилерійської зброї з точністю до однієї десятитисячної частки відсотка.

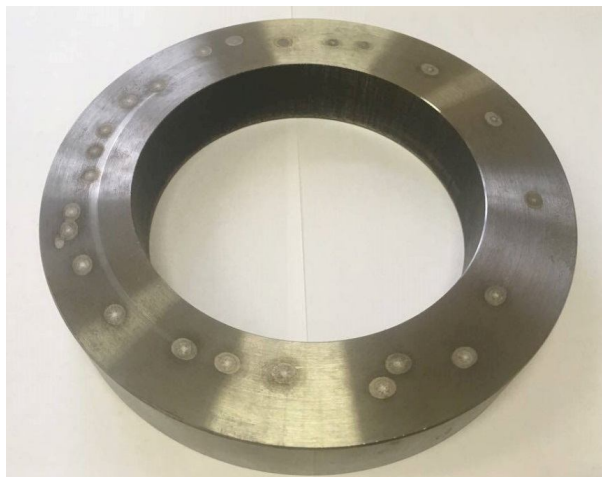


Рис. 2 – Зразок сталі гармати танку “Булат”

Література

1. Посвятенко, Е.К. Фізичні методи вивчення властивостей матеріалів: підручник /Е.К. Посвятенко, Р.В. Будяк, О.В. Мельник, В.Г. Нікітін. – К. : НТУ, 2019. – 176 с.
2. Аксьом, П.А. Поліпшення властивостей відновлювальних деталей засобів транспорту / П.А. Аксьом : автореф. дис...к..т.н. – К., 2020. – 20 с.

*Пріхна Т.О., Льницька Г.Д., Лавріненко В.І.,
Зайцева І.М., Тимошенко В.В., Барановська К.А.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АЛМАЗНОГО ПРАВЛЯЧОГО ПРЕЦИЗІЙНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗБІЛЬШЕННЯМ ОДНОРІДНОСТІ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ

В машинобудуванні при масовому виробництві деталей машин все більшого поширення набуває урізне шліфування, що забезпечує продуктивність, точність, стабільність якості оброблених виробів. При виконанні такої обробки велике значення має застосування алмазного інструменту (правлячих роликів).

Виходячи з вимог, що пред'являються до сучасного алмазного інструменту, основними характеристиками якості шліфпорошків алмазу є крупність у вигляді зернистості і зернового складу, а також характеристики міцності: міцність і термостабільність. Однак для поліпшення роботи алмазного інструменту велике значення має отримання шліфпорошків алмазу однорідних за цими характеристиками.

Однорідність є важливою характеристикою оцінки якості порошкових матеріалів. В даний час спостерігається тенденція підвищення інтересу до однорідності порошків за різними технологічними характеристиками. Для оцінки величини однорідності розроблені методи, що дозволяють оцінювати однорідність шліфпорошків за основними технологічними характеристиками якості і, перш за все, за характеристиками міцності і геометричними (у вигляді лінійних розмірів зерен алмазу) характеристиками зерен шліфпорошків алмазу. Порошки синтетичного алмазу, що мають високу однорідність за міцністю, лінійними розмірами і мають високу термостабільність, відносяться до результату вдосконалення процесу синтезу рядом провідних зарубіжних фірм отримані синтетичні алмази з дуже високою міцністю, з яких можуть бути виготовлені високоміцні шліфпорошки алмазу марок до АС300. Зазвичай такі високоміцні шліфпорошки алмазу виготовляються із застосуванням при їх синтезі феросплавів в якості каталізаторів розчинення вуглецю.

Тому метою даної роботи було дослідження фізико-механічних властивостей високоміцних шліфпорошків синтетичних алмазів,

синтезованих з використанням феросплавів, що застосовуються для оснащення прецизійного правлячого інструменту і розробка методів підвищення їх однорідності для підвищення працездатності прецизійного правлячого інструменту.

Для отримання високоміцних термостійких шліфпорошків алмазу з високою однорідністю за міцністю та лінійними розмірами використовували алмази зернистості 500/400 марки АС200, синтезовані в ростовій системі Fe-Co-C. При виготовленні високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу, з високою однорідністю за міцністю вихідні порошки сортували за дефектністю поверхні їх зерен. При розділенні за дефектністю поверхні зерен порошків для підвищення контрастності властивостей шліфпорошків алмазу, що розділяються, синтезованих із застосуванням феросплавів для розчинення вуглецю, застосовували електропровідні тонкодисперсні порошки. Формування за допомогою селективного адгезійного закріплення електропровідних частинок на дефектних ділянках поверхні для посилення електричних властивостей порошків дозволяє розділити порошок в електричному полі на ряд фракцій, що відрізняються між собою за дефектністю поверхні і за характеристиками міцності. Для збільшення вмісту основної фракції і підвищення коефіцієнта однорідності за розмірами зерен алмазу використовували остаточну класифікацію за зернистостями на ситах ряду R-20 з метою виділення вузьких класів зернистостей або додаткову класифікацію за формою зерен алмазу на вібродійному устаткуванні. Для розділення визначали фізико-механічні характеристики: міцність у вигляді руйнуючого навантаження при статичному стисненні при кімнатній температурі (P , Н) за методиками ДСТУ 3292, розраховували термостійкість ($K_{ТС}$), коефіцієнт однорідності за міцністю ($K_{одн.міц.}$), коефіцієнт однорідності за лінійними розмірами ($K_{одн.л.р.}$), вимірювали питому магнітну сприйнятливість (χ) і оцінювали дефектність поверхні зерен алмазу за коефіцієнтом поверхневої активності (K_a), вміст домішок в зернах алмазу у вигляді неспалимого залишку (н/з), які визначали за методиками, розробленими в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Результати розділення за дефектністю поверхні алмазів зернистості 500/400 марки АС200, синтезованих в системі Fe-Co-C, представлені в табл. 1.

Як впливає з табл. 1 при розділенні алмазних шліфпорошків за дефектністю їх поверхні алмазів зернистості 500/400 марки АС200

отримано 4 продукти, що відрізняються між собою за величиною K_a , що дозволило виділити з вихідної маси порошки алмазів з різними характеристиками міцності.

Таблиця 1 – Результати розділення за дефектністю поверхні алмазів зернистості 500/400 марки АС200, синтезованих в системі Fe-Co-C

Продукти розділення	$K_a, \%$	$\chi \times 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$	$P, \text{ Н}$	$K_{ТС}, \%$	$K_{одн.міц.}, \%$	$K_{одн.л.р.}, \%$	н/з	Марка
1	0,03	7,5	499,0	91	79	80	0,08	АС250-Е
2	0,10	20,5	437,7	89	75	78	0,10	АС200-Е
3	0,16	30,7	329,9	87	73	70	0,11	АС160-Е
4	0,29	41,3	228,7	80	65	67	0,18	АС125
Вихідний	–	25,0	423,5	83	52	59	0,15	АС200

Встановлено, що при збільшенні дефектності поверхні зерен алмазу знижуються їх характеристики міцності. Так, при збільшенні K_a від 0,03 до 0,29% показник міцності при статичному стисненні зерен алмазу знижується в 1,9 рази. При цьому знижується їх термостабільність ($K_{ТС}$) і збільшується вміст домішок в шліфпорошку.

Шліфпорошки алмазів зернистості 500/400 марки АС200, синтезованих в системі Fe-Co-C, відповідно до технічних умов ТУ У 23.9-05417377-367:2020 "Шліфпорошки з синтетичних алмазів елітні для оснащення алмазного інструменту" можна віднести до елітних породинок шліфпорошки алмазу зернистості 500/400 вихідні і виділені в 1-й продукт були використані для оснащення правлячих роликів. Виготовлені правлячі ролики були випробувані. При випробуваннях оцінювалася зносостійкість роликів у вигляді питомої витрати алмазів. Результати випробувань представлені в таблиці 1.

Впливає з результатів випробування, шліфпорошки алмазу зернистості 500/400 з високою міцністю 469,0 Н, термостійкістю ($K_{ТС} = 96\%$), однорідністю за міцністю ($K_{одн.міц.} = 79\%$) і лінійними розмірами ($K_{одн.л.р.} = 80\%$), відповідні елітній марці алмазів АС250-Е показали найвищу зносостійкість. Питома витрата склала 4,5 мг/кг, що приблизно в 1,5 разів нижче ніж питома витрата вихідних шліфпорошків марки АС200.

Таблица 2 – Результаты физико-механических та эксплуатационных характеристик шлифпорошков алмазу зернистости 500/400 выходных та выделенных в 1-й продукт разделения

Продукты разделения	Характеристики мощности			$K_{одн.л.р.}, \%$	Марка	Питома витрата алмазів, мг/кг
	$P, Н$	$K_{ТС}, \%$	$K_{одн.мц.}, \%$			
1	469,0	96	79	80	АС250-Е	4,5
Выходный	409,8	83	52	59	АС200	6,5

Таким чином, використання при оснащенні правлячих роликів високоміцних термостійких алмазних шлифпорошків з високою однорідністю за міцністю і за лінійними розмірами сприяє зниженню втрати алмазів при обробці, що підвищує їх зносостійкість, і забезпечує підвищення працездатності алмазного правлячого інструменту.

*Рошупкин В. В., Пенкин А. Г., Пенкин М. А.,
Теплов А. О., Минина Н.А.* Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛИРОВКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АКУСТИКО- ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АУСТЕНИТНО- МАРТЕНСИТНОЙ ТРИП-СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ

В работе исследовано влияния режимов термообработки на кинетику фазовых превращений, дислокационную структуру, акустико-эмиссионные (АЭ) и механические свойства высокопрочной аустенитно-мартенситной стали с повышенным содержанием мартенсита деформации в приповерхностных слоях [1, 2]. Проведено исследование влияние электролитно-плазменной полировки (ЭПП) на комплекс механических свойств тонколистовой аустенитно-мартенситной трип-стали ВНС9-Ш. Материалом исследования была холоднокатаная лента толщиной 0,273 мм из аустенитно-мартенситной трип-стали ВНС9-Ш (23Х15Н5АМ3-Ш). Химический состав стали ВНС 9-Ш, % (мас.): 0,25 С; 14,5-16,0 Cr; 4,8–5,8 Ni; 2,7-3,2 Мо; Mn ≤1,0; Si ≤0,6; 0,03-0,07 N; S ≤0,01; P ≤0,015; Fe-основа. Структура стали представляла собой смесь мартенсита деформации и нагартованного аустенита [3]. Количество мартенсита

деформации в поверхностном слое ленты составляло 68,5% (рентгеновский метод). Объемное содержание мартенсита в ленте, исходя из данных магнитных измерений, было не более 30%. Рентгенофазовый анализ был проведен с использованием рентгеновского дифрактометра Ultima IV фирмы Rigaku (Япония) снабженного высокоскоростным детектором D/teX.

Определение механических свойств, исследованных серий из стальной ленты ВНС9-Ш, при статическом растяжении проводилось на малощумной механической машине Instron 3382 со скоростью деформации $V = 5$ мм/мин, а испытания на усталость в условиях повторного растяжения с постоянным минимальным напряжением цикла $\sigma_{\min} = 100$ МПа на сервогидравлической испытательной машине Instron 8801. Образцы для испытаний на статическое растяжение и усталость имели форму двойной лопатки с размером рабочей части 20x25 мм и радиусом перехода к более широкой части 50 мм.

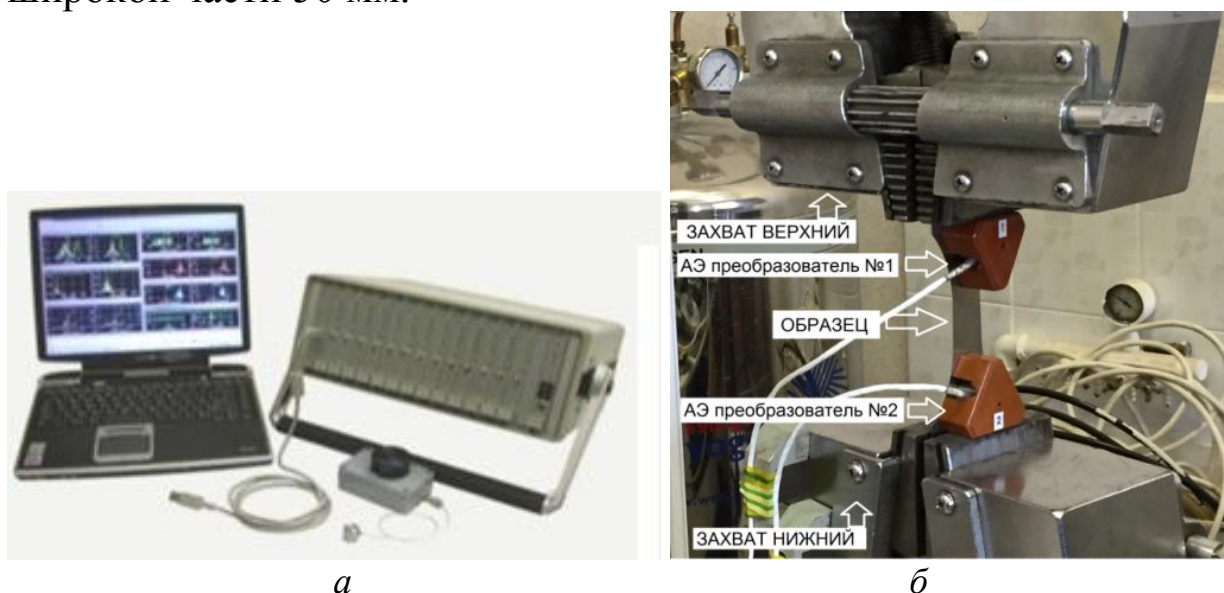


Рис. 1 – Акустико-эмиссионная диагностическая система СДС1008 (а) и схема крепления преобразователей АЭ (D1-D2) на образце в захватах испытательной машины Instron 3382 (б)

Исследование акустической эмиссии образцов трип-стали ВНС9-Ш проводилось с использованием АЭ диагностической системы СДС1008 [4], обеспечивающей регистрацию амплитудных, энергетических и спектральных

характеристик сигналов АЭ в частотном диапазоне 50–1000 кГц, а также линейных координат источников АЭ вдоль рабочей части образца. Программные средства АЭ системы обеспечивали локацию АЭ сигналов на короткой базе (50–100 мм) рабочих об-

разцов и позволяли определять текущие координаты локальных областей зарождения пластической деформации, процессов сдвигообразования и фазовых превращений.

В работе показано, что электролитно-плазменная полировка градиентной трип-стали ВНС9-Ш снижает количество мартенсита в поверхностном слое с 65 до 31%, однако уровень статических механических свойств при этом практически не изменяется; электролитно-плазменная полировка образцов приводит к повышению интенсивности образования мартенсита деформации в процессе статического растяжения по сравнению с исходным состоянием, а также к повышению предела усталости в условиях повторного растяжения (с 900 до 1000 МПа), но несколько снижает долговечность до разрушения. С использованием рентгенофазового анализа и метода акустической эмиссии показано, что в процессе циклического деформирования образцов из стали ВНС9-Ш наблюдается добавочное образование мартенсита деформации, а уровень напряжений пределов усталости исходного материала и после проведения электролитно – плазменной полировки образцов определяется процессами микротекучести.

В работе с применением метода АЭ исследовано влияния температуры отпуска в интервале температур 450–900 °С на изменение механических свойств и фазовые превращения в тонколистовой аустенитно-мартенситной трип-стали ВНС9-Ш с 100% содержанием мартенсита деформации в поверхностных слоях при интегральном содержании 80–85%. Показано, что при температуре отпуска свыше 450 °С наблюдается процесс обратного мартенситного превращения в аустенит и происходит резкое снижение прочностных характеристик. Изучена кинетика структурных изменений и фазовых превращений, происходящих в трип – стали после отпуска при различных температурах по данным акустико-эмиссионного контроля.

Литература

1. Терентьев, В.Ф. Влияние содержания мартенсита на механическое поведение и акустико-эмиссионные характеристики тонколистовой трип-стали при статическом растяжении / В.Ф. Терентьев, В.В. Рощупкин, А.Г. Пенкин, М.А. Пенкин // Деформация и разрушение материалов. – 2019. – № 12. – С. 36–41.

2. Пенкин, А.Г. Анализ стадийности деформации трип-стали методом акустической эмиссии / А.Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, В.В.

Рощупкин и др. // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 10. С. 35-41.

3. Терентьев, В. Ф. Влияние фазового состава поверхностного слоя на механические свойства тонколистовой трип-стали 23X15H5AM3-Ш / В. Ф. Терентьев, А.К. Слизов, Д.В. Просвирнин и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2015. – № 7. – С. 30–33.

4. Пенкин, А.Г. Оценка остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической твердости / А.Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, Л.И. Маслов. – М. : Интерконтакт Наука, 2005. – 69 с.

Рябченко С.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля, Київ,
Ковальчук О.М., Нежебовський В.В.
АТ «Світло Шахтаря», Харків, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВУГЛЕДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ ПРОФІЛЬНИМ ШЛІФУВАННЯМ

Забезпечення якості обробки зубчастих коліс приводів шахтних комбайнів є актуальною проблемою виробництва гірничого машинобудування. Відомо, що підвищити якість обробки зубчастих коліс і відповідно їх надійність і ресурс роботи можна шляхом застосування ефективних технологій зубошліфування, які забезпечують зниження теплової й силової напруженості процесу та підвищення продуктивності обробки.

Зміст даної роботи полягає у використанні високопористих абразивних кругів з монокорунду при профільному шліфуванні зубчастих коліс. Така технологія дозволяє порівняно з іншими методами обробки суттєво підвищити зносостійкість, знизити коефіцієнт тертя, підвищити точність обробки та знизити висотні параметри шорсткості зубчастих коліс і, тим самим, підвищити надійність і ресурс зубчастих передач.

Високопористі шліфувальні круги мають гарне самозаточування, технологічні з точки зору профілювання та правки, дозволяють

шліфувати деталі з мінімальним виділенням тепла у зоні різання, порівняно зі звичайними кругами.

Для досягнення мети роботи виготовлені високопористі абразивні круги, розроблені технологічні режими обробки, досліджена точність та шорсткість поверхонь зубчастих коліс після обробки. Дослідження виконувались в промислових умовах на підприємстві АТ «Світло Шахтаря» (м. Харків).

Нами використовувались наступні високопористі шліфувальні круги з електрокорунду:

- 400×32×127 WG946 Hs12 VS – монокорунд;
- 400×32×127 3SG46Hs 12 VS – золь-гелевий корунд;
- 400×32×127 A9946Hs 12 VS – електрокорунд білий.

Порівняння експлуатаційних показників заданих кругів проводилось з кругами з білого корунду виробництва Волжського абразивного заводу 400×40×127 25AF46L6V. Шліфування зубчастих коліс виконувалось на зубошліфувальному верстаті з ЧПК мод. HÖFLER RAPID 1250 (рис. 1).

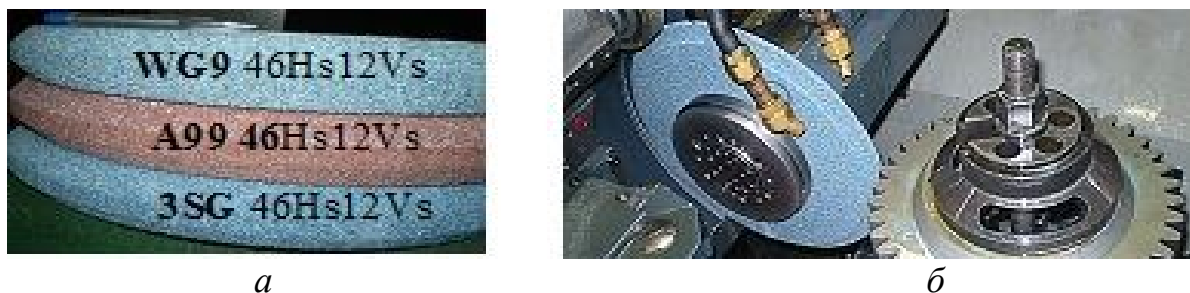


Рис. 1 – Високопористі шліфувальні круги (а) та установка круга WG946Hs12VS (б) на зубошліфувальному верстаті з ЧПК HÖFLER RAPID 1250 (Монокорунд WG946Hs12Vs)

Шліфувались зубчасті колеса № P96M.00.05.001 (далі ЗК №1, ЗК № 2): діаметр $d_a = 345$ мм; $z = 41$; $m = 8$; ширина вінця $B = 90$ мм. Припуск на обробку $t = 0,66$ мм. Число етапів – 4.

При використанні високопористого круга з монокорунду WG946 Hs12 VS отримали показники по точності зубчастих коліс, що наведені в табл. 1.

Висновки. Шліфування зубчастих коліс високопористими кругами з монокорунду дозволяє забезпечити якісні показники профілю зуба приводів шахтних комбайнів в порівнянні із шліфуванням кругами зі звичайними кругами з білого корунду, а саме, забезпечується висока точність профілю колеса, що відповідає 2 ступеню точності (за DIN 3962). Шорсткість профілю зубчастого колеса дорів-

нює Ra 0,63, що відповідає вимогам креслення. Правка шліфувального круга з монокорунду проводиться через 7–8 зубців (при використанні білого корунду – через 4–5 зубців), що забезпечує підвищену стійкість шліфувального круга з монокорунду.

Таблиця 1 – Результати заміру параметрів зубчастих коліс на верстаті з ЧПК HÖFLER RAPID 1250 (шліфувальні круг – монокорунд 400×32×127 WG946Hs12 VS)

Параметри, мкм	ЗК № 1 (P96M.00.05.001)		ЗК № 2 (P96M.00.05.001)	
	ліва сторона	права сторона	ліва сторона	права сторона
Параметри профілю				
$F\alpha$	2,1	2,4	2,1	3,9
$ff\alpha$	2,4	1,9	1,8	3,0
$fH\alpha$	-0,8	-1,8	-1,6	-3,4
Параметри лінії зуба				
$F\beta$	3,1	3,4	1,6	2,0
$ff\beta$	1,0	3,0	1,4	1,9
$fH\beta$	-3,0	1,0	-0,6	-0,1
Fp (похибка шагу)	3,0	3,0	2,5	1,5
Fp (накоплена похибка шагу)	4,5	6,0	4,5	5,0
Fr (рад. биття)	5		7	

*Сахнюк І.О., Битков М.Х., Рудак Н.П.,
Поліщук Р.Ю. Технічний центр
НАН України, Київ, Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В НАУКОВИХ УСТАНОВАХ

Для успішного створення системи управління якістю в наукових установах необхідно дотримуватись положень національного стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) «Системи управління якістю. Вимоги». У сфері наукової та науково-технічної діяльності застосування вимог цього стандарту потребує, насамперед, ви-

значення організаційного забезпечення та розподілу відповідальності в науковій установі щодо побудови системи управління якістю.

На початку розроблення системи управління якістю (СУЯ) наукова установа вже має діючу систему управління, яка може бути достатньо результативною. Проте, для побудови цілісної СУЯ наукової установи така система управління має бути формалізованою та всебічно задокументованою. У розвиток запропонованих підходів щодо застосування вимог стандарту ДСТУ ISO 9001 [1, 2] автори подають на розгляд певні аспекти розроблення СУЯ в наукових установах. Система управління якістю складається з: організаційної структури установи; планування її діяльності; визначення процесів, що мають місце в установі; забезпечення ресурсами і документацією на всі процеси, які використовують для досягнення поставлених цілей у сфері якості; забезпечення поліпшування результативності СУЯ для підвищення задоволеності замовників виконанням їх вимог до наукової (науково-технічної) продукції.

Основними складниками побудови СУЯ в науковій установі можуть бути: організаційне забезпечення та розподіл відповідальності; оцінювання діяльності установи; визначення структури СУЯ; поліпшування системи планування та результативності СУЯ; аналізування діяльності установи; навчання та мотивація працівників; розробляння документації СУЯ; запровадження СУЯ.

Задля організаційного забезпечення та розподілу відповідальності важливою є роль керівника наукової установи та працівників, які безпосередньо займаються розробленням системи якості. Для створення дієвої СУЯ керівник наукової установи повинен регулярно розглядати хід розробляння СУЯ та особисто приймати рішення з різних питань, зокрема: визначення політики та цілей діяльності установи; визначення структури процесів, що мають місце в науковій установі, і розподіл відповідальності за них; забезпечення ресурсами; визначення основних показників календарного графіка розроблення СУЯ, моніторинг його виконання, аналізування причин відхилення від цього графіка; усунення неузгодженостей між різними підрозділами.

Керівник наукової установи повинен забезпечити повноваження відповідального представника керівництва з питань розроблення та впровадження СУЯ. Фактично відповідальний представник керівництва має бути призначений, готовий виконувати відповідні функції, підтримувати саму ідею розроблення СУЯ в установі, ко-

ординовати та контролювати діяльність усіх працівників із розроблення СУЯ (включаючи і тих, які йому не підпорядковані) згідно з графіком розроблення СУЯ.

У ході розроблення СУЯ графік за необхідності може бути скоригований, зокрема щодо детального планування робіт на найближчий період і переглядання термінів їх виконання на подальших етапах.

Для координування діяльності всіх підрозділів із питань побудови СУЯ під час розроблення СУЯ та для виконання значного обсягу пов'язаних із цим робіт (розроблення документації СУЯ і відстеження змін у ній; організація моніторингу процесів СУЯ; планування та проведення внутрішніх аудитів та документування їх результатів; організація нарад із питань якості та ведення протоколів; внутрішнє інформування та навчання працівників із питань СУЯ тощо) доцільно створити робочу групу з якості та обрати голову цієї групи. Діяльність голови робочої групи, як правило, підпорядкована особисто керівникові установи або відповідальному представнику керівництва.

Для оперативного виконання завдань щодо розроблення, впровадження, функціонування системи управління якістю та інформування працівників наукової установи доцільно в кожному підрозділі призначати уповноваженого з розроблення СУЯ, який виконуватиме документування прийнятих рішень щодо питань якості. Проте, керівник кожного підрозділу несе відповідальність за створення СУЯ та приймає ключові рішення щодо питань якості в очолюваному ним підрозділі. Діяльність уповноважених із розроблення СУЯ в структурних підрозділах координує відповідальний представник керівництва.

Для забезпечення керованості СУЯ з боку вищого керівництва установи необхідно періодично скликати наради наукової установи за участю відповідального представника керівництва, голови робочої групи з якості, уповноважених з розроблення СУЯ в підрозділах та/або керівників цих підрозділів. На нарадах розглядати питання щодо: забезпечення виконання календарного графіка розроблення СУЯ; аналізування проблем, що виникли; прийняття оперативних рішень щодо принципів створення та функціонування СУЯ; доручення уповноваженим із розроблення СУЯ ~~оперо~~. запропонована вище модель організаційного забезпечення та розподілу відповідальності може бути застосована під час розроблення системи управління якістю в наукових установах.

Література

1. Сахнюк, І.О. Особливості побудови і впровадження системи управління якістю в наукових установах / І.О. Сахнюк, М.Х. Битков, Н.П. Рудак, Р.Ю. Поліщук // Мат. 20-ї Міжнарод. наук.-техн. конф. «Інженерія поверхні і реновація виробів», 01–05 червня 2020, Київ. – К. : АТМ України, 2020. – С. 103–106.

2. Сахнюк, І.О. Застосування процесного підходу до побудови системи управління якістю в наукових установах / І.О. Сахнюк, М.Х. Битков, Н.П. Рудак, Р.Ю. Поліщук // Мат. 20-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика», 07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. – К. : АТМ України, 2020. – С. 113–116.

Севальнєва Т.Г., Колмаков А.Г. Інститут металургії и матеріалознавства ім. А.А. Байкова,
Севальнєв Г.С. Всеросійський інститут авіаційних матеріалів, Москва Росія
Клименко С.А., Копейкіна М.Ю. Інститут сверхтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, Київ, Україна
Хейфец М.Л. Інститут прикладної фізики НАН Білорусі, Мінськ, Білорусь

ТРИБОНАГРУЖЕНИЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА ВНС9-Ш

В настоящее время наиболее известным и серийно используемым материалом в агрегатах тяжелого машиностроения, испытывающих высокий уровень механического воздействия, является износостойкая сталь Гадфильда аустенитного класса, обладающая TRIP-эффектом [1, 2]. Перспективным аналогом, обладающим тем же эффектом и дополнительно упрочняемым при термической обработке, является сталь аустенитно-мартенситного класса ВНС9-Ш [3, 4]. Однако механическое поведение данной стали в условиях трибонагружения практически не изучено.

В работе исследованы триботехнические характеристики стали ВНС9-Ш при испытании на изнашивание в условиях трения скольжения по схеме «палец-диск» с объемным содержанием мартенситной фазы 0, 23 и 50%. Анализ результатов испытаний позволил установить, что увеличение объемной доли мартенсита до 50% увеличи-

вает время приработки до выхода на стационарный режим с 10 до 30 мин, а также увеличивается максимальный коэффициент трения во время приработки с 0,78 до 0,93 (рис. 1). Самой низкой скоростью износа обладает образец с 50% содержанием мартенсита в объеме материала, при этом твердость образцов с содержанием мартенсита 0 и 23% отличается в 2,4 раза, а твердость образцов с содержанием мартенсита 23 и 50% отличается незначительно (рис. 2).

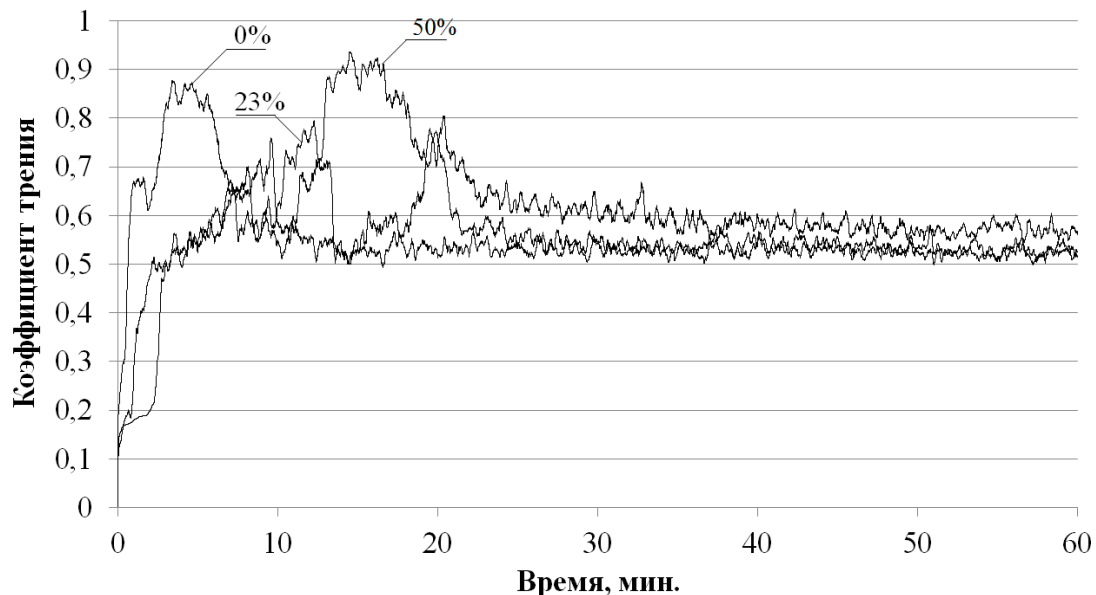


Рис. 1 – Изменение коэффициента трения в зависимости от содержания мартенсита в объеме материала

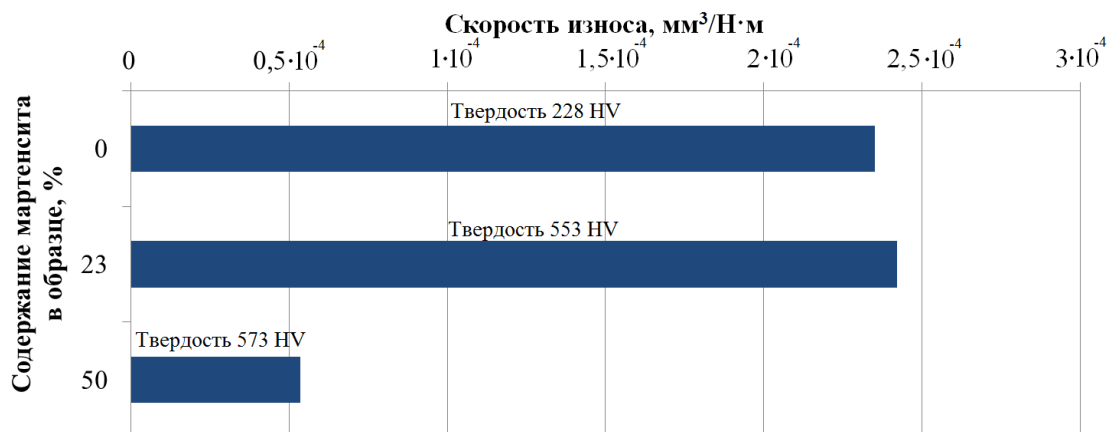


Рис. 2. – Скорость износа и твердость образцов в зависимости от содержания мартенсита в объеме материала

Литература

1. Филиппов, М.А. Стали с метастабильным аустенитом / М.А. Филиппов, В.С. Литвинов, Ю.Р. Немировский. – М. : Metallurgia, 1988. – 256 с.

2. Жавнеров, А.Н. Влияние режимов термической обработки стали 110Г13Л на качество гусеничного трака / А.Н. Жавнеров, К.А. Лозоватская // Наука и военная безопасность. – 2017. – № 1 (8). – С. 69–72.

3. Терентьев, В.Ф. Исследование зависимости механических свойств и структуры трип-стали ВНС9-Ш от температуры отпуска / В.Ф. Терентьев и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2018. – №. 6. – С. 20–25.

4. Терентьев, В.Ф. Влияние температуры отпуска на структуру и механическое поведение трип-стали ВНС9-Ш с высоким содержанием мартенсита / В.Ф. Терентьев и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2019. – №. 6. – С. 31–38.

Со стороны ИМЕТ РАН работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00328-21-00

Севидова О.К., Гуцаленко Ю.Г., Степанова І.І.
НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ

Покриви, що формують методом плазмоелектролітного оксидування (ПЕО), на сьогодні досить широко впроваджені в практику виробництва завдяки високим значень зносостійкості, корозійної стійкості та теплостійкості, а також каталітичної активності та діелектричної міцності.

Функціональні можливості ПЕО-покривів далеко не вичерпані і можуть бути розширені як за рахунок подальшого удосконалення самих методів ПЕО, так і визначенням нових об'єктів для раціонального використання тих чи інших властивостей ПЕО-шарів. Науково-експериментальною практикою останніх років в НТУ «ХПІ» встановлено, що такі покриви, нанесені на посадкові поверхні алмазних кругів, успішно виконують електроізоляційну функцію в процесах електрофізичного шліфування, зокрема алмазно-іскрового (АШВ) огляду умов експлуатації шліфувальних кругів це стимулює науково-практичні дослідження з прояву ще однієї характеристики

покривів, а саме, корозійно-захисних властивостей 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 з вивчення впливу покривів ПЕО на корозійно-електрохімічну активність алюмінієвих сплавів у технологічних середовищах процесів шліфування.

Дослідження проводили на зразках сплавів Д16Т і АК6, які зазвичай використовують для виготовлення корпусів шліфувальних кругів. ПЕО–покриви формували гальваностатичним методом в 3-х розчинах електролітів лужно-силікатної групи: I – 12 г/л РС (РС – технічний розчин натрієвого рідкого скла з густиною 1,4 г/л); II – 2 г/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/дм². 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_3 , рН = 6,5) і 1,5%-і розчини натрію трифосфату (Na_3PO_4 , рН = 11,2) і натрію карбонату (Na_2CO_3 , рН = 8,6).

Оцінку корозійно-захисних властивостей проводили електрохімічним методом – шляхом порівняння значень потенціалів корозії E_{cor} та аналізу характеристик анодних поляризаційних кривих (АПК). Швидкість змін потенціалу складала 1мВ/с, електрод порівняння – хлорид срібний.

Аналіз значень потенціалів корозії дозволяє зробити висновок, що в розчині електроліту NaNO_3 сплав АК6 потенційно більш активний, ніж сплав Д16Т. Про це свідчать від’ємніші значення потен-

ціалів E_{cor} 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_{cor} . Слід зазначити, що на сплаві Д16Т це явище перебігає ефективніше – за 30 хв. витримки значення E_{cor} на ньому ушляхетнилось на 340 мВ, а на АК6 – тільки на 150 мВ.

Для більшості зразків з ПЕО-покриттями на обох сплавах впродовж витримки теж зберігалась тенденція зсуву значень E_{cor} 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 покриттів та ускладненням перебігу анодних реакцій.

На зразках із покриттями на основі АК6 спостерігалась ще одна особливість – однозначна якісна залежність між усталеним значенням E_{cor} та густиною формувального струму. Зокрема, більшому значенню густини відповідав від'ємніший потенціал корозії. Враховуючи, що інтегральне значення E_{cor} зразка з діелектричними покриттями, якими є ПЕО-шари, залежить від площі наскрізних пор, можна припустити, що зростання густини від 5 до 15 А/дм² сприяє збільшенню пористості покриттів за умов приблизно однакової їх товщини. Анодні поляризаційні залежності підтверджують висновки щодо підвищеної корозійної активності сплаву АК6 порівняно з Д16Т в нейтральному розчині NaNO_3 . Активація анодних процесів на обох вихідних сплавах починається безпосередньо від усталених значень потенціалів корозії, але на АК6 показник поляризованості ($\Delta E/\Delta j$) 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_3PO_4 захисний ефект ПЕО-покриттів до основи Д16Т зберігається з тим же пріоритетом, що й у розчині NaNO_3 : 0:12 > 1:6 > 2:12.

Менш виразно цей ряд спостерігається в розчині Na_2CO_3 з практики АПШ на зразках із сплаву АК6, хоча у початковий період, за умов зсуву потенціалу від E_{cor} приблизно на 400 мВ, порядок захисту аналогічний.

Подальше порушення порядку розміщення кривих може бути пов'язане з утворенням нерозчинних продуктів анодної реакції (ко-

розії) і закриттям ними пор. Загалом ефективність захисту обох алюмінієвих сплавів в лужних середовищах МОР із ПЕО-покривами дещо вища, ніж в нейтральному розчині NaNO_3 .

Севидова О.К., Пупань Л.І., Гуцаленко Ю.Г.
НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

МОРФОЛОГІЯ ТА КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ

Зв'язок морфології та її ознаки у вигляді пористості як структурної складової поверхні покривів, отриманих за методом плазмоелектролітного оксидування (ПЕО), з їх функціональними властивостями, зокрема корозійно-захисними у технологічних середовищах експлуатації алмазно-абразивних інструментів з ПЕО-покривами посадкових поверхонь корпусів з алюмінієвих сплавів в умовах комбінованої прямим підводом електричного струму в зону різання обробки [1, 2], зокрема алмазно-іскрового або алмазно-електролітичного шліфування, мало вивчений. Важливе місце таких технологій в машинобудівних виробництвах з використанням важкооброблюваних матеріалів високої функціональності стимулює дослідження в цьому напрямі.

Проведено дослідження з якісної оцінки зв'язку поверхневої структури покривів ПЕО з корозійно-електрохімічною активністю алюмінієвих сплавів у технологічних середовищах процесів шліфування.

Дослідження проводили на зразках з найбільш типових для виготовлення корпусів алмазних шліфувальних кругів алюмінієвих сплавів Д16Т і АК6. ПЕО-покриви товщиною 30...45 мкм 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).

В якості корозивних середовищ використовували модельні розчини технологічних рідин: 5%-ий натрію нітрат (NaNO_3 , рН = 6,5) і

1,5%-і розчини натрію трифосфату (Na_3PO_4 , рН = 11,2) і натрію карбонату (Na_2CO_3 , рН = 8,6).

Оцінку корозійно-захисних властивостей проводили електрохімічним методом – шляхом порівняння значень потенціалів корозії E_{cor} та аналізу характеристик анодних поляризаційних кривих (АПК). Швидкість змін потенціалу складала 1 мВ/с, електрод порівняння – хлорид срібний.

Наскрізну пористість покривів оцінювали за контактним виділенням міді. У візуальних дослідженнях використовували мікроскоп USB Supereyes B008.

Поверхню вихідних та з покривами зразків сплавів для досліджень за загальною схемою промивали дистильованою водою та висушували, за іншою (для вихідних) – попередньо обробляли шліфувальним папером, промивали і висушували. Зразки з покривами тільки промивали і висушували.

Виявлено, що формування ПЕО-покривів на поверхні сплавів призводить до суттєвого зменшення анодних струмів. 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 покривів за струмами ділянок АПК, що відповідають пасивному стану, то максимальне значення (приблизно в 10 разів) спостерігалось у покриві з електроліту 0:12, а мінімальне (приблизно в 2 рази) – з електроліту 2:12 узгоджується з висновками щодо визначення наскрізної пористості хімічними методами. Аналіз результатів мікроскопічного дослідження поверхні ізоляційних покривів, сформованих в гальваностатичному режимі в різних електролітах за однаковою густиною струму, дозволив стверджувати, що найменшою регулярною відкритою і наскрізною пористістю характеризуються ПЕО-покриви, сформовані в розчині 0:12. Осади контактної міді в них за 45-кратним збільшенням спостерігались тільки в кратерних дефектах, розміром приблизно 20 ± 5 мкм, які, ймовірно, утворюються під час переходу мікродугового розряду в дуговайдентичного збільшення на покривах, сформованих в розчині 2:12, фіксується велика кількість системних відкритих пор розміром 2–4 мкм і включень міді 1–2 мкм. Порівняно з поверхнею покривів 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 ~ 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 електроліті 0:12. У лужних середовищах МОР ефективність захисту алюмінієвих сплавів вища, ніж у нейтральному розчині NaNO_3 .

Результати досліджень дають підставу вважати, що ПЕО-покриття можуть бути ефективно застосовані для корозійного захисту алюмінієвих корпусів алмазно-абразивних інструментів у технологічних середовищах комбінованого шліфування з підводом електричного струму в зону різання.

Литература

1. Gutsalenko, Yu. Evaluation of technological capability to form dielectric on АК6 alloy, using a method of microarc oxidation / Yu. Gutsalenko, E. Sevidova I. Stepanova // Surface engineering and applied electrochemistry. – 2019. – 55(5). – P. 602–606.
2. Гуцаленко, Ю. Г. Вплив режимів плазмоелектролітного оксидування на діелектричні властивості покриттів на сплаві Д16Т / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Степанова, І. І. Степанова // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 66–72.

Сергеев Н.Н., Сергеев А.Н., Кутенов С.Н., Гвоздев А.Е.
Тульский государственный педагогический университет
им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия,
Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В. Институт металлургии и
материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Институт прикладной физики
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОПЛАВЛЕНИЯ НА КОГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Для изыскания оптимальных путей экономии металлов и повышения долговечности оборудования все большее внимание уделяется замене высоколегированных высокопрочных сталей недефицитными низколегированными или углеродистыми сталями с защитными покрытиями. Выбор метода нанесения покрытия в основном определяется формой изделия, его назначением и условиями эксплуатации. При выборе материала покрытия необходимо учитывать ряд факторов, среди которых важную роль играет прочность самого покрытия [1]. Когезионная прочность является одним из основных свойств при оценке качества покрытия и характеризует ресурс самого материала покрытия. Она зависит от химического состава, структуры покрытия, его толщины и пористости. В работе определяли когезионную прочность следующих покрытий: ПГСР-4, ХВС-3, ХТН-23. Химический состав исследованных покрытий приведен в табл. 1. Покрытия наносили на образцы среднелегированной конструкционной стали 30ХГСА (0,30% С; 1,00% Мn; 1,05% Si; 0,025% Ni; 0,02% Cu; 0,016% S; 0,013% P; $\sigma_B = 1450$ МПа; $\sigma_{0,2} = 1270$ МПа; $\delta_5 = 7\%$; $\psi = 19\%$) [3]. Перед нанесением покрытий производили обработку поверхности образцов в дробеструйной камере корундом. Для напыления применяли установку УПУ-3 с горелкой ПП-25. В качестве плазмообразующего газа использовали смесь аргона с азотом. Расход плазмообразующего газа составил 38–40 л/мин; расход транспортного газа – 6–8 л/мин; расход порошка 1–2 кг/час; дистанция напыления – 90–100 мм; напряжение – 45–48 В; сила тока – 325–350 А. В процессе напыления покрываемую поверхность нагревали до 200 °С, что позволило сохранять особенности структуры и свойств мате-

риала основы. Покрытие, полученное после напыления, имеет пористую структуру. Для повышения качества покрытий их подвергали дополнительной термической обработке – оплавлению поверхностного слоя нагревом пропаново-кислородной смесью до температуры плавления сплава (1050–1100 °С) с последующим медленным охлаждением в сухом песке. Испытания на когезионную прочность проводили при разрыве сборного из двух частей цилиндрического образца, на который наносилось покрытие [1, 3].

Таблица 1 –Химический состав исследуемых покрытий

Марка покрытия (порошок)	Содержание элементов, %										
	Fe	Cr	Ni	Ti	Cu	Al	V	B	Si	C	O
ХВС-3	79,4	12,5	–	–	0,6	–	6,0	–	–	1,5	–
ХТН-23	56,8	21,5	8,9	2,1	–	6,1	–	4,5	–	–	0,1
ПГСР-4	–	16–18	основа	–	–	–	–	3,1–4,0	3,8–4,5	0,8–1,2	–

Результаты исследований по влиянию оплавления на когезионную прочность (при толщине напыленного слоя 0,1–0,6 мм) покрытия ПГСР-4 показали, что когезионная прочность покрытия после оплавления и дополнительной механической обработки (шлифования) зависит от толщины напыляемого слоя. Установлено, что при изменении толщины покрытия от 0,4 до 0,8 мм когезионная прочность уменьшается от 550 до 170 МПа [2].

Для установления влияния процесса оплавления на изменение размеров пор и характера их распределения по сечению покрытия проводили металлографические исследования на поперечных шлифах образцов с покрытием ХТН-23. Установлено, что образцы после оплавления имели низкую пористость. Однако, даже у оплавленных образцов верхняя граница покрытия имела еще достаточное количество крупных пор, которые удаляли последующим шлифованием. В зоне контакта покрытия и основы у оплавленных образцов была замечена светлая зона [2], которая отличалась тем, что плотно прилегала к основе и имела незначительное количество дефектов. У оплавленного покрытия за бездефектной зоной следует зона повышенной пористости, затем количество пор снижается, а при приближении к поверхности вновь увеличивается. В ряде образцов наблюдали неглубокие трещины термического происхождения, что отрицательно сказывается на физико-механических свойствах оплавленных покрытий.

Когезионная прочность не оплавленных покрытий ХТН-23 низка: для одного из образцов она составила 41 МПа, а второй образец разрушился при сборке. После оплавления прочность покрытия на порядок выше. Исследование характера разрушения оплавленных образцов покрытия ХТН-23 показывает, что у шлифованных образцов, несмотря на различную толщину покрытия, линия разрыва практически не изменяется. У нешлифованных образцов с увеличением толщины напыленного слоя линия раздела более искривлена, происходит частичный отрыв покрытия от основы, это можно объяснить тем обстоятельством, что существует корреляция между толщиной и дефектностью покрытия. Процесс оплавления увеличивает когезионную прочность покрытия ХВС-3, но она была несколько ниже, чем у оплавленного покрытия ХТН-23. Было установлено, что при увеличении толщины покрытия больше 0,6 мм сила сцепления частиц покрытия между собой уменьшается.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Процесс оплавления поверхностного слоя покрытий положительно влияет на их механические свойства, однако при этом наблюдается образование дефектов, которые не позволяют оценить фактическую когезионную прочность таких покрытий.

2. Когезионная прочность покрытия ПГСР-4 после оплавления и шлифовки зависит от толщины напыленного слоя. С увеличением толщины покрытия от 0,4 до 0,8 мм когезионная прочность уменьшается до 550 МПа до 170 МПа.

3. Процесс оплавления поверхностного слоя покрытия ХТН-23, ХВС-3 увеличивает в несколько раз когезионную прочность по сравнению с неоплавленными. С увеличением толщины оплавленного покрытия ХВС-3 от 0,4 до 0,8 мм когезионная прочность уменьшается, а дальше – практически не изменяется.

Литература

1. Сергеев, Н.Н. Физико-механические и коррозионные свойства металлических материалов, эксплуатируемых в агрессивных средах: монография / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, С.Н. Кутепов и др. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2019. – 553 с.

2. Сергеев, Н.Н. Влияние процесса оплавления на когезионную прочность порошковых плазменных покрытий / Н.Н. Сергеев, М.В.

Ушаков, А.Н. Сергеев и др. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 2. – С. 430–441.

3. Патент на полезную модель 2016122692/28 (166249) Образец для определения когезионной прочности газотермических порошковых покрытий / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов и др. – Бюл. № 32.

Частично работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-08-00556

*Соловых Е.К., Катеринич С.Е., Соловых А.Е.,
Маговец С.А., Дубовик В.А. Центральноукраинский
национальный технический университет, Кропивницкий, Украина*

ПРИЧИНЫ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО- ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ

На кривошипно-шатунный механизм действует инерционная сила, возникающая вследствие неравномерности движения шатунно-поршневой группы. Эта сила действует вдоль оси цилиндра периодически и достигает своего наибольшего значения в момент изменения направления движения поршня, причем, значения инерционной силы в нижнем положении поршня больше, чем периодически действующие давление газов и инерционная сила передают коленчатому валу толчки, скручивают его и изгибают, вызывая упругие деформации. В результате упругих деформаций в вале возникают внутренние напряжения. При совпадении периодов и направлений давления газов и инерционной силы, с одной стороны, и упругих внутренних напряжений – с другой амплитуда колебаний вала возрастает, что приводит к образованию в наиболее напряженных местах (галтелях и щеках) усталостных трещин, развитие которых может вызвать поломку вала. Во время работы при вращении коленчатого вала, кроме периодически действующих сил, возникает центробежная сила неуравновешенной массы шатуна, действующей на шатунные и коренные шейки вала. Эта сила постоянно прижимает шатунный подшипник к шейке вала со стороны кривошипов.

Анализ работы приведенных сил показывает, что основная часть работы трения между шатунами и шатунными шейками приходится

на части шеек, направленные в сторону оси коленчатого вала. Вследствие этого у шатунных шеек коленчатых валов автотракторных двигателей в основном изнашиваются эти части, в результате чего шейки становятся овальными. При таком износе шатунных шеек увеличивается радиус кривошипа и, следовательно, ход поршня, что приводит к увеличению степени сжатия. Кроме того, в случае замены верхнего компрессионного кольца оно будет ударяться о буртик цилиндра, образовавшийся в результате износа, быстро изнашиваться по высоте и ломаться. Сила инерции и центробежная сила способствуют также износу коренных шеек коленчатого вала.

Износ шатунных шеек коленчатого вала в значительной мере зависит от изгибов шатуна и коленчатого вала, а также от перекосов в шатунно-поршневой группе. В этих случаях поршень работает в цилиндре с перекосом. Расположение большей оси овала цилиндров в плоскости продольной оси коленчатого вала свидетельствует об изгибе шатуна, нежесткости коленчатого вала или перекосе, полученном при сборке шатуна с поршнем.

Кроме сил трения, на износ шеек большое влияние оказывают конструкция вала и его жесткость. По мере уменьшения диаметров шатунных и коренных шеек в результате шлифования прогиб вала во время работы двигателя возрастает, что приводит к перекосу шатунов на шейках вала и поршней в цилиндрах и усиливает процесс изнашивания. Износ шатунных шеек на конус обуславливается главным образом перекосом шатунов на шейках. Конусность коренных шеек в результате износа незначительная. Износ коренных шеек, кроме того, в значительной мере зависит от несоосности коренных подшипников и шеек, несоосности коленчатого вала и вала муфты сцепления, а также от несбалансированности коленчатого вала, маховика и муфты сцепления. Соосность коренных подшипников нарушается в результате индивидуальной их расточки, износа постелей под вкладыши, коробления блока, неправильной сборки. Коленчатые валы могут иметь следующие дефекты:

- овальность, конусность и повреждение шатунных и коренных шеек (задиры, глубокие риски, вмятины, следы коррозии или значительная волнистость их поверхности);
- износ гнезда в торце коленчатого вала под шарикоподшипник вала муфты сцепления и посадочных мест под шестерни и шкив вентилятора;
- повреждение или износ отверстий под болты крепления маховика;

- износ шпоночной канавки и маслосгонной резьбы.

Шейки валов и их подшипники изнашиваются вследствие воздействия на них физических, химических и других факторов. Силы, действующие при работе двигателя в кривошипно-шатунном механизме, возникают периодически, один раз за два оборота коленчатого вала меняются по величине и направлению и наибольшего значения достигают при рабочем ходе поршня.

Качество и свойства смазочного масла сильно влияют на износ коленчатого вала и подшипников. Практика показывает, что неудовлетворительное состояние масла и узлов системы смазки, в особенности фильтрующих устройств, значительно усиливает изнашивание шеек коленчатых валов. Абразивные частицы и продукты износа, попадая с маслом в подшипники вала, оседают в антифрикционном слое и изнашивают шейки вала.

Большая разница в массе деталей шатунно-поршневой группы влияет на износ коленчатого вала. Чем больше разница в массе шатунно-поршневой группы, тем больше колебания коленчатого вала, следовательно, тем быстрее изнашиваются шейки вала и подшипники. Продольное перемещение вала, изгиб и скрученность шатунов приводят к перекосам шатунов на шейках вала и поршней в цилиндрах, вследствие чего резко увеличивается изнашивание этих деталей.

Сохань С.В., Сороченко В.Г., Сороченко Т.А.
Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРИКОВ ПОДШИПНИКОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Эффективное применение конструкционной керамики в качестве деталей машин действительно требует решения двух задач: во-первых, создать композиционный материал с требуемыми физико-механическими и теплофизическими свойствами; во-вторых, разработать высокоэффективные способы механической обработки резанием, соответствующие заданным условиям. При этом нужно иметь в виду, что в настоящее время трудоёмкость получения исходного

материала составляет примерно 10–12%, а трудоемкость механической обработки резанием, которая является наиболее ответственной и трудоемкой операцией в технологическом цикле изготовления изделий из них, составляет около 40%.

В основу усовершенствования технологии алмазно-абразивной обработки сферических тел положена гипотеза равномерного формирования и последовательного выравнивания следов обработки на поверхности шариков за счет дополнительной периодической смены положения мгновенной оси их вращения, что способствует в конечном итоге повышению геометрической точности обрабатываемых изделий, увеличению производительности и качества обработки. Для реализации этого положения разработано технологическое устройство к станку модели 3E814, состоящее из двух дисков-притиров, сепаратора и дополнительного тормозящего механизма, условно названного нами «вертебль». Установленные на станке соосно диски-притиры, нижний из которых является вращающимся с регулируемой окружной скоростью, имеет на поверхности кольцевую канавку. Верхний диск- притир не вращается, может упруго перемещаться в вертикальной плоскости, что обеспечивает заданный фиксированный и управляемый прижим обрабатываемых шариков к кольцевой канавке. Сепаратор смонтирован без касания обоих дисков-притиров и представляет собой тонкий металлический диск с открытыми по периферии сквозными радиальными пазами. Он предназначен для равномерного распределения шариков по окружности нижнего диска-притира. Верхний диск может иметь один или несколько радиальных пазов для периодического освобождения обрабатываемых шариков от нагрузки, находящихся в данный момент в пазе. Кроме того в данном устройстве имеется тормозящий механизм. Возможно введение нескольких аналогичных тормозящих механизмов. Они закрепляются на станине станка с боку открытых пазов сепаратора. Благодаря торможению шаров в этой зоне обеспечивается дополнительное принудительное вращения ненагруженных шаров по нормали к плоскости их движения (изменение мгновенной оси вращения шариков). Усовершенствованное технологическое устройство для чистовой алмазно-абразивной обработки керамических шариков проиллюстрировано на рис. 1, а, а также видом сверху на сепаратор с шариками (рис. 1, б).

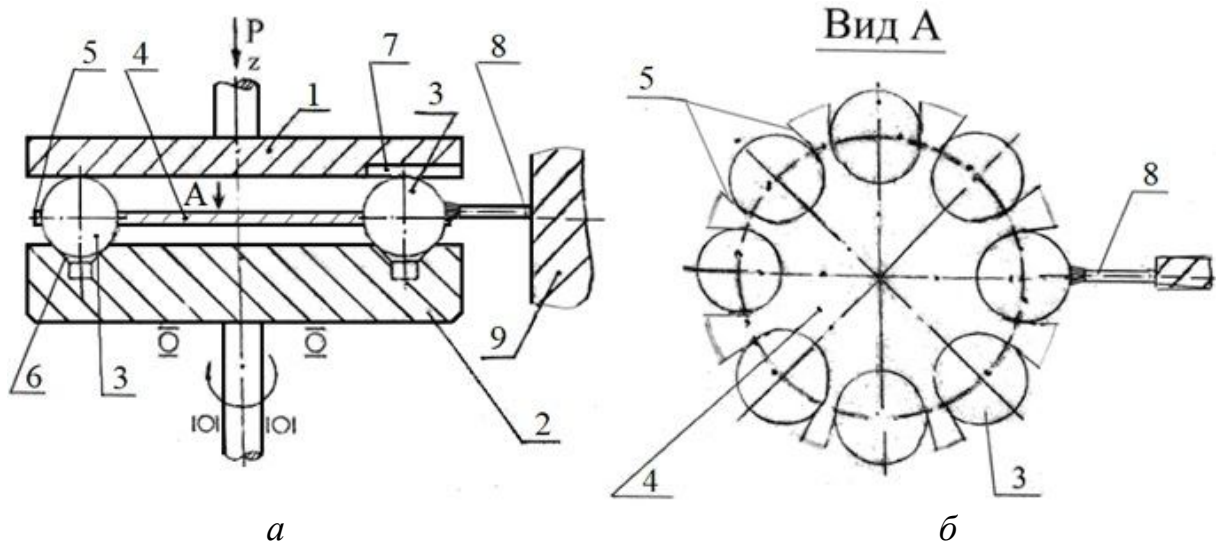


Рис. 1 – Схема усовершенствованного технологического устройства для чистовой алмазно-абразивной обработки керамических шариков:
a – общий вид; *б* – вид сверху на сепаратор с шариками

На рис. 1 показаны смонтированные соосно верхний 1 и нижний 2 диски-притиры, между которыми расположены шарики 3, равномерно распределенные по окружности сепаратором 4 в открытых по периферии сквозных пазах (см. рис.1, б). Сепаратор смонтирован без касания дисков. Для обеспечения непрерывного перемещения шариков 3 в рабочей зоне нижний вращающийся вокруг оси Z диск 2 имеет кольцевую канавку 6. Верхний диск 1 не вращается, перемещаясь в вертикальной плоскости упруго прижимает вращающиеся шарики к стенкам канавки 6. Один или несколько радиальных пазов 7 в верхнем диске 1 создают условия для периодического освобождения каждого последующего шарика из под нагрузки силой P. Для обеспечения дополнительного вращения ненагруженных шариков 3 вокруг нормали к плоскости их вращения в рассматриваемом устройстве смонтированы один или несколько тормозных механизмов 8, закрепленных на станине станка 9 со стороны открытых пазов сепаратора 5. Работа устройства происходит следующим образом. Обрабатываемые шарики движутся между дисками-притирами 1 и 2 под действием силы прижима P со стороны верхнего диска 1 по кольцевой канавке 6 во вращающемся нижнем диске, пребывая одновременно в открытых по периферии сквозных радиальных пазах 5 сепаратора 4. В то время, когда шарик находится в радиальном пазу 7 верхнего диска 1 происходит его освобождение от прилагаемой нагрузки. Одновременно с боковой стороны начинает воздействовать на него тормозящий элемент 8, выполненный в виде, например, тре-

щетки. Касаясь поверхности шарика, происходит дополнительное вращение ненагруженного шарика вокруг нормали к плоскости его движения. Указанное дополнительное движение шарика изменяет положение мгновенной оси вращения, что в конечном итоге обеспечивает выравнивание следов сетки обработки и создает условия для повышения производительности труда и улучшения качества обрабатываемых шариков.

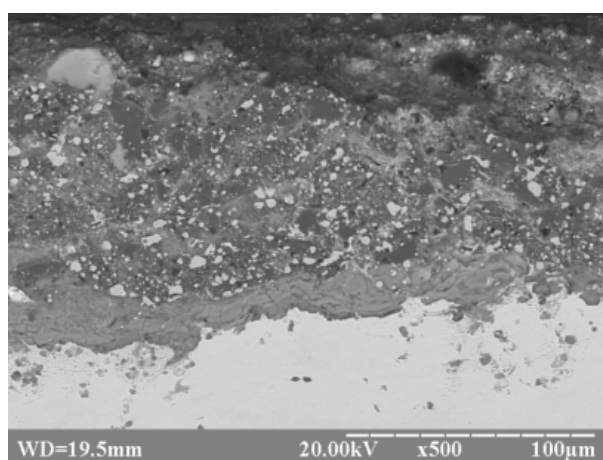
Данное технологическое устройство для чистовой алмазно-абразивной обработки шариков технологично и пригодно для промышленного применения.

*Тамаргазін О.А., Довгаль А.Г., Варюхно В.В.,
Кабика С.М. Національний Авіаційний університет,
Київ, Україна*

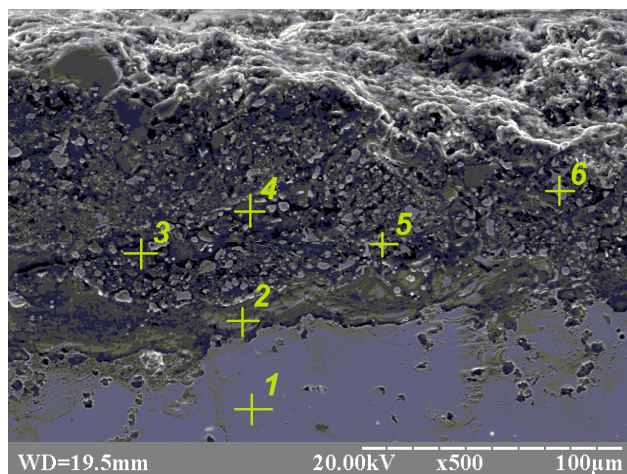
СТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РЕЖИМІВ ЇХ НАНЕСЕННЯ

Нанесення чистої порошкової шихти керамічної системи Al_2O_3 - ZrO представляє суттєву технологічну складність із-за низької адгезії цієї композиції до металевих сплавів. Тому з початку було підібрано підшар для термобар'єрного покриття, що показало задовільну адгезію за всього температурного діапазону покриття. Покриття наносили на плазмовій установці: «ОПУ-3Д», на якій визначали оптимальні режими нанесення плазмових покриттів по товщині та щільності покриття. Для отримання композицій були вибрані наступні режими – плазмоутворюючий газ $Ar+H_2$. Транспортуючий газ – Ar . Витрати аргону 20–40 л/хв. (при умовах горіння низькотемпературної плазми навколо струї порошку). Дистанція напилення 130 мм. Сила току плазмоутворюючої горілки 500 А, що відповідає температурі низькотемпературної плазми 15000 °С за тарировочним графіком. Напруга між електродами 65 В. Покриття наносилися на пласкі зразки для визначення теплостійкості та міцності на розрив вони ж розрізалися для дослідження мікроструктури покриття. Отримані пласкі зразки піддавали електроіскровій різці та полірували алмазними пастами для отримання шліфів, що потім досліджувалися на електронному мікро-

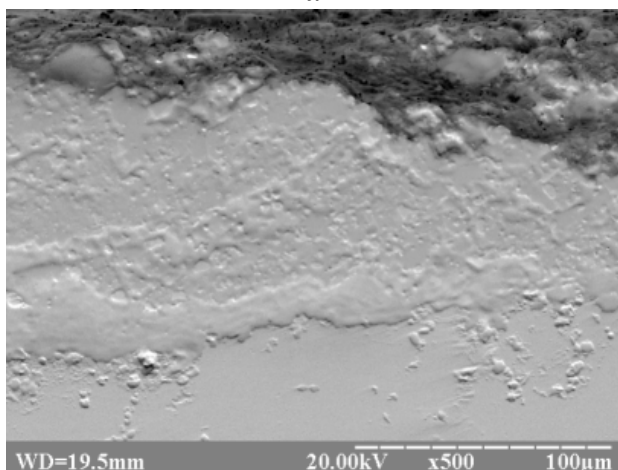
скопі РЕМ-106И. У якості факторів оптимізації було обрано: температуру плазмового полум'я та витрату аргону, що визначав витрату порошку, як транспортувального газу.



a



б



в

Рис. 1 – Структура термобар'єрного плазмового багатшарового композиційного покриття нанесеного композицією Al_2O_3-ZrO за збільшення 500 і товщини вихідного Ni_3Al підшару 50 мкм із зазначеними ділянками мікрорентгеноспектрального аналізу (температура нанесення 15000 °С, витрата аргону 30 л/хв.)

Мікроструктура термобар'єрного плазмового багатшарового композиційного покриття нанесеного композицією Al_2O_3-ZrO за збільшення 500 і товщини вихідного Ni_3Al підшару 50 мкм із зазначеними ділянками мікрорентгеноспектрального аналізу (температура нанесення 15000 °С, витрата аргону 30 л/хв. (рис. 1, табл. 1) представляє собою багатшарову гетерофазну систему, що складається із фаз двох характерних кольорів. Основна темна фаза, що складає 65–70% від площі покриття, в котрій рівномірно розподілені частинки білі та сірі частинки. Поверхня переходу «покриття-підшар-підкладка» візуально чітка, викривлена шорсткістю без суттєвих пошкоджень на межі розділу. Товщина покриттів змінюється в межах 80–100 мкм. Пористість покриття не перевищувала 5%. Розмір керамічних складових змінюється в межах від 3 до 10 мкм.

Таблиця 1 – Результати МРСА ділянки покриття рис. 1

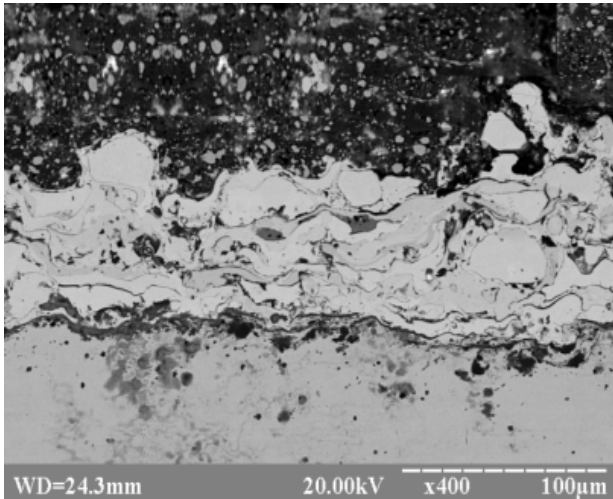
Спектр	Ni	O	Al	Zr	Fe
Спектр 1	17,53	–	–	–	59.17
Спектр 2	85,42	–	14,15	–	–
Спектр 3	–	54,02	45,98	–	–
Спектр 4	–	53,03	46,97	–	–
Спектр 5	–	44,36	–	55,64	–
Спектр 6	–	45,95	–	47,05	–

Варто відзначити, що за температури у 15000 °С відбувається суттєве випаровування основної шихти покриття, що демонструється низькою покривністю. Суттєвої негативної термічної дії зазнає і підшар покриття, товщина якого складала 50 мкм, а у багатошаровій композиції складала 15–20 мкм. Що свідчить про те, що температуру плазми варто зменшити, для покращення структурних характеристик покриття.

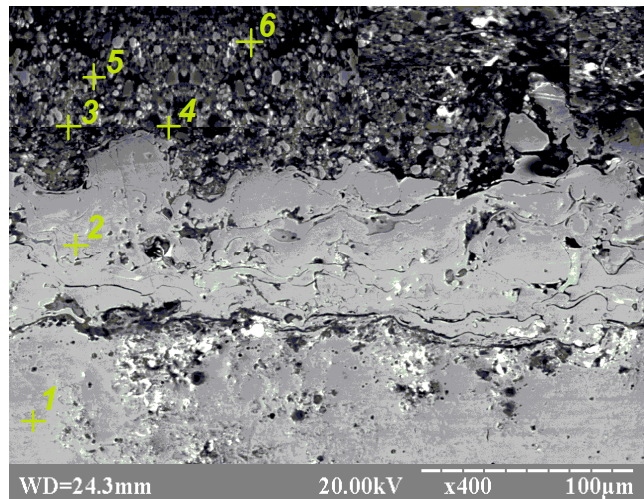
Об’ємний вміст керамічних фаз в покритті не відповідає вихідному, що пояснюється технологічними втратами при нанесенні покриттів. Кількість керамічних компонентів в композиційному покритті складає 80–85%. Для більш детального аналізу структурних складових було проведено рентгенофазний аналіз ділянки покриття, що підтвердив наявність відповідних фаз оксиду алюмінію (спектри 3 та 4 рис. 1, б), оксиду цирконію (спектри 5 та 6 рис. 1, б) мікрорентгеноспектральний аналіз ділянки покриття.

Мікрорентгеноспектральний аналіз ділянки покриття також виявив підшар із Ni_3Al (спектр 2 рис. 1, б) та підкладку із жароміцної сталі (спектр 1 рис. 1, б).

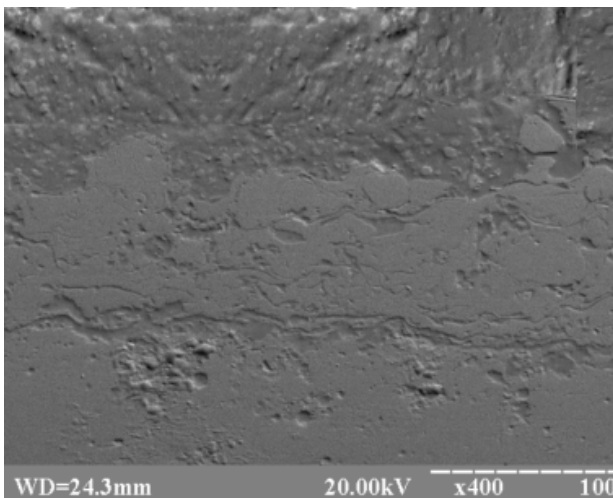
Результати дослідження структури термобар’єрного плазмового багатошарового композиційного покриття нанесеного композицією Al_2O_3-ZrO за збільшення 400 і товщини вихідного Ni_3Al підшару 50 мкм із зазначеними ділянками мікрорентгеноспектрального аналізу (температура нанесення 12500 °С, витрата аргону 30 л/хв. (рис. 2, табл. 2), таким чином в покриття також були виявлені фази оксиду алюмінію (рис. 2, спектри 3 та 4), оксиду цирконію (рис. 2, спектри 5 та 6) та суттєво поверхнево збурений енергією низькотемпературної плазми проміжний шар (рис. 2, спектр 2) та підкладку з жароміцної сталі 20X23H18 (рис. 2, спектр 1).



a



б



в

Рис. 2 – Структура термобар’єрного плазмового багаточарового композиційного покриття нанесеного композицією Al_2O_3-ZrO за збільшення 400 і товщини вихідного Ni_3Al підшару 50 мкм із зазначеними ділянками мікрорентгеноспектрального аналізів (температура нанесення 12500 °С, витрата аргону 30 л/хв.)

Ймовірно, низькотемпературна плазма переплавляє підшар покриття та збурила його частинки та занесла у основу покриття. Це підтвердив і рентгенофазовий аналіз покриття, котрий показав наявність в ньому фаз ZrO , Al_2O_3 , Ni_3Al . Розмір частинок композиційного покриття не перевищував 7–10 мкм. Товщина покриття – 150 мкм, зберігається і підшар 50–60 мкм завтовшки.

Таблиця 2 – Результати МРСА ділянки покриття рис. 2

Спектри	Ni	O	Al	Zr	Fe
Спектр 1	18,64	-	-	-	56,36
Спектр 2	84,31	-	15,69	-	-
Спектр 3	-	55,13	44,87	-	-
Спектр 4	-	51,92	48,08	-	-
Спектр 5	-	43,25	-	56,75	-
Спектр 6	-	44,06	-	55,94	-

Надалі отримані покриття за різноманітних режимів було випробувано на термічну ерозію у середовищі повітря за температур 900–1000 °С та було випробувано тимчасову міцність на розрив на машині.

Так як композиційні термобар'єрні покриття призначалися для роботи в якості робочих поверхонь вихлопної системи силових установок авіаційної наземної техніки, то і режими термічних випробувань були вибрані такими, які моделюють умови роботи агрегатів вихлопної системи ДВЗ АНТ. Відповідні зразки з покриттями витримувалися статично протягом 1 год. за температури 1000 °С потім шляхом надточного зважування визначалася відносна масова термічна ерозія у відсотках та визначалася тимчасова міцність на розривання. Результати термічних у залежності від температури плазми випробувань наведено на рис. 3 та 4.

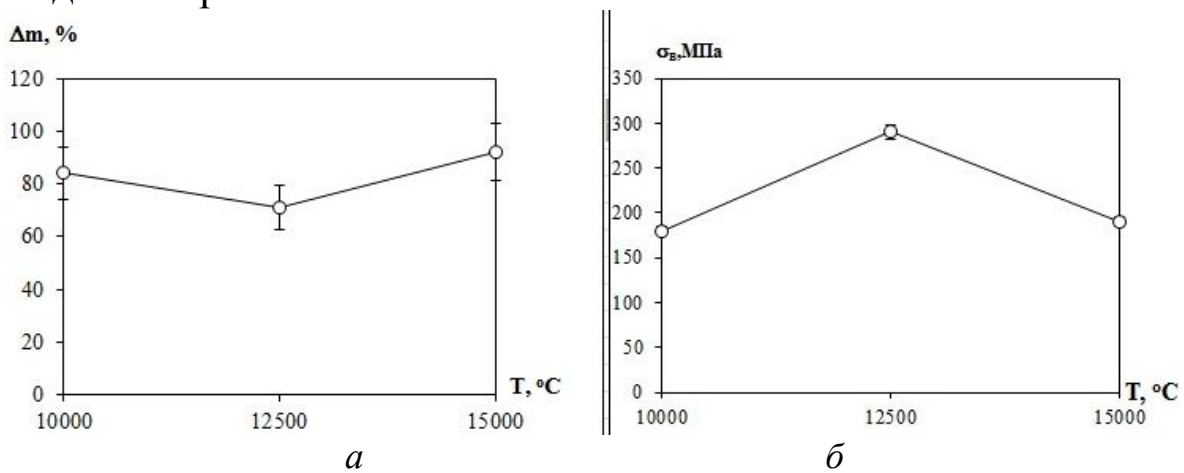


Рис. 3 – Відносна масова термічна ерозії (а) і тимчасова міцність на розрив (б) від температури низькотемпературної плазми

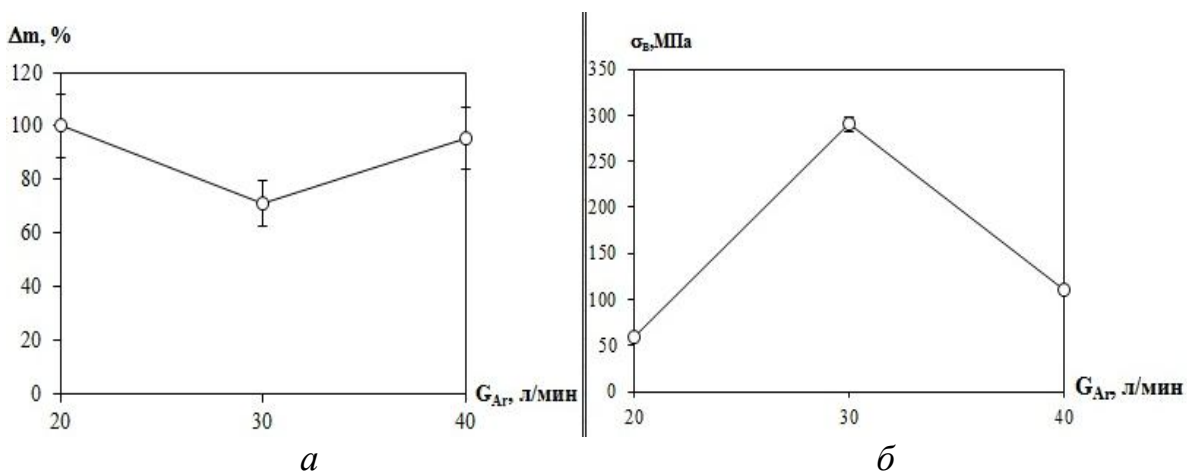


Рис. 4 – Відносна масова термічна ерозія (а) і тимчасова міцність на розрив (б) від витрати транспортуючого та плазмоутворюючого газу (аргону)

Так у залежності від температури нанесення маємо екстремальне значення як за масовою термічно. ерозією так і міцність жароміцної захищеної сталі за температури плазми 12500 °С, так як зависока температура плазми випалює підшар, а низька не забезпечує необхідної адгезії компонентів.

Таким чином у залежності від витрати транспортуючого та плазмоутворюючого газу (аргон) нанесення покриттів (що є аналогом витрати порошку) теж спостерігається екстремальне значення для 30 л/хв., що можливо є оптимальним для термічної активації та кінетики структуроутворення покриття на поверхні підшару.

Тверитникова О.Є., Мельник Т.В. НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКОСТІ НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ ДСТУ 9001:2015 НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІЗ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТУ ТА НАФТИ

Експлуатація нафтопереробних підприємств веде до значного забруднення атмосфери, тому вирішення природоохоронних питань з врахуванням існуючого передового світового досвіду є важливим завданням. На сучасному етапі розгортання євроінтеграційних процесів необхідним для забезпечення рентабельності промислового комплексу, створення конкурентоспроможної продукції має бути модернізація виробництва та пошук оптимальної взаємодії між навколишнім природним середовищем і задоволенням базових потреб суспільства. Дослідження досвіду різних країн щодо проведення природоохоронних заходів в умовах переробних підприємства, дозволяє визначити комплекс цих заходів та вибрати серед них пріоритетні. Це перш за все впровадження інтегрованих систем управління якістю, які спираються на виконання вимог стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 [1]. Особливості підприємств з переробки нафти і газу це дотримання галузевих правил, що сформульовані Національної акціонерної компанією «Нафтогаз України». Це впровадження Системи керування докільям на об'єктах нафтогазового комплексу

згідно вимогам ISO 14000 та систем управління якістю. Екологічна політика підприємства повинна спиратися на взаємодію між виробничою діяльністю та різними заходами з захисту довкіллям.

На сучасному етапі розвитку виробництва найбільш ефективнішим способом управління є впровадження інтегрованої системи управління. Безумовно, пріоритетним для підприємства є системи управління якістю, але не менш важливе значення мають проблеми екології, безпеки умов виробництва. Порівняльний аналіз результативності впровадження інтегрованих систем свідчить про популярність цих заходів на підприємствах Європи. Зокрема, за даними національних організацій зі стандартизації впровадження інтегрованих систем зростає. Впровадження інтегрованих систем управління на підприємствах з перероблення нафти та газу має істотні переваги, це перш за все забезпечення більшої узгодженості у внутрішньому середовищі підприємства та між різними системами управління, підвищення ефективності діяльності та використання ресурсів, оптимізація внутрішніх та зовнішніх зв'язків та документообігу на всіх рівнях підприємства. Також зниження витрат на розроблення й впровадження низки систем управління. Впровадження на системі управління базується на таких методологічних підходах, як розроблення адитивної моделі, що передбачає поетапне додавання до основної структурної моделі системи управління якістю інших систем та моделі одночасного інтегрування, що передбачає одночасне об'єднання різних систем управління в єдину схему. Засновуючись на циклічній моделі управління якістю, що була створена Е. Демінгом, запропонована структурна-логічна схема моделі інтегрованої системи управління для підприємства з переробки газового конденсату та нафти, що є складовою всієї системи управління підприємства [2].

Потрібно враховувати особливості впровадження систем управління якістю на підприємствах нафтової, нафтохімічної та газової промисловості регіону відповідно до вимог ДСТУ ISO/TS 29001:2010 «Системи управління якістю. Вимоги до організацій, які постачають продукцію і надають послуги в нафтовій, нафтохімічній і газовій промисловості (ISO/TS 29001:2010, IDT)» [3].

Крім того потрібно враховувати питання гігієни і безпеки праці запровадив систему управління безпекою та гігієною праці на основі ДСТУ OHSAS 18001:2010, а також новий нормативний документ, що став чинний 12.03.2018 р. – BS ISO 45001:2018 «Системи менеджменту професійної безпеки. Вимоги та настанови щодо за-

стосовування». Це стандарт нового покоління, який був розроблений для інтеграції з іншими стандартами систем управління ІСО, а головне має високий рівень сумісності з останніми версіями ІСО 9001 та ІСО 14001. До цієї системи залучено стандарт ІСО SA 8001:2008 «Social Accountability 8000», який спрямований на оцінку соціальних питань інтегрованої управління. Мета створення цього документу – поліпшення умов праці і життєвого рівня працівників. Він може застосовуватися в країнах, що розвиваються і індустріально розвинених країнах, як для малих, так і для великих підприємств, а також для громадських організацій.

Важливим для організації діяльності нафто газопереробного підприємства є впровадження ІСО 50001 «Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосовування». Це основний стандарт цієї серії, який можна застосовувати в будь-якій організації і встановлює вимоги з розроблення, впровадження, підтримки та поліпшенню системи енергетичного менеджменту, заснованого на циклі PDCA. Сукупність цих стандартів є організаційно-методичною основою створення інтегрованої системи управління розроблення і впровадження на підприємстві з перероблення газового конденсату та нафти інтегрованої системи управління надає деякі переваги, зокрема підвищення загальної конкурентоспроможності продукції та адаптації до ринкових умов, формування екологічної політики, та підходів до ефективного використання ресурсів. До системи входить чотири адаптовані системи управління, що відповідають вимогам міжнародних стандартів. Формування інтегрованої системи управління відбувається впродовж чотирьох основних етапів, це планування, впровадження, перевірка та коригування.

Литература

1. Tverytnykova, E.E. Environmental management as a component of an integrated management system for gas condensate and oil processing enterprises / E.E. Tverytnykova, T.V. Drozdova, Y.E. Demidova // Сучасні інформаційні системи. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – Т. 4, № 1. – С. 33–38.

2. ДСТУ ІСО 9001:2015 (ІСО 9001:2015, ІДТ). Системи управління якістю. Вимоги. Видання офіційне. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016 – 22 с.

ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Чавун містить у своєму окладі значну кількість вуглецю, який може знаходитись у вигляді цементиту або графіту кулястої чи пластинчастої форми. Маючи хімічну активність, він повинен брати участь в формуванні поверхневого шару або взаємодіяти з його елементами.

Розглянемо чавуни, в яких більша частина вуглецю знаходиться в графіті пластинчастої форми, і сталі, в яких увесь вуглець знаходиться в цементиті.

Для простоти розуміння припустимо, що графітні включення в матриці чавуну мають форму неправильного циліндра, в якому є западини і опуклості. Довжина включення l і діаметр $2a$ зв'язані умовно співвідношенням $l/2a > 1$. Пластинчаста форма включення нерівноважна і при нагріванні тою чи іншою мірою намагається перейти в кулясту. Причина, яка зумовлює перенесення маси вуглецю, що відбувається в цьому випадку, полягає ось в чому. Припустимо, що в одному місці включення графіту звуженим за рахунок стискуючої сили матриці. В такому випадку виникає градієнт хімічного потенціалу, який зумовлює спрямоване перенесення вуглецю від ділянки, де має місце звуження, до опуклих і навіть циліндричних ділянок. Процес, який супроводжується зменшенням товщини включення, завершується його розширенням в ділянках місць сфероїдизації графітного включення означає, що поява звуження супроводжується зменшенням питомої площі поверхні.

Цей вуглець намагається випалати в об'ємі покриття або виходити на зовнішню поверхню шару. Характерно при цьому також формування не пластинок графіту, а кульок.

Для цього було розглянуто кінетику виходу вуглецю на зовнішню поверхню. Потік вуглецю визначається різницею граничних концентрацій в залізі і фазі, яка утворюється:

$$y = D\Delta n/\delta,$$

де D – коефіцієнт дифузії вуглецю в межах фази; $\Delta n = n_c^{Fe} - n_c^{\Phi}, n_{\gamma}^{Fe}$,

n_c^{Fe} – граничні концентрації вуглецю в залізі і відповідно у фазі, що утворюється, δ – товщина шару.

Вважаємо, що концентрація вуглецю на зовнішній поверхні n_c^{Φ} , а на межі шар – основний метал n_c^{Fe} .

Число d/N атомів вуглецю, які виходять за час $d\tau$ на одиницю поверхні, можна визначити як $d/N = yd\tau = D\Delta n d\tau/\delta_\tau$, де δ_τ знаходимо із рівняння 1. За час τ на поверхню вийде таке число атомів вуглецю:

$$N = \int_0^\tau D \frac{\Delta n d \tau}{k \tau^{1/2}} = 2 D \frac{\Delta n}{k} \tau^{1/2}$$

Ці атоми вуглецю і утворюють зародок в вигляді кульок, які збільшуються у часі.

Середня концентрація вуглецю, яка вимірюється на поверхні, може бути визначена, якщо відняти число атомів вуглецю в новій фазі від числа N його атомів, які знаходяться в при поверхневому шарі.

$$N = l/v,$$

де l – глибина зондування при визначенні концентрації вуглецю, v – об'єм, який випадає на 1 атом вуглецю.

Коефіцієнт вуглецю повинен збільшуватися за параболічним законом, тому коефіцієнт дифузії вуглецю можна знайти, якщо перетворити вираз 2 так:

$$D = \frac{k}{2\Delta n} \frac{N}{\tau^{1/2}}$$

Коефіцієнт дифузії вуглецю в об'ємі шару можна оцінити також по кінетиці розпаду в перлі пластичних включень цементиту на кульки графіту. Припустимо, що цей процес проходить за двома дифузійними механізмами: через матрицю і по межі поділу матриця – виділенню. Характерний час розпаду за порядком величина може бути описаний таким виразом:

$$\tau = \frac{kTR^3}{\gamma v D_v C_o}$$

де T – температура; R – радіус сфери закруглення графітного включення; γ – поверхневий натяг на межі поділу; D_v – коефіцієнт об'ємної дифузії; C_o – концентрація вуглецю на твердому розчині матриці.

Із виразу виходить, що

$$D_v C_o = kTR^3 / (\gamma v \tau)$$

У випадку хіміко-термічної обробки залізобуглецевих сплавів перегрітого водяного розчину солей при підстановці робочих зна-

чень в формулу коефіцієнт дифузії вуглецю при розпаді пластичної структури цементиту в фазі складає 10^{-9} – 10^{-8} см²/с. Це співпадає з оцінкою коефіцієнта дифузії при накопиченні вуглецю на поверхні.

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що при формуванні поверхневого шару в парогазовому середовищі маж місце висхідна дифузія вуглецю за рахунок розпаду пластинчатої структури.

Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Колесник М.А.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ

Статичний аналіз показує, що більшість пар, які труться виходять з ладу у зв'язку зі зносом. На відновлення та ремонт деталей та обладнання в Україні витрачається щорічно значні суми державних та приватних коштів. Серед них домінуючу роль займають деталі циліндро-поршневої групи дизельних двигунів. Підвищення їх надійності та довговічності є дуже важливою задачею залізничної промисловості. Відмови в роботі двигунів, які зв'язані зі зносом його деталей, викликають довгий простій, значні витрати запасних частин, підвищуються витрати на обслуговування та експлуатацію циліндро-поршнева група, а зокрема, поршень, кільця та гільзи циліндрів, працюють під дією високих тисків, сил інерції та температури, піддаючись інтенсивному зносу. Зворотньо-поступальні рухи поршня, зі змінною швидкістю при змінюючись температурі, тиску та шару змазки, утворюють складні режими тертя поршня та кілець по дзеркалу циліндрів. У верхній зоні зупинки поршневого кільця біля камери згорання температура середовища досягає 350С, знижуючись у нижній частині гільзи до 70-90С. У першій час використовуються декілька марок дизелів. Із них у V-образних дизельних двигунах гільзи працюють в найбільш тяжких умовах. Гільза практично по всій довжині схильна до тиску. У зв'язку з цим заходом по підвищенню стійкості гільз цих дизелів, безумовно, можуть бути повністю перенесені на інші типи ди-

ду і поставило задачу підвищення експлуатаційної надійності існуючого парку вагонів, що використовуються для перевезення, особливо небезпечних вантажів. Умови експлуатації вантажних вагонів характеризуються постійною взаємодією елементів конструкції з корозійно-активним середовищем. Досвід експлуатації таких вагонів показує, що корозійне пошкодження є причиною в 60-65% випадків відказів вагонів.

Важливою задачею на даний період є планомірне впровадження певних технічних рішень і передових технологій направлених на підвищення довговічності вузлів та деталей рухомого складу. При цьому особливе значення має розробка та проведення методів прогнозування ресурсу і пошук шляхів підвищення їх експлуатаційної надійності, при перевезенні корозійно-активних вантажів. Розробка методів оцінки ресурсу елементів вагонів, які взаємодіють з небезпечними вантажами, засновані на простих моделях які не враховують специфіку експлуатації рухомого складу та особливостей взаємодії з агресивним середовищем.

Прогнозування ресурсу та оцінка міцності елементів конструкцій вагонів, які взаємодіють з корозійно-активними середовищами, виконується на основі метода скінченних елементів враховуючи конструкцію вагонів, особливостей взаємодії матеріалу з корозійно-активним середовищем, умов наступу граничного стану елементів конструкції. За допомогою технології скінчено елементного аналізу можливо дослідити напружений стан складних конструкцій кузова вагонів враховуючи вплив конструктивних особливостей на процес корозійного зносу.

Тимошенко В.В., Луканова Л.А., Голякевич А.А.
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», Київ, Україна

ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO 9001:2015 В ПРОМИСЛОВІСТІ НА ПРИКЛАДІ ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»

ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» з початку своєї діяльності пріоритетними цілями вважає підвищення задоволеності замовників та співробітників, усіх зацікавлених сторін; скорочення термінів впровадження нових марок порошкового дроту, розширення спектру послуг, збільшення кількості замовників. Якість продукції є одним з найваж-

ливіших засобів конкурентної боротьби, завоювання й утримання позицій на ринку. Тому управління якістю продукції стало основною частиною виробничого процесу і сформувалось в сталу систему управління якістю (СУЯ) в ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК».

Оскільки в організації була впроваджена СУЯ, що відповідає ISO 9001:2008, то на час впровадження нової редакції стандарту ISO 9001:2015 було прийняте рішення сертифікувати існуючу систему управління якістю на відповідність його вимогам. На момент переходу ми мали діючий Сертифікат від Російського морського реєстру судноплавства та Сертифікат ДП НТЦ «СЕПРОЗ» на СУЯ. Плани нашого вищого керівництва на розширення ринку продажів налаштували ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» на проведення аудитів європейськими органами з сертифікації з метою підтвердження відповідності нашої СУЯ вимогам стандарту ISO 9001:2015 та отримання відповідних сертифікатів європейського зразку. У 2019 р. ми провели аудит СУЯ німецькою компанією DVS ZERT, яка підтвердила застосування стандарту ISO 9001:2015 в області «Розробка і виробництво порошкових дротів». А за рік до цього ми сертифікували дріт для зварювання, що підлягає класифікації по EN ISO 17632-A німецькою компанією «TUV Rheinland» на відповідність стандарту EN 13479. Процедура проведення аудитів потребує надання дійсних доказів відповідності СУЯ всім вимогам стандарту, демонстрації відповідності виконання операцій технологічного процесу прописаним та затвердженим процесом. ТОВ «ТМ.Велтек» проводить наглядові аудити і підтверджує право використання вказаних вище сертифікатів.

Основними документами СУЯ ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» є «Політика в сфері якості» та «Цілі в сфері якості». Ми розробили «Політику», що розрахована на 5-річний період та «Цілі», які оновлюємо кожного року. Ці документи доводяться до кожного працівника, дирекція звітує про їх зміни та виконання. Окрім цього ми маємо в користуванні розширене «Керівництво з якості», «Опис підприємства, виробничих процесів та контролю якості виготовлення порошкового дроту», Методики системи якості, що охоплюють всі пункти стандарту ISO 9001:2015, технологічні та операційні інструкції. Практичним документом для втілення запланованих покращень всіх процесів є «План якості», в якому окреслені всі напрями діяльності та вказані задіяні спеціалісти і терміни виконання. В кінці певного періоду відповідальні особи аналізують стан виконання запланованих заходів та складають звіт про обсяг виконаних робіт.

На основі цих звітів формується загальний звіт та передається директору для ознайомлення, контролю та заохочення. Таким чином ми налаштовуємо персонал на прихильність «ідеї якості» і з кожним роком відчувається все більша зацікавленість персоналу в досягненні запланованих результатів.

Стандарт ISO 9001:2015 вимагає при плануванні в СУЯ визначити існуючі ризики та можливості. Їх потрібно врахувати, щоб досягти результату, запобігти небажаним впливам та досягти поліпшення. Щоб відповідати вимогам наша організація запровадила Методику «Управління ризиками процесів СУЯ», в якій запропонувала структурну схему процесу управління ризиками, що передбачає проведення та консультування внутрішніх та зовнішніх учасників процесу;

- визначення контексту керування ризиками (характеристик зовнішнього і внутрішнього середовища організації, параметрів керування ризиками, критеріїв ризиків, методів їх аналізу);
- ідентифікацію, аналіз та оцінку ризиків;
- прийняття та реалізацію рішення по ризику, моніторинг та аналіз.

В ТОВ «ТМ.Велтек» всі прийняті ризики розподілені по групах і факторах. Власник процесу для аналізу ризику заповнює «карту ризику», в якій вказує існуючі можливості впливу на ризик, а також можливі додаткові способи впливу на ризик та виносить якісну та кількісну оцінку залишкового ризику. По закінченні періоду спостереження приймається рішення про зменшення або збільшення впливу на ризик шляхом скасування чи запровадження додаткових заходів.

Висновки. За час функціонування системи управління якістю керівництво та весь персонал ТОВ «ТМ.Велтек» на власному досвіді переконались в значній користі від її впровадження.

Ми послідовно впроваджуємо планові заходи по модернізації та оновленню підприємства і завжди маємо об'єктивну картину за рахунок оцінки виконання «Плану якості». Навіть в складний час для економіки країни ми майже не втрачаємо своїх клієнтів і навіть нарощуємо їх кількість за рахунок зростання нашого іміджу.

Якщо розглядати результативність виробництва, то впровадження нових технологічних засобів, допоміжних матеріалів та обладнання дозволило зменшити технологічні втрати на 5% від показника минулого року. Зменшився час на впровадження нових марок продукції, збільшилось число клієнтів з країн ближнього зарубіжжя. В період

пандемії і спаду економіки ми маємо зацікавленість в нашій продукції від кількох підприємств Німеччини та інших європейських країн.

Література

1. Соколовський, С.А. Управління якістю виробництва та обслуговування : навч. посібн. / С.А.Соколовський, С.П. Павлов, М.В. Черкашина и др. – Харків : НАНГУ, 2015.

Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В. ООО «ВАТТ»,
Союз специалистов-экспертов по качеству, Киев, Украина

ВАЛИДАЦИЯ ПРОЦЕССОВ

Многие стандарты (IATF 16949, ISO/TS 22163, API Spec Q1, API Spec Q2, ISO 29001, AS 9100 и др.) требуют, чтобы компания валидировала процессы, результаты выходов которых не могут быть проверены последующими мониторингом или измерениями и, как следствие, их недостатки могут быть выявлены только после начала использования продукции или услуги (эти процессы часто называют специальными). Валидация демонстрирует способность таких процессов достигать запланированных результатов. В тех случаях, когда компания решит отдать на аутсорсинг процесс, требующий валидации, она должна требовать от поставщика проведения валидации и передачи всех документов по валидации.

Среди таких процессов, которые обязательно требуют валидации, в частности, процессы сварки, термообработки, нанесения покрытий и др.

В процедуре по валидации процесса необходимо описать:

- требуемое оборудование;
- квалификацию персонала;
- использование установленных методов, включая определенные операционные параметры;
- идентификацию критериев приемки;
- требования к записям;
- повторную валидацию (ре-валидацию).

Также должны быть описаны:

- ответственность за организацию процесса, включая его исполнение и обеспечение ресурсами, оценку его результативности, инициацию корректирующих и предупреждающих действий, а также риски и возможности процесса;
- ответственность за выполнение процедуры, всех этапов работ по валидации.

Валидация спецпроцесса бывает первичной, периодической и внеочередной. Первичная валидация процесса проводится для нового процесса. Она проводится на этапе освоения производства и/или внедрения новых требований спецификаций/стандартов. Основанием для проведения первичной валидации является идентификация спецпроцесса в системе менеджмента качества (СМК), что фиксируется в протоколе заседания комиссии.

В зависимости от вида процесса, идентифицированных рисков устанавливаются сроки периодической валидации.

Внеочередная валидация спецпроцесса может проводиться, когда:

- ухудшается качество выпускаемой продукции;
- увеличивается количество замечаний (несоответствий), полученных отрицательных отзывов заказчиков;
- в наличии существенные изменения в технологической документации (ТД) (например, ввод в процесс нового технологического оборудования или расширение области использования действующей);
- проведен капитальный ремонт оборудования;
- появились новые исполнители операций процесса;
- процесс не применялся в течении 12 месяцев или более;
- введены в действие новые (или внесены изменения в действующие) НД.

Валидацию спецпроцесса проводит по Программе валидации назначенная приказом комиссия. Каждая валидация процесса документируется, чтобы обеспечить объективность и сохранность информации о фактическом состоянии спецпроцесса.

Проверки осуществляются по следующим направлениям:

- документация, необходимая для выполнения спецпроцесса;
- средства измерений;
- средства испытаний;
- средства технологического оснащения – оборудование, инструмент, технологическую оснастку и другие необходимые средства для выполнения спецпроцесса;

- средства обеспечения идентификации и прослеживаемости при выполнении операций спецпроцесса;
- сохранение продукции спецпроцесса;
- данные о качестве продукции спецпроцесса;
- производственная среда спецпроцесса (размещение рабочих мест в соответствии с ТД, обеспеченность коммуникациями, выполнение требований охраны труда), требований по температуре, влажности, освещению; санитарным условиям, чистоте, шуму, вибрации и загрязнению);
- прослеживание запуска в спецпроцесс комплектующих изделий и материалов, прошедших входной контроль;
- выполнение операций спецпроцесса по технологическому маршруту;
- компетентность персонала, выполняющего спецпроцесс;
- соответствие продукции установленным требованиям.

Состав проверок, включаемых в программу, может быть сокращен, изменен или дополнен с учетом специфики спецпроцесса, качества результатов его выполнения, вида валидации (первичная, периодическая, внеочередная).

Результаты проведенной валидации оформляются протоколом установленной формы. В протоколе излагаются выводы и заключение комиссии.

Результаты валидации спецпроцессов представляются на внутренних и на внешних аудитах, а также могут быть представлены заказчикам по письменному запросу.

*Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В. ООО «ВАТТ»,
Союз специалистов-экспертов по качеству, Киев, Украина*

СТАНДАРТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Отрасль термообработки также меняется, как и другие отрасли. SAE, AIAG, ASTM, ASME, API, ISO и др. организации разрабатывают стандарты, используемые при термообработке.

В разных сферах существуют программы одобрения компаний, которые занимаются разными видами термообработки.

При этом для одобрения в качестве поставщика услуг по термообработке необходимо (и это – не полный список) представить:

- перечень сырьевых материалов и документы на них (протоколы испытаний, сертификаты);
- перечень поставщиков материалов и документы по оценке поставщиков;
- данные входного контроля материалов;
- спецификации производителя и заказчика по термообработке;
- контрактные требования по свойствам термообработанных изделий;
- методы проверки и отчетности;
- процедуры идентификации и прослеживаемости;
- информацию по печи, включая размеры, диапазон температур, размеры и чертежи рабочей зоны, типы термопар и схемы их расположения, а также результаты калибровки, среду печи, информацию о системе регистрации, включая данные по валидации программного обеспечения;
- процедуры термообработки с указанием температур, времени, скорости нагрева и скорости охлаждения или закалки и т.д.;
- записи (протоколы) термообработки;
- процедуры закалки и охлаждения;
- процедуры сварки (если применимо);
- данные по неразрушающему контролю;
- данные по квалификации персонала;
- данные по валидации процесса и др.

Для разных отраслей используются разные стандарты. Для автомобильной отрасли используется стандарт CQI-9 “Special Process: Heat Treat System Assessment” (4th Edition), для нефтегазовой отрасли используется стандарт *API Std 20H* “Heat Treatment Services – Batch Type for Equipment Used in the Petroleum and Natural Gas Industry” (2nd Edition). Для авиакосмической отрасли используются стандарты серии AMS-2759 (первый из этой серии – стандарт AMS 2759G “Heat Treatment of Steel Parts, General Requirements”), AMS-2769, AMS -2770, ARP-1962 (Rev B) “Training and Approval of Heat Treating Personnel” (тут – изложены требования к персоналу, который проводит термообработку), ARP-7446, а также AMS-H-6875, AMS-2774, AMS-2801, AMS-2750. При этом SAE AMS 2750F-2020 “Pyrometry” – это одна из спецификаций по пирометрии, которая является основной для испытания оборудования для термической обработки. Также из-

вестно, что для тех компаний, которые проводят термообработку таких медицинских изделий как иглы, титановые скобы и металлические суставные заменители AMS-2750 теперь определяет способ тестирования оборудования для термической обработки. Также важное место в этой связи занимает стандарт ASTM A991/A991M-17 “Standard Test Method for Conducting Temperature Uniformity Surveys of Furnaces Used to Heat Treat Steel Products”. В этом стандарте описан метод испытаний, который охватывает процедуры, используемые для проведения исследования однородности температуры в печи, используемой для термообработки стальных изделий. Этот метод используется для определения способности печи выдерживать допустимые колебания температуры, указанные в применимой спецификации на продукцию или согласованные между заказчиком и поставщиком услуг по термообработке. Этот метод испытаний применяется только в том случае, если он указан в спецификации на продукцию или в заказе на поставку.

Все требования по термообработке должны быть изложены в контракте между заказчиком и поставщиком услуг по термообработке.

Конечно, у предприятия, которое занимается термообработкой, должна быть система менеджмента качества, соответствующая отраслевым специальным стандартам: IATF 16949, ISO/TS 22163, API Spec Q1, ISO 29001, AS 9100. Требования этих стандартов существенно выше, чем требования стандарта ISO 9001.

*Урсуленко Т.Е. ООО «КЭМЗ», Криваой Рог
Титаренко В.И., Лантух В.Н. ООО «НПП РЕММАШ»
Бардан Д.В. ООО «САММИТ», Днепр
Мудранинец И.И. ООО «ИЗМСО», Ильница, Украина*

РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕМОНТА ВАЛОВ РОТОРА И ПОДШИПНИКОВЫХ ЩИТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В процессе эксплуатации электродвигателей посадочные поверхности валов ротора (рис. 1) и подшипниковых щитов (рис. 2) получают повреждения различного характера: износ в результате истирания, возможные вмятины от неаккуратного выполнения

сборки-разборки. При незначительном износе поверхности шейки вала проводится проточка этой поверхности на токарном станке. Если же выработка шеек имеет значительную величину восстановление возможно лишь методом нанесения слоя металла с последующей проточкой на токарном станке.

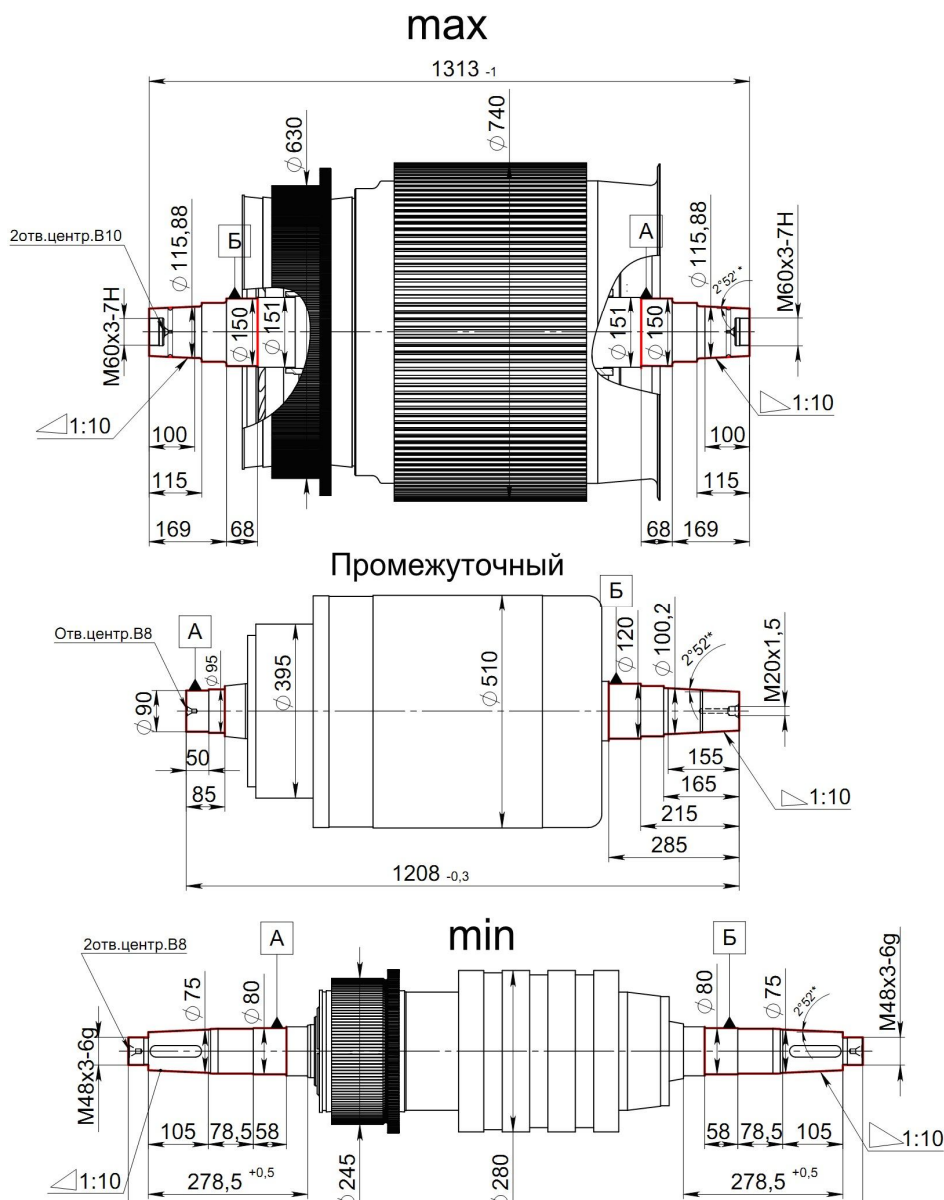


Рис. 1 – Эскизы роторов электродвигателей

Нанесение слоя металла на изношенную поверхность вала ротора или посадочные поверхности подшипников подшипниковых щитов возможны несколькими способами – это металлизация, напыление и наплавка. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Металлизация и напыление основаны на адгезии, т.е. налипании частичек металла на восстанавливаемую поверхность. Наплавка основана на расплавлении теплом горячей дуги (при электродуговой наплавке) основного металла вала или щита

та, а также наплавочного материала и их сплавление. Отсюда исходят все преимущества и недостатки этих двух методов.

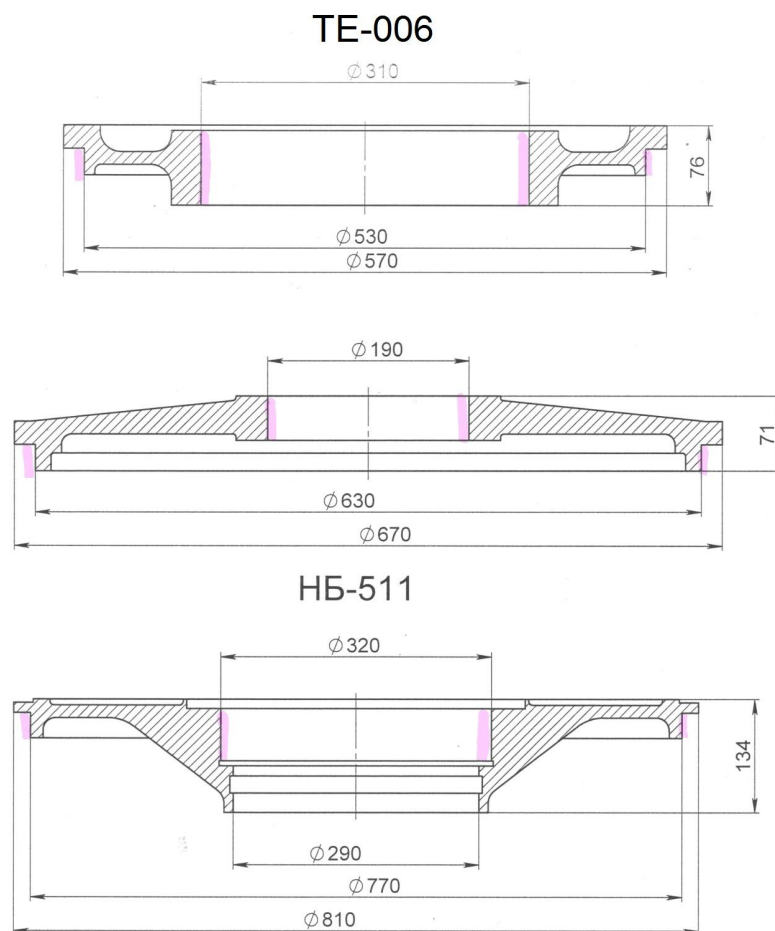


Рис. 2 – Эскизы подшипниковых щитов электродвигателей

При напылении и металлизации остаточные напряжения и деформации сводятся к минимуму, что очень важно как для валов ротора, так и для подшипниковых щитов. Однако сцепление металла, нанесенного на поверхность вала не всегда надежное, что может привести к его сколу. Наплавка же, обеспечивает надежное сплавление наплавленного металла с основным металлом вала или щита приводит к довольно существенному тепловыделению на детали и остаточным сварочным напряжениям, возможным деформациям и поводкам, что недопустимо для этих деталей. Одним из вариантов выхода из этой ситуации – это выбор способа наплавки, который обеспечит минимальное вложение тепла в наплавляемую деталь, минимальную глубину проплавления и, как следствие, получится минимально допустимая поводка и деформация. Такая задача была поставлена ООО «Криворожским электромашиностроительным заводом», специализирующимся на ремонте электродвигателей.

Специалистами завода было разработано техническое задание на наплавочную установку для наплавки валов роторов электродвигателей и подшипниковых щитов. Основные требования к установке и способу наплавки – это минимальный нагрев наплавляемых деталей с минимальной последующей деформацией, высокая производительность, минимальный припуск на последующую механическую обработку.

Вначале одним из рабочих вариантов была выбрана вибродуговая наплавка, исходя из малого нагрева наплавляемых деталей и возможности наплавлять этим способом детали в широком диапазоне диаметров, в который входили все диаметры наплавляемых деталей номенклатуры КЭМЗ. Однако, учитывая недостаток этого способа, а именно, необходимость применения охлаждающей жидкости, которая может привести к образованию пор, и приводит к образованию закалочных структур со снижением усталостной прочности металла наплавляемых деталей, от этого варианта пришлось отказаться.

Но, учитывая требования к выбираемому способу наплавки в направлении минимизации количества тепла, выделяемого на детали, поиск производился в направлении аналогов вибродуговой наплавки – наплавке пульсирующей дугой. Остановились на опробовании варианта наплавки с использованием полуавтомата финской фирмы КЕМРРІ, который имеет несколько вариантов технологии сварки:

- традиционный в среде защитных газов;
- в среде защитных газов пульсирующей дугой;
- в среде защитных газов дугой с двойной пульсацией.

Эти три варианта были проверены путем наплавки ниточных валочков длиной 130 мм на пластину, с фиксацией сварочного тока и расчетного тепловложения (табл. 1).

Таблица 1 – Разновидности сварочных технологий

Наименование показателя	Разновидности технологии сварки		
	традиционная, в среде защитных газов	в защитных газах пульсирующей дугой	в защитных газах с двойной пульсацией дуги
Среднее значение сварочного тока, А	157,3	143,7	116,2
Расчетное тепловложение, кДж/мм	0,78	0,61	0,47

Остановив свой выбор на варианте наплавки в защитных газах с двойной пульсацией дуги, занялись разработкой конструкции наплавочной установки. При разработке конструкции прежде всего исходили из разработанного ООО «КЭМЗ» технического задания, в котором были оговорены технические характеристики установки, и прежде всего из типоразмеров роторов и подшипниковых щитов, которые предстоит наплавлять

Кроме характеристик, связанных с типоразмерами наплавляемых деталей, большое внимание в конструкции и технических возможностях разрабатываемой установки было уделено технологии наплавки. Так учитывая то, что на наплавляемых деталях есть поверхности под наплавку участков большой протяженности (на валах) и короткие (в основном на подшипниковых щитах), в технические возможности установки была заложена возможность смещения на шаг наплавки как по спирали (для длинных отрезков наплавки), так и со ступенчатым смещением через каждый полный оборот (для коротких участков). Кроме этого в отдельный режим была выделена наплавка конусной поверхности с конусностью 1:10, которая есть на валах роторов. В этом режиме продольное перемещение на шаг наплавки сочетается с вертикальным шагом в 1 мм через каждые 20 мм суммарного продольного шага. При этом промышленный программируемый контролер, управляющий процессами перемещения наплавочной горелки, запрограммированными на технологию наплавки валов роторов и подшипниковых щитов конкретной номенклатуры, при необходимости может быть перепрограммирован на другие детали и технологию в пределах размеров и массы наплавляемых деталей, оговоренных в технической характеристике разработанной установки.

Разработанная по техническому заданию ООО «КЭМЗ» наплавочная установка модели РМ-17 показана на рис. 3 и 4. На станине, поз.1, установлен вращатель, поз. 2, и перемещающаяся задняя стойка (поз. 12). Эта часть установки предназначена для закрепления и вращения наплавляемых деталей. Вторая часть установки собрана на портале, состоящем из двух колонн (поз. 3), в верхней части которых закреплена в горизонтальном положении балка (поз. 4) с направляющими для перемещения каретки. Наплавочная каретка (поз.5) перемещается горизонтально по направляющим на балке и имеет свой механизм вертикального перемещения. В нижней части наплавочной каретки на кронштейне крепится горелка (поз. 7) сварочного полуавтомата. Третья часть установки – это размещенный

на специальной подставке сварочный полуавтомат FastMig X350 финской фирмы КЕМРРІ, который позволяет реализовывать технологию наплавки в защитных газах с двойной пульсацией дуги. Полуавтомат состоит из источника питания FastMig X350, механизма подачи проволоки WFX 300 и блока охлаждения COOL 300.

Краткие технические характеристики установки РМ-17 приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Краткие технические характеристики установки РМ-17

Наименование характеристик	Значение
Диаметр наплавляемых деталей, мм	35,0–1000,0
Максимальная длина наплавляемых деталей, мм	2000,0
Максимальная масса наплавляемых деталей, кг	2000,0
Частота вращения планшайбы, об/мин	0,2–6,0
Скорость горизонтального перемещения горелки, мм/мин	30,0–670,0
Скорость вертикального перемещения горелки, мм/мин	120; 670
Диаметр наплавочной проволоки, мм	0,8–1,2
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,0–25,0
Пределы регулирования сварочного тока, А	20–350
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	12–46

После монтажа, наладки и программирования установка была испытана в режиме наплавки образца вала на диаметре 116 мм и 120 мм. Наплавка производилась проволокой Св-08Г2С в среде смеси защитного газа Ar 82% + CO₂ 18%. Один участок вала наплавлялся с перемещением горелки на шаг наплавки по спирали, другой со ступенчатым шагом через полный оборот. Режимы и сопутствующая информация о наплавке по спирали приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Параметры режима наплавки с дополнительными показателями

Показатель	Значение
Средний сварочный ток, А	124,8
Среднее сварочное напряжение, В	24,0
Средняя скорость подачи проволоки, м/мин	3,7
Линейная скорость перемещения дуги, мм/мин	643,0
Расчетное тепловложение, КДж/мм	0,22
Шаг наплавки, мм	3,5



Рис. 4 – Общий вид установки РМ-17

После наплавки был произведен визуальный осмотр наплавленной поверхности и проверка в токарном станке на наличие деформации (биения при вращении). Визуальный осмотр и проверка в токарном станке на биение показали, что в наплавленном металле отсутствуют дефекты и нет деформации (рис. 5).

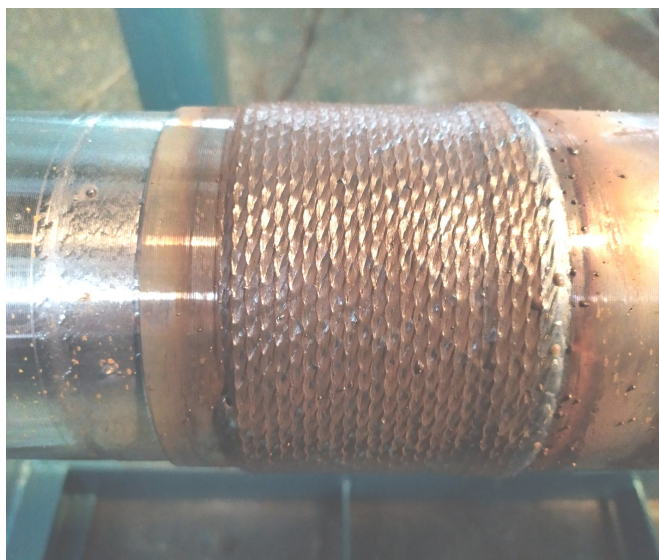


Рис. 5 – Фрагмент вала ротора с поверхностью, наплавленной на установке РМ-17

При освоении технологии наплавки на установке РМ-17 будет продолжена совместная работа по оптимизации технологии наплавки деталей номенклатуры ООО «КЭМЗ» как в плане выбора оптимальных режимов наплавки, так и наплавочных проволок, с тем, чтобы получать наплавленные детали с минимальными остаточными сварочными напряжениями и наплавленную поверхность с требуемыми механическими характеристиками.

CONTACT AREAS OF PARTICLES WITH SUBSTRATE IN THERMAL SPRAYING

Various scenarios of the interaction of particles with the substrate during thermal spraying, leading to the formation of splats, are possible. The quality of thermal sprayed coatings (TSC) is largely determined by the adhesive and cohesive strength both between the sequentially deposited splats (cohesive strength) and between the splats and the main material of the product (adhesive strength). The specific structure of the TSC is characterized by a typical pronounced layering and a disk-shaped form of splats, which is called mesostructurally ordered. To quantitatively characterize such mesostructural ordering of TSC, the coefficient of mesostructural ordering of the coating χ is used, which is defined as the ratio of the average characteristic size of the disk-shaped splat to its average thickness. The adhesion and cohesive strength of TSC is determined by the relative surface area of the particles, on which the chemical interaction of the contacting surfaces has passed, and the degree of this chemical interaction.

The development of the contact of splats with the substrate differs from the formation of contact of mating rough solids. When rough surfaces are in contact, the highest protrusions of the surface first come into contact, and then, as the surfaces approach, an increasing number of less high protrusions come into contact. When applying the TSC, all sprayed particles come into contact with the surface of the base, and with any elements of their microrelief – protrusions, depressions and their side surfaces. The average sizes (diameters) of the sprayed particles are in the range of 5–200 μm , and the parameters of the microrelief of the substrate are provided by the technology of their preparation. If necessary, methods of surface preparation are used to obtain larger elements of the microrelief (cutting of grooves, vortex threads, etc.). Thus, the formation of the contact zone between the TSC and the substrate is the result of multiple repetitions of elementary acts of interaction of single particles with the substrate surface. Moreover, the ratio of the sizes of particles and elements of the substrate microrelief allows us to consider models of interaction of particles with both flat surfaces and microrelief elements (protrusions, depressions, etc.).

The contact area of single splats can be considered at four levels: 1. nominal contact area, determined by the size of the splat (single sprayed particle) on the substrate surface; 2. the contour area of the contact, determined by the size of the area of physical approach of the atoms of the materials of the particle and the substrate; 3. the actual contact area, determined by the contact of the particle with the local protrusions of the microrelief elements of the substrate surface; 4. the physical area of contact of the particle with the surface irregularities of the base at the nanoscale level.

The size of the physical contact area, on which there is a direct contact of the splats and the substrate, through which the transfer of energy or charge carriers is possible, is more than an order of magnitude smaller than the contact area of smooth surfaces due to the presence of nanoroughness on them. The main contribution to the formation of nano-roughness is made not by the technology of processing the surface of the part, but by the granular structure of its material.

In the general case, in the contact zone of the sprayed particles with the substrate during the collision process, three characteristic sections can be distinguished: 1. the central circular, subjected to the impact of shock pressure $\rho_p C_p V_p (1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s)^{-1}$; 2. medium circular with a diameter equal to the diameter of the sprayed particle d_p , subjected to a pressure head $\rho_p V_p^2$; 3. peripheral annular, activated by a spreading layer of particle material. Here ρ_p , ρ_s are the densities of the materials of the particle and the; V_p is the particle velocity at the moment of collision with the substrate; C_p , C_s – velocity of sound in particle and substrate materials.

Flattened particle diameter $d_c = 2d_p / \sqrt{6\bar{h}}$, where $\bar{h} = h / d_p$ is the relative thickness of the flattened particle. The total contact area of the particle with the substrate at the final moment of collision is $F = \pi d_c^2 / 4 = \pi d_p^2 / 6\bar{h}$.

The area of the central zone is small and does not exceed 2.5% at a collision velocity of 1000 m/s, and for velocities characteristic of plasma spraying, it does not exceed tenths of a percent relative to the total area of the contact zone. Therefore, the activating contribution of the shock pressure to the formation of the particle-base bond is insignificant. However, the central circular zone is activated by both shock and head pressure. The area of the annular zone, activated by the pressure head, depends to a greater extent on the degree of particle flattening and to a lesser extent on the impact velocity. When $\bar{h} = 0,1\psi_A$ does not exceed

15%, and at $\bar{h} = 0,2$ not exceed 30%. Formation of strong adhesion is also possible outside the zone of action of shock and pressure pressures due to the high velocity of spreading of particles on the surface of the substrate, which causes the phenomenon of its self-cleaning.

With intensive flattening of particles over a more large contact area, the substrate is activated by a spreading layer of particles, and the role of shock and pressure pressures is less significant. When spraying with solid or slightly deformable particles, the area of their contact with the base in comparison with the initial dimensions changes little, the action of the pressure and shock pressures covers almost the entire area of contact.

The size of the physical contact area, on which direct contact of the particle with the base occurs, is more than an order of magnitude smaller than the contour contact area due to the presence of nano-roughness on the substrate surface.

In the process of collision, in the zone of action of plastic deformations, under the action of shock and pressure pressures, the oxide films are destroyed and direct contact of the materials of the particle and the substrate occurs. The impact of the particle will cause elastic and plastic deformation of the surface layer of the substrate and, first of all, the sub-roughness protrusions. This promotes the formation of discrete juvenile contact areas between the materials of the particle and the substrate and the interatomic interaction between them. These sites are the seizure sites on which the strongest adhesive bonds are formed. For surfaces with very low roughness irregularities (roughness class 12 and above) and large radii of rounding of the roughness tops, the actual contact area can exceed the physical contact area by an order of magnitude or more. This difference in contact areas can affect, for example, the electrical or thermal conductivity of the contact and other processes that occur at the points of direct atomic interaction of the contacting surfaces [1].

The size of the physical contact area, on which direct contact of the particle with the base occurs and through which the transfer of energy or charge carriers is possible, is more than an order of magnitude smaller than the contour area of the contact due to the presence of nano-roughness on their surfaces

$$A_p = \frac{\pi d_p^2}{6h} \left\{ \frac{9\pi^2}{16} \cdot \left(\frac{\rho_p V_p^2}{E^*} \right) \cdot \frac{r}{R_p} \right\}^{\frac{v}{2v+1}},$$

where d_p is the diameter of the powder particles; ρ_p is the density of the particle material; R_p is the height of the nano-roughness layer on the surface; E^* – equivalent modulus of elasticity of materials of contacting bodies, $E^* = \left(\frac{(1-\mu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\mu_2^2)}{E_2} \right)$, E_p , E_s , μ_p , μ_s are the elastic moduli and Poisson's ratios of particle and substrate materials; r is the average radius of curvature of the tops of the nanoroughness; ν is a parameter characterizing the distribution function of nano-roughness heights.

References

1. Измайлов, В.В. Влияние адгезионного взаимодействия на характеристики дискретного контакта технических поверхностей / В.В. Измайлов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2018. – Т. 19, № 3. – С. 120–125.

Kharlamov Y.A. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

GAS EXCHANGE IN D-GUNS FOR COATINGS SPRAYING

The successful application of D-Gun spraying largely depends on the solution of the problem of controlled gas exchange in the working combustion chamber of a detonation-gas installation (DGU) as displacement of residual gases and supply of fresh detonating mixture and controlled filling of the chamber (barrel) volume specified by the technological process.

According to the method of gas exchange (removal of residual gases), one should distinguish: 1) purging the barrel with inert gases with the subsequent supply (pushing out of an inert gas) with a fresh combustible mixture of gases; 2) blowing the barrel with air or oxygen, followed by the supply of fresh combustible mixture; 3) supply of a fresh combustible mixture by direct expulsion of combustion products by it; 4) supply of a fresh combustible mixture by directly pushing out the combustion products through an intermediate gas plug of a small length; 5) pumping out residual gases from the barrel to create a rarefaction (vacuum) with subsequent filling with a fresh combustible gas mixture; 6) combination of blowing (pushing out) of residual gases with pumping out.

In the direction of the flow of the fresh combustible mixture, its supply should be distinguished: 1) in the direction of the outflow of combustion products; 2) towards the direction of the outflow of combustion products; 3) across the direction of the outflow of combustion products; 4) a combination of the above techniques.

At the place where the fresh combustible mixture is introduced, its supply is distinguished: 1) at the closed end; 2) at the open end; 3) in the middle of the barrel; 4) simultaneously along the entire length of the barrel; 5) a combination of the above techniques.

Purging the barrel with inert gases allows for complete displacement of residual gases containing combustion products and powder particles, additional cooling of the barrel walls, and, with sufficient flow rate and duration of supply, cooling of the sprayed product and eliminating mixing of the fresh combustible mixture with residual gases. The selection of the composition of the purge gas can, to some extent, control the nature of the mixing of the fresh combustible mixture with the displaced gas. The backflash prevention is achieved with the help of a purge gas by proper construction of the cyclogram of the D-Gun operating cycle. The disadvantages of this technique are the increased gas consumption and the complication of the D-Gun design. Simplification of the design is achieved when one or more gases-components of the combustible mixture are used for purging. One of these schemes uses an injection mixer mounted at the closed end of the barrel and having a mixing chamber, a combustible gas chamber, a movable injector with an oxidizing gas supply and connected to a reciprocating motion drive. In the injection mode, the outflowing stream of oxidizer (air, oxygen, their mixtures, etc.) injects a combustible gas and the resulting gas mixture enters the working cavity of the barrel, displaces residual gases and fills the barrel. When the injector is moved to the other extreme position, the gap between the mixing chamber and the combustible gas chamber is closed. The oxidizer, continuing to flow continuously from the injector, forms a safety gas lock in front of the igniter. The latter initiates combustion. After the combustible mixture burns out, the oxidant stream displaces the combustion products from the barrel. After returning the injector to its original position, the process is repeated. For the reliable operation of this D-Gun design, it is necessary to ensure careful mating and sealing of the junction of the injector with the mixing chamber. The considered gas exchange scheme can also be implemented with the help of conventional D-Guns with mechanical valve systems due to the appropriate organization of the working cycle of the spraying process.

The supply of a fresh combustible mixture with the direct expulsion of residual gases by it is realized either by continuously introducing it into the combustion chamber or by pulsating it into D-Gun set with gas-dynamic valves.

Pumping residual gases from the barrel is a new, insufficiently developed direction in the gas exchange of gas detonation plants for various purposes (Fig.1). For this, various gas exchange schemes have been developed. In one of the first proposals, the middle part of the combustion chamber is connected via a valve to the pumping system, and an actuated shut-off damper is installed near the outlet end of the combustion chamber. When the shutter is closed, the residual gases are pumped out from the barrel, and then it is filled with a fresh combustible mixture of gases, the shutter is opened and combustion is initiated. When pumping out residual gases, a more uniform filling of the barrel with a combustible mixture is ensured, the leakage of hot combustion products with the remaining powder particles during gas exchange on the sprayed product is excluded.

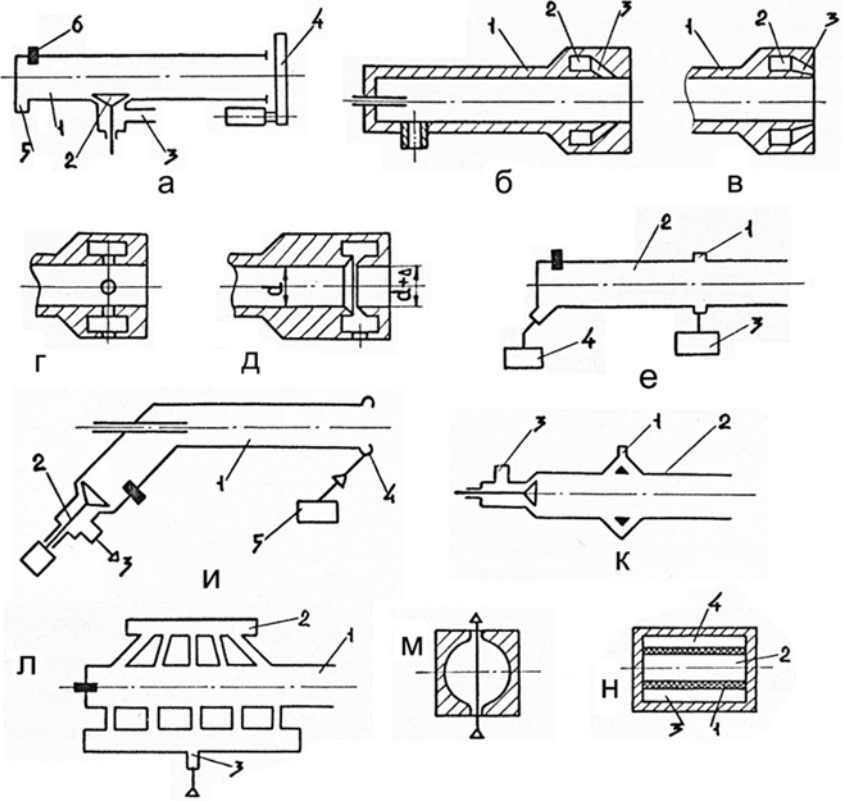


Fig. 1 – Possible pumping schemes for detonation combustion chambers

The combination of blowdown with barrel pumping is achieved using the injection pumping principle. The outlet part of the barrel is equipped with an annular cavity connected to the injection gas supply system and an annular slot with an exit to the side walls of the barrel or

to the exit end surface of the barrel. The injection gas flows out of the annular slot at a high speed, injects gas from the barrel, creating a vacuum in it and thus ensuring the pumping out of the residual gases and their faster removal and replacement with a fresh combustible mixture. The disadvantage of this scheme is the emission of dust contaminants onto the substrate at an increased rate, which can adversely affect the quality of the applied coatings. Therefore, in some cases, it may be more efficient to connect the annular cavity in the above schemes to the pumping system, i.e. in this case, the residual gases will be directly removed through the annular slot. Pumping can be carried out through a hole in the walls of the barrel and an annular slot directed to the closed end of the barrel. In the latter case, the outlet part of the barrel may have a slightly increased diameter. The advantage of this scheme is to eliminate the effect of the flow displaced from the borehole with a substrate, and with continuous pumping, the tail low-speed part of the pulsed two-phase flow will be partially removed.

When pumping out the barrel from its middle part, more stable spraying conditions are provided with partial filling of the barrel. To organize a counterflow of the combustible mixture and powder cloud when filling the barrel, you can pump it out at the closed end, and inject the combustible mixture at the outlet end. The same scheme can be used when using air mixtures by feeding a combustible gas into the annular cavity and mixing it with air injected from the environment. When fresh combustible mixture is injected into the middle part of the barrel with a split flow towards the closed end with the pumping system and the outlet end, the barrel filling time can be significantly reduced.

In many of the considered schemes, various swirlers and turbulators can be provided to improve the quality of gas exchange. It is also necessary to distinguish between the supply of the combustible mixture or its components directly to the combustion chamber of the barrel or through intermediate chambers and cavities created for pre-chamber ignition, localization of combustion, improving the quality of gas exchange, etc. Possible gas exchange schemes in the barrel detonation combustion chambers are given in Fig. 2.

It is known scheme of a D-Gun set with a system for supplying a combustible mixture at the closed end and near the outlet end through the annular cavity. This can be achieved not only to accelerate the filling of the barrel, but also to increase the initial pressure of the combustible mixture in the barrel before combustion. A more efficient implementation of this method is achieved by pumping out residual gases in the

middle part of the barrel. For this, the D-Gun set is additionally equipped with a pumping system connected to an annular pumping cavity in the middle part of the barrel.

To regulate the nature and intensity of the interaction of the powder with combustion products, you can use the spraying process with a variable composition of the combustible mixture along the barrel length. In one of the possible schemes for the implementation of this method, the barrel is connected to two systems for supplying combustible mixtures at the closed end and in the middle part through an annular slot, which ensures the outflow towards the outlet end of the barrel. The same scheme can be used to accelerate the development of detonation combustion of difficult-to-detonate mixtures by introducing an acetylene-oxygen mixture into the initial section of the barrel. If necessary, for the implementation of certain modes of spraying, individual components of the combustible mixture or a gas suspension of the sprayed powder can be introduced into the outlet part of the barrel.

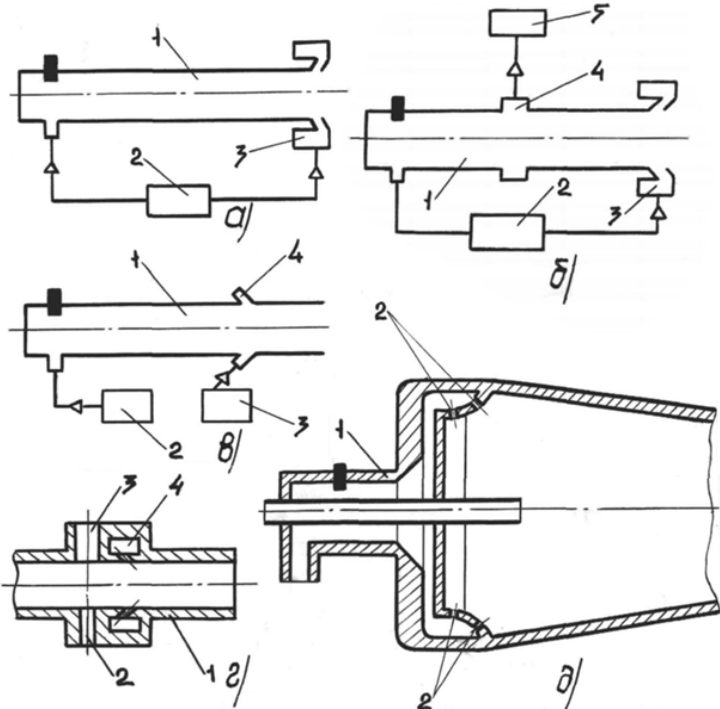


Fig. 2 – Gas exchange schemes

With a variable controlled composition of gases along the length of the barrel, in order to avoid their mixing in the transition zone and to ensure a sharper jump in the compositions, transverse gas jets are used in the barrel. In the presence of an ignition chamber (prechamber), the combustible mixture can be directly introduced into the barrel and into the ignition chamber, or enter the barrel through the ignition chamber.

ACCUMULATION OF ADHESION BONDS BETWEEN PARTICLES AND SUBSTRATE DURING THERMAL SPRAYING

The processes of formation of thermal sprayed coatings can be accompanied by possible phenomena of the mutual influence of the sprayed particles on the physicochemical interaction of the contacting materials (Fig. 1).

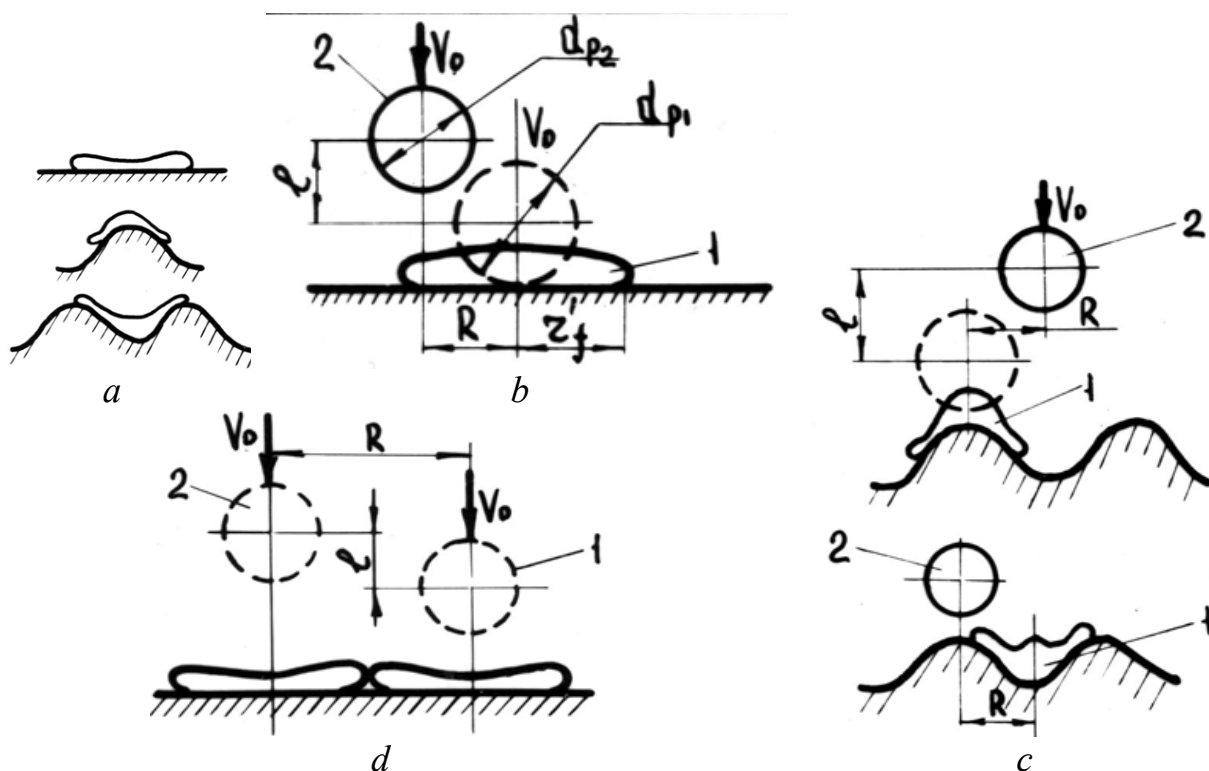


Fig. 1 – Schemes of the mutual influence of the sprayed particles on the interaction with the substrate

Schemes of thermal cycles of the substrate surface in the contact zone during the successive deposition of two molten particles (schemes *b* and *c*) are shown in Fig. 2. Curve $T_{f1}(t)$ displays the thermal cycle of the free surface of the particle (opposite to the contact surface). In some cases, crystallization of a particle can occur from two sides: from the contact side and from the free surface of the melt due to heat exchange with the environment [1]. Then the location of the curves $T_{k1}(t)$ and $T_{f1}(t)$ can be different. Such schemes of mutual influence of particles on the formation of coatings are characteristic of high-speed methods of ther-

mal spraying (TS). This explains the sometimes observed reduced cohesive strength between individual single layers of coatings applied by pulsed methods. The probability and intensity of interaction of particles according to scheme d is the higher, the smaller the distances R and l between neighboring particles of the heterogeneous flow. The prerequisites for this are: $R < (D_1 + D_2)/2$, $l < t_c V_p$. By analogy with the principle of summation of damage during destruction (Bailey's criterion) [2], we can formulate the principle of accumulation of interatomic bonds between contacting materials. For a period of time Δt , the formation of the relative adhesion strength $\Delta t/\tau_i$ occurs, if the formation of inter-atomic bonds by the thermofluctuation mechanism proceeded at this time at a rate of $1/\tau_i$. The maximum relative bond strength is achieved under the

condition $\sum \Delta t/\tau_i = 1$ (or $\int_0^\tau \frac{dt}{\tau(t)} = 1$).

Substitution instead of $\tau(t)$ of the modified Zhurkov S.N. equation $\tau = \tau_0 \exp\left[\frac{3(\varepsilon_0 - \chi\sigma/E)}{q\alpha T}\right]$ is giving $\int_0^\tau \frac{dt}{\tau_0 \exp[3[\varepsilon_* - (\chi(t)\sigma(t)/E)]/q\alpha T_k(t)]} \approx 1$.

Here $q = \alpha_s/\alpha$; α , α_s – coefficients of thermal expansion in the volume and on the surface of a solid; τ – durability of a solid under mechanical loading; $\tau_0 = v^{-1} \approx 10^{-13}$ s; ε_* – relative elongation at which the interatomic bond loses its stability and breaks ($\varepsilon_* \sim 0.2$); $\chi = \Sigma/\sigma$ – coefficient of local overload; Σ and σ – local and average stress, respectively; E – Young's modulus.

The main contribution to the formation of strong adhesion of a particle to a surface is made by those periods of time when the process of adhesive interaction (the formation of interatomic bonds) proceeds most rapidly. This corresponds to the maximum values of $\sigma(t)$ and $T(t)$. With a more rigorous approach to the analysis of the kinetics of the interaction of particles with a solid surface as a result of a primary single collision, it is necessary to take into account the time variation of the stresses and temperatures acting in the contact. The condition for the maximum relative bond strength can be written as

$$\sum \frac{v\Delta t}{\ln[N_0/(N_0 - N)] \exp[3(\varepsilon_* - \chi\sigma/E)/q\alpha T_k]} = 1.$$

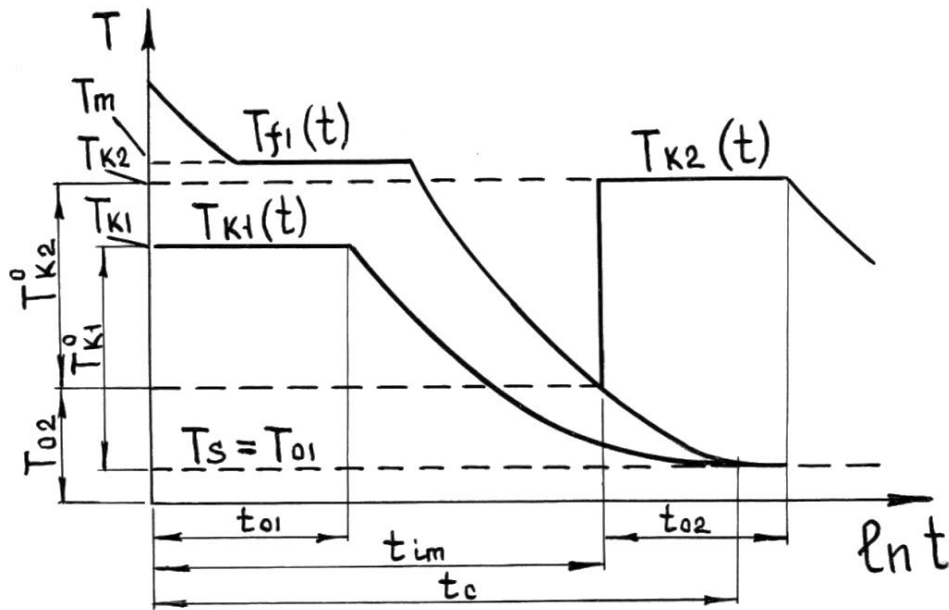


Fig. 2 – Schemes of thermal cycles of the substrate surface in a sequential collision with two particles

Then the relative adhesion strength, taking into account the multiple impacts on the contact zone of subsequent particles forming the coating, can be written in the form

$$\frac{N(t)}{N_0} = \sum_1^n \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{v \Delta t}{\exp \left[3(\varepsilon_* - \chi \sigma_i / E) / q \alpha T_k \right]} \right] \right\}.$$

where n is the number of cycles of thermal-deformation impact on the contact area.

The achieved high adhesion strength of coatings at high particle velocities and moderate heating of the substrate can be partly associated with the repetitive and decaying cycles of the physical-chemical interaction of materials along the contact boundaries. This plays an especially important role in the formation of bonds in the peripheral zones of contact of particles with the surface of the part.

Experimental confirmation of the possibility of repeated physicochemical interaction at the interface between materials follows from the results of [3] on the plasma deposition of Al and W particles on the surface of single-crystal silicon with an Al + 3% Si alloy film 1.3 μm thick. On the silicon surface, centers of more intense interaction of the aluminum film with silicon were observed. The centers of interaction are in the form of the thinnest discs or crystallized droplets. When spraying with a refractory and heavier powder W, the centers of interaction have the form of intersecting beads. Apparently, in the zones of high stresses, intense diffusion of silicon into aluminum took place.

Under the influence of the impacts of subsequent particles forming the coating, it is possible to heal discontinuities in the contact of particles and micropores. Surface Rayleigh waves propagating radially relative to the center of collision on a flat surface activate the substrate surface and prepare it for interaction upon subsequent collision with an adjacent particle in the flow. A peculiar kind of interaction of particles according to the scheme, when particles, usually polydisperse, form conglomerates in a heterogeneous flow, is also possible. Thin subsurface layers of the substrate are heated under the particles during collision, and the stresses acting during the impact at this depth do not differ significantly from those acting on the surface in the contact zone. Moreover, under certain conditions of collision, shear stresses acquire maximum values not at the surface, but at a certain depth. Therefore, the physicochemical interaction of particles at the boundaries of mutual contact is possible under repeated thermal and mechanical influences during the sequential layering of particles that form the coating.

References

1. Кудинов, В.В. Теплофизика плазменных покрытий / В.В. Кудинов, Е.М. Иванов // Физика и химия плазменных металлургических процессов. – М. : Наука, 1985. – С. 103–126.
2. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М. : Наука, 1974. – 560 с.
3. Kharlamov, Y.A. Cleaning and Surface Preparation Technology and Other Factors Related to Coatings Produced by Flame Spraying / Y.A. Kharlamov, M.S. Hassan, R.N. Anderson // Surface Contamination. Genesis, Detection and Control. – 1977. – V.1. – N.Y. : Plenum Press. – P. 407–441.

ЗМІСТ

<i>Анисович А.Г., Хейфец М.Л., Гаркун А.С., Гориченко С.Ф.</i> МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОПРОВОДОВ	3
<i>Антипов В.И., Виноградов Л.В., Колмаков А.Г., Банных И.О., Баранов Е.Е., Мухина Ю.Э., Хейфец М.Л.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБИДОВ ЛЕДЕБУРИТНОЙ ЭВТЕКТИКИ НА СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ	7
<i>Антипов В.И., Виноградов Л.В., Колмаков А.Г., Мухина Ю.Э., Баранов Е.Е., Пруцков М.Е., Хейфец М.Л.</i> ВЛИЯНИЕ КАРБИДОВ ЛЕДЕБУРИТНОЙ ЭВТЕКТИКИ НА ТВЁРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	9
<i>Антипов В.И., Колмаков А.Г., Виноградов Л.В., Банных И.О., Баранов Е.Е., Пруцков М.Е., Мухина Ю.Э., Хейфец М.Л.</i> СВЕРХТВЁРДАЯ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННАЯ ИЗНОСОСТОЙКАЯ СТАЛЬ ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТИ	10
<i>Антонюк В.С., Коваленко Ю.І., Бондаренко М.О.</i> ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГУСТИНИ СТРУМУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОБРОБЛЕННЯ ОПТИЧНИХ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННИМ ПОТОКОМ	11
<i>Баев А.Р., Майоров А.Л. Асадчая М.В., Седнин В.А., Шавловский Д.В.</i> УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОПРОВОДОВ	14
<i>Балицька Н.О., Глембоцька Л.Є., Яновський В.А.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ФРЕЗЕРНИХ ПЛАСТИН	18
<i>Бошицька Н.В., Сергеев В.П., Клінов В.Д., Логінова О.Б., Кістерська Л.Д.</i> АПЛІКАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АКТИВОВАНОЇ ВУГЛЕЦЕВОЇ ВОЛОКНИСТОЇ МАТРИЦІ З ІММОБІЛІЗОВАНИМИ НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА МЕТОДОМ АДСОРБЦІЇ З РОЗЧИНІВ	20
<i>Бурикін В.В., Клименко С.Ан.</i> ГІДРОАБРАЗИВНА УСТАНОВКА ДЛЯ ТОЧІННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛО ОБЕРТАННЯ	22

<i>Бурлаков В.І., Бурлакова Г.Ю.</i> ГЛИБИНА ВПРОВАДЖЕННЯ РІЗУЧОЇ ЧАСТИНИ ЗЕРНА В КЕРАМІКУ ПРИ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ	27
<i>Веремейчик А.И.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЯ В ANSYS EXPLICIT DYNAMICS	29
<i>Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Овчинников Е.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ	31
<i>Влайков Г.Г., Барабаш М.Ю., Башинський Я.В., Колесніченко А.А., Сезоненко А.Ю., Рябов Л.В., Мартинчук В.Є.</i> ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ ШАРІВ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ	34
<i>Гаркун А.С. Дорошко С.И., Седнин В.А., Абразовский А.А., Гориченко С.Ф.</i> МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГАЗОПРОВОДОВ	37
<i>Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И.</i> ПОГОВОРИМ ОБ ОТХОДАХ ПРОИЗВОДСТВА	39
<i>Евтушенко В.В., Голякевич А.А., Евдокимов А.В., Лавров С.Н., Демьяненко В.З.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ Порошковой проволоки и порошковой ленты при НАПЛАВКЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ	44
<i>Зяхор І.В., Завертанний М.С., Самотрясов С.М., Капітанчук Л.М., Левчук А.Н.</i> СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТЕРТЯМ ЖАРОМІЦНОГО НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ ІЗ СТАЛЛЮ МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ	46
<i>Кириченко І.О., Воронцов Б.С.</i> МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА	47
<i>Клименко С.А., Полонский Л.Г., Харламов М.Ю., Харламов Ю.А., Витязь П.А., Чижик С.А., Ивашко В.С., Хейфец М.Л.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ	49

<i>Коморова Г.Л., Волошина Л.В., Цап О.І.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНУ КОМПЛЕКСНОЮ ОБРОБКОЮ	52
<i>Кривошеков В.Е.</i> ИННОВАЦИОННЫЙ УЧЕБНЫЙ КУРС ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ УКРАИНЫ: РЕЦИКЛИНГ СУДОВ В МИРОВОМ ФЛОТЕ	54
<u>Кучук-Яценко С.І.</u> , <i>Антіпін Є.В., Дідковський О.В., Зяхор І.В.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ДІЮЧИМ СТАНДАРТАМ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ОБ'ЄМНО- ТА ПОВЕРХНЕВО ЗАГАРТОВАНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК	56
<i>Лавріненко В.І.</i> СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ У НАПРЯМКУ ЗАСТОСУВАННЯ CVD-АЛМАЗІВ У АЛМАЗНОМУ ІНСТРУМЕНТІ	58
<i>Лавріненко В.І., Проць Л.А.</i> ДО ПИТАННЯ АНАЛІЗУ НАЯВНИХ ДАНИХ ТА ОЦІНКИ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	66
<i>Лавров О.С., Голякевич А.А., Лавров С.М.</i> ТЕХНІЧНЕ ПЕРЕОЗБРОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	71
<i>Лебедєв В.Г., Ніколаєва Т.В., Чумаченко Т.В., Омельченко Є.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ЕЛЕКТРОКОРУНДОМ, КРУГОМ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ТА СИНТЕТИЧНИМ АЛМАЗОМ	74
<i>Лебедєв В.Г., Чумаченко Т.В., Омельченко Є.І., Ніколаєва Т.В., Беспалова А.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ МАРТЕНСИТНО- СТАРІЮЧОЇ СТАЛІ ЕЛЕКТРОКОРУНДОМ, КРУГОМ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ТА СИНТЕТИЧНИМ АЛМАЗОМ	76
<i>Логінова О.Б., Кістерська Л.Д., Кондратюк Т.О., Бошицька Н.В., Солодуха А.Б.</i> МОДИФІКУВАННЯ ПОЛІЕСТЕРНОГО ТЕКСТИЛЮ НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА ДЛЯ БІОЦИДНОГО ЗАХИСТУ	79
<i>Lopata A., Smirnov I., Zinkovskii A., Lopata L.</i> IMPROVEMENT OF PROPERTIES COATINGS BY ELECTROCONTACT TREATMENT	81

<i>Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Загора А.П., Виноградова О.П., Васильчук О.С., Базалій Г.А., Закутевський О.І.</i> ВПЛИВ СТУПЕНЯ АРМУВАННЯ ПОРОШКОМ АЛМАЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ	85
<i>Маленко П.И.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СУБШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ	87
<i>Михеев Р.С., Калашиников И.Е., Быков П.А., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л., Клименко С.А., Копейкина М.Ю.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ЗОНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ	89
<i>Ночвай В.М., Полонський Л.Г., Свінцицький М.А., Сидорчук В.С.</i> РЕМОНТ ШТАМПІВ ПРЕСА СИЛІКАТНОЇ ЦЕГЛИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ	92
<i>Петасюк Г.А., Петасюк О.У.</i> АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ГЕОМЕТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ 3D МОДЕЛІ ЗЕРНА ТА ФОРМИ ЙОГО ПРОЕКЦІЇ ДЛЯ ВИСОКОМІЦНИХ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ	93
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Аксьом П.А.</i> ПРЕЦИЗІЙНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ТРУБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	97
<i>Пріхна Т.О., Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І., Зайцева І.М., Тимошенко В.В., Барановська К.А.</i> ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АЛМАЗНОГО ПРАВЛЯЧОГО ПРЕЦИЗІЙНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗБІЛЬШЕННЯМ ОДНОРІДНОСТІ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ	100
<i>Рошупкин В. В., Пенкин А. Г., Пенкин М. А., Теплов А. О., Минина Н.А.</i> ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛИРОВКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ ТРИП-СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ	103
<i>Рябченко С.В., Ковальчук О.М., Нежебовський В.В.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВУГЛЕДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ ПРОФІЛЬНИМ ШЛІФУВАННЯМ	106

<i>Сахнюк І.О., Битков М.Х., Рудак Н.П., Поліщук Р.Ю.</i> ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В НАУКОВИХ УСТАНОВАХ	108
<i>Севальнєва Т.Г., Колмаков А.Г., Севальнєв Г.С., Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Хейфец М.Л.</i> ТРИБОНАГРУЖЕНИЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА ВНС9-Ш	111
<i>Севидова О.К., Гуцаленко Ю.Г., Степанова І.І.</i> ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ	113
<i>Севидова О.К., Пупань Л.І., Гуцаленко Ю.Г.</i> МОРФОЛОГІЯ ТА КОРОЗІЙНО-ЗАХІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ПОКРИВІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ	116
<i>Сергеев Н.Н., Сергеев А.Н., Кутепов С.Н., Гвоздев А.Е., Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В., Хейфец М.Л.</i> ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОПЛАВЛЕНИЯ НА КОГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	119
<i>Соловых Е.К., Катеринич С.Е., Соловых А.Е., Магопеев С.А., Дубовик В.А.</i> ПРИЧИНЫ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ	122
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Сороченко Т.А.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРИКОВ ПОДШИПНИКОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ	124
<i>Тамаргазін О.А., Довгаль А.Г., Варюхно В.В., Кабика С.М.</i> СТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД ТЕПЛОЗАХІСНИХ ПОКРИТТІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РЕЖИМІВ ЇХ НАНЕСЕННЯ	127
<i>Тверитникова О.Є., Мельник Т.В.</i> ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКОСТІ НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ ДСТУ 9001:2015 НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІЗ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТУ ТА НАФТИ	132
<i>Тимофеева Л.А., Колесник М.А.</i> ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЯХ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	135

<i>Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Колесник М.А.</i> СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРО- ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ	137
<i>Тимофеев С.С., Грибанов М.В., Воскобойников Д.Г.</i> ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНІВ	138
<i>Тимошенко В.В., Луканова Л.А., Голякевич А.А.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO 9001:2015 В ПРОМИСЛОВОСТІ НА ПРИКЛАДІ ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»	139
<i>Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В.</i> ВАЛИДАЦІЯ ПРОЦЕССОВ	142
<i>Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В.</i> СТАНДАРТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ	144
<i>Урсуленко Т.Е., Титаренко В.И., Лантух В.Н., Бардан Д.В., Мудранинец И.И.</i> РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕМОНТА ВАЛОВ РОТОРА И ПОДШИПНИКОВЫХ ЩИТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	146
<i>Kharlamov Y.A.</i> CONTACT AREAS OF PARTICLES WITH SUBSTRATE IN THERMAL SPRAYING	154
<i>Kharlamov Y.A.</i> GAS EXCHANGE IN D-GUNS FOR COATINGS SPRAYING	157
<i>Kharlamov Y.A.</i> ACCUMULATION OF ADHESION BONDS BETWEEN PARTICLES AND SUBSTRATE DURING THERMAL SPRAYING	162

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

Матеріали 21-ї Міжнародної науково-технічної конференції,
07–11 червня 2021 р., м. Свалява

Мови конференції: українська, англійська, російська

Комп'ютерна верстка
Копейкіна М.Ю.

Підписано до друку 25.05.2021
Формат 60×84×1/16. Папір типографський
Друк офсетний. Умч. вид. арк. 11,0.
Тираж 150 прим.

Асоціація технологів-машинобудівників України
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2
