



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»
Машинобудівний факультет Белградського університету

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

**Матеріали 23-ї Міжнародної
науково-технічної конференції**

20–22 червня 2023 р.

Київ – 2023

Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 23-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 20–22 червня 2023 р. – Київ: АТМ України, 2023. – 99 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,
2023 р.

ТЕНДЕНЦІЇ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО СТВОРЕННЮ ЛЕГКИХ БРОНЬОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Проведено аналіз робіт виконуваних у напрямку отримання броньових матеріалів з метою підвищення їх ергономічних характеристик при зниженні собівартості. Особливий акцент зроблено на показникові живучості бронепанелей – основній характеристиці надійності захисту від ураження при неодноразовій балістичній дії. Зроблено висновок про те, що клас керамічних матеріалів є безальтернативним для забезпечення ефективного захисту від всіх видів бронебійних боєприпасів.

Дослідження спрямовані на розробку високоефективних броньових матеріалів і конструкції протикульових бронезилетів на даний час є особливо актуальними в умовах війни з російською федерацією.

Багаторічний досвід, що має Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України в області розробки керамічних та полімерних композиційних матеріалів і створення засобів захисту, з використанням керамо-полімерних ударостійких композитів, дає підстави для доцільності розвитку напрямків досліджень по отриманню броньових матеріалів на основі безкисневих сполук. Призначення бронепанелі – зупинити елемент ураження (ударник), максимально розсіяти його кінетичну енергію і розподілити її на більшу поверхню.

Останнім часом керамічні матеріали все ширше застосовуються в складі композитної броні для захисту особового складу і військової техніки. Це обумовлено комплексом унікальних властивостей керамічних матеріалів – низькою густиною, високими твердістю, модулем пружності та міцністю у порівнянні з металами. В складі композитної броні керамічні матеріали виконують роль подрібнюючого шару та відхилення траєкторії ударника і забезпечують зниження ваги броні та підвищення ефективності бронезахисту. Експериментальні дані свідчать про те, що чим вищі твердість, модуль пружності і міцність кераміки, тим ефективніше здійснюється руйнування ударника. Підвищення ефективності композитної броні при застосуванні керамічних матеріалів багато в чому обумовлене

оптимальним поєднанням подрібнюючого керамічного шару і енергопоглинаючої підкладки з поліматеріалів. Подрібнюючий ефект полягає в розсіюванні зусилля, при співударенні з ударником, на більшу площу контакту, а також в поглинанні частини енергії удару за рахунок руйнування перепони.

Основним показником ефективності бронепанелі є її живучість – здатність забезпечувати захист при неодноразовій балістичній дії. Для композицій, що забезпечують захист від куль з бронебійним осердям цей показник не перевищує трьох влучань в бронепанель – німецький стандарт (Germany Technische Richtlinie April 2003) і Європейський стандарт (CEN pr EN ISO 14876-2 Draft July 2000), але стандарти США (USA NIJ Standard – 0101.04) та Великобританії (UK PSdB Body Armor Standard) передбачають одне влучання. Кулестійкість керамічної бронепанелі в складі повної захисної композиції згідно цих стандартів визначається пострілом з бронебійною кулею з дистанції 10–25 м.

Хоча закордонна нормативна база, яка регламентує показники засобів індивідуального захисту не передбачає необхідності забезпечення живучості композитних керамічних бронепанелей, в інтернет-джерелах є інформація про необхідність захисту життєво важливих органів бронепанелями стійкими до багаторазових влучань, в тому числі, і бронебійними сердечниками. Передбачається підвищення показника живучості до шести влучань кулі 7,62 мм з короткої дистанції без пробиття.

Найкращі показники живучості мають бронепанелі, фронтальний шар яких складається з керамічних елементів обмеженої площі. Балістичне руйнування одиночного елемента не приводить до втрати кулестійкості бронепанелі в цілому. Слід зауважити, що стики між окремими елементами заповнені полімерною зв'язкою, яка має модуль пружності на два порядку менший, від модуля кераміки, і є розривом однорідного середовища, завдяки чому створюється перепона поширенню магістральної тріщини і ударної хвилі. Це знижує вірогідність розповсюдження тріщини на інші елементи панелі, що зберігає їх здатність витримувати повноцінне балістичне навантаження. Завдяки відносній еластичності та ударостійкості експлуатаційна витривалість бронепанелей з набору керамічних елементів суттєво вища.

Доцільність застосування в бронепанелях мозаїчної будови керамічного шару не викликає сумніву, в зв'язку з її високою живучістю, особливо в умовах бойових дій за відсутності лінії фронту, ко-

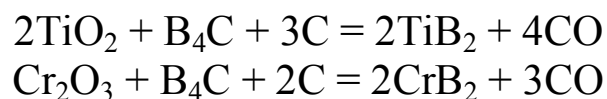
ли можливий неочікуваний вогневий контакт в будівлях, а також застосування широкого арсеналу стрілецької зброї та боєприпасів.

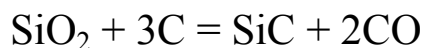
Враховуючи це, роботи по створенню легкої броньової кераміки, стійкої до ударних навантажень, розробка конструкцій та технології виготовлення броньових блоків на основі карбіду бору для перспективних зразків індивідуальної бойової екіпіровки та технологічних задач бронювання техніки є актуальними і соціально значимими.

З точки зору експлуатаційних властивостей бронепанелей, найбільший інтерес являє кераміка на основі карбіду бору, яка має найменші вагові характеристики при найвищій твердості. Кераміка на основі карбіду кремнію займає за цими показниками другу сходинку. А найбільш поширеним видом є алюміній-оксидна кераміка, яка має більшу вагу та меншу твердість, але технологія її виготовлення дешевша від кераміки на основі карбідів бору та кремнію. Як правило, монопластини з оксидної кераміки виготовляють в два етапи. Перший етап – виготовлення напівфабрикату пресуванням або шлікерним литтям. На другому етапі проводять відпал і спікання в печах при температурі $T = 1570\text{--}1920\text{ К}$. Карбідні види кераміки виготовляють класичним методом ізостатичного гарячого пресування сумішей порошків карбіду бору або карбіду кремнію визначеної дисперсності та складу в графітових пресформах. Композити на основі карбіду кремнію отримують шляхом насичення розплавом кремнію порошків карбіду кремнію і завершального реакційного спікання при $T = 1870\text{ К}$ в інертній атмосфері. Карбід кремнію виникає в результаті взаємодії вуглецю (графіту) і інфільтрату металічного кремнію. Недоліком процесу є те, що можуть мати місце ділянки непрореагуваного металічного кремнію в міжкристалічному просторі кераміки, що знижує її характеристики міцності.

Отримання кераміки на основі карбіду бору потребує високих температур гарячого пресування, тому в процесах виготовлення застосовують різні добавки (в основному у вигляді оксидів), які дають можливість знизити температуру реакційного спікання в умовах гарячого пресування.

Дослідженнями фазового складу та мікроструктури зразків, отриманих з шихти з добавками TiO_2 , Cr_2O_3 , SiO_2 встановлено, що в процесі реакційного спікання в умовах гарячого пресування має місце хімічна взаємодія між цими оксидами і вуглецем згідно наступних реакцій:





Активуючі добавки у вигляді оксидів титану TiO_2 , хрому Cr_2O_3 , або кремнію SiO_2 дають можливість використовувати технічні порошки карбіду бору з великим вмістом вільного вуглецю для отримання високоміцної кераміки з фазовим складом $\text{B}_4\text{C} - (\text{TiB}_2, \text{CrB}_2)$ чи $\text{B}_4\text{C} - \text{SiC}$.

В процесі гарячого пресування хімічна взаємодія компонентів сумішей, в якій приймають участь оксидні фази активуючих домішок супроводжується значним газовиділенням у вигляді летючих сполук, тому технологічний процес здійснювався з ізотермічними витримками на кожному з проміжних етапів.

Весь процес отримання кераміки з порошків карбіду бору можна умовно розділити на наступні етапи:

- нагрівання прес-форми з порошковою сумішшю;
- розігрів порошкової суміші в прес-формі, що супроводжується її термічним розширенням без спікання;
- випаровування легкоплавких складових та видалення газоподібних продуктів без спікання нагріванням до $T = 780\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$;
- інтенсивне термічне розширення компакта в прес-формі при $T = 950\text{--}1300\text{ }^\circ\text{C}$ та початок формування міжчасткових контактів;
- завершення видалення легкоплавких домішок та газоподібних продуктів, компенсація процесу усадки зразків за рахунок термічного розширення;
- інтенсивна усадка з ущільненням компакта під дією прикладеного тиску і температури;
- охолодження прес-форми зі спеченими зразками.

Від виду домішок залежить величина мінімальної температури початку активного ущільнення при гарячому пресуванні. При введенні TiO_2 вона складає $T_y = 1900\text{ }^\circ\text{C}$, а для Cr_2O_3 вона знаходиться в межах $T_y = 2100\text{ }^\circ\text{C}$. Мінімальною температурою $T_y = 1700\text{ }^\circ\text{C}$ початку активного ущільнення при гарячому пресуванні характеризується шихта, яка вміщує домішки у вигляді 10 мас% SiO_2 і 5 мас.% С.

Ця обставина обумовлена утворенням рідкої фази і подальшими процесами хімічної взаємодії оксиду кремнію з вуглецем, які супроводжуються утворенням іншої фази:

- активуючі добавки сприяють отриманню гетерофазного керамічного матеріалу з однорідною дрібнозеренною структурою та рівномірним розподілом фаз, що забезпечує формування високих фізико-механічних характеристик;

- застосування активуючих добавок TiO_2 , Cr_2O_3 та SiO_2 дає можливість знизити параметри процесу гарячого пресування кераміки (тиску, температури та тривалості ізотермічної витримки), забезпечуючи отримання високощільної гетерофазної кераміки. Найбільш ефективно активує процес ущільнення оксид кремнію, введення в порошок карбіду бору якого в кількості 10 мас.% знижує температурний поріг початку активного ущільнення до $T_y = 1700^\circ\text{C}$;

Проведений аналіз напрямків досліджень по створенню легкої ударостійкої броньової кераміки дає підстави для висновку про можливість отримання матеріалів з високими ергономічними характеристиками при зниженні собівартості, шляхом застосування різних домішок оксидів, активуючих процес гарячого пресування та підвищення живучості бронепанелей за рахунок їх мозаїчної будови.

*Анісімов В.М. Український державний
університет науки і технологій,
Анісімов В.В. Український державний
хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОЇ ПОВЕРХНІ ЛІНІЙНИХ БЛОК-КОПОЛІУРЕТАНІВ ПРИ ТЕРТІ В УМОВАХ РІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА

Поліуретани відносяться до найбільш універсальних і практичних полімерів, що обумовлено широкими можливостями змінення їх хімічної будови, структури і властивостей [1]. Останнім часом широко застосування в промисловості знаходять поліблочні поліуретани лінійної будови, які володіють унікальним поєднанням високого рівня міцності та еластичності, оливо- і бензостійкості, ударо- та вібростійкості. Вироби і конструкції на основі лінійних блок-кополіуретанів (БПУ) використовують у всіх без винятку галузях промисловості.

Суттєвим недоліком БПУ є їх низька гідролітична стійкість в умовах фрикційного контакту. Попередні дослідження засвідчили, що величина інтенсивності зношування БПУ на основі олігоестерів під час додавання в зону контакту води зростає більш, ніж на порядок [2]. Тому, розроблення більш досконалих і технологічних методів пі-

двищення гідролітичної стійкості та створення на їх основі зносостійких композиційних БПУ і нині залишається актуальною задачею.

Об'єктами дослідження обрано блок-кополіуретани різної молекулярної будови. Синтез проводили з олігомерних естерів (синтезовані з адипінової кислоти та гліколів метиленового ряду різної природи – олігоетиленглікольадипінат з молекулярною масою ~ 2000 (ОЕГА₂₀₀₀), олігобутиленглікольадипінат з молекулярною масою ~ 500 та ~ 2000 (ОБГА₅₀₀, ОБГА₂₀₀₀), олігоетиленбутиленглікольадипінат з молекулярною масою ~ 2000 (ОЕБГА₂₀₀₀) та олігомерного етеру – олігоокситетраметиленгліколь з молекулярною масою ~ 1000 (ООТМГ₁₀₀₀), синтезованого з тетрагідрофурану. Уретанові групи утворювали з 4,4'-дифенілметандіізоціанату (МДІ), для утворювання блочної структури БПУ вводили низькомолекулярний гліколь – 1,4 бутандіол (бутиленгліколь) (БД). Молекулярна маса всіх зразків БПУ ~ 50000 – 70000 (характеристична в'язкість $[\eta] = 0,8$ – $1,1$ дл/г БПУ у 0,5% розчині диметілформаміду). Молекула блок-кополімеру складається із частин, що різняться гнучкістю і повторюються. Еластичні блоки (P_e) утворюються з гнучких частин (олігоетерів або олігоестерів). Жорсткі блоки (P_c) утворюються в результаті самоорганізації уретанових груп.

Для вивчення топографії поверхонь тертя та характеру їх руйнування використовували структурний аналізатор “Epigant”. Ступінь кристалічності (C_k) визначали методом Метьюза як відношення площі під кристалічними рефlekсами (S_k) на рентгенограмі до загальної площі під кривою когерентного розсіювання ($S_k + S_a$).

Вивчено вплив ступеня кристалічності на характер процесу зношування при терті в умовах водного середовища. Для БПУ, які мають здатність до кристалізації при мінімальному вмісті P_c ($\sim 11\%$) (ступінь кристалічності БПУ ОБГА₂₀₀₀ $\approx 20\%$, БПУ ОЕГА₂₀₀₀ $\approx 9\%$, інших – до $0,2\%$), спостерігаються мінімальні значення інтенсивності зношування та коефіцієнта тертя. Зменшення ступеня кристалічності при $P_c > 20\%$ призводить до стрімкого зростання значень інтенсивності зношування та коефіцієнта тертя.

Оптичним аналізом встановлено, що при терті в умовах водного середовища у БПУ на основі ОБГА₂₀₀₀ при мінімальному вмісті P_c ($\sim 11\%$) і максимальній спроможності еластичного блоку до кристалізації (ступінь кристалічності $C_k \approx 20\%$) утворюється гладка зносостійка поверхня, яка швидко “пристосовується” до умов тертя (рис. 1, а). Із зменшенням ступеня кристалічності еластичних блоків на гладкій зносостійкій поверхні, але вже з елементами незаве-

ршеності, спостерігаються місцями сліди мікропорізів у вигляді бороздок (рис. 1, б). При мінімальному ступені кристалічності (порядка 0,2%) утворення гладкої зносостійкої поверхні зразків не спостерігається, а навпаки, вона представляє матове поле із хвилеподібних утворень зі слідами мікропорізів (рис. 1, в).

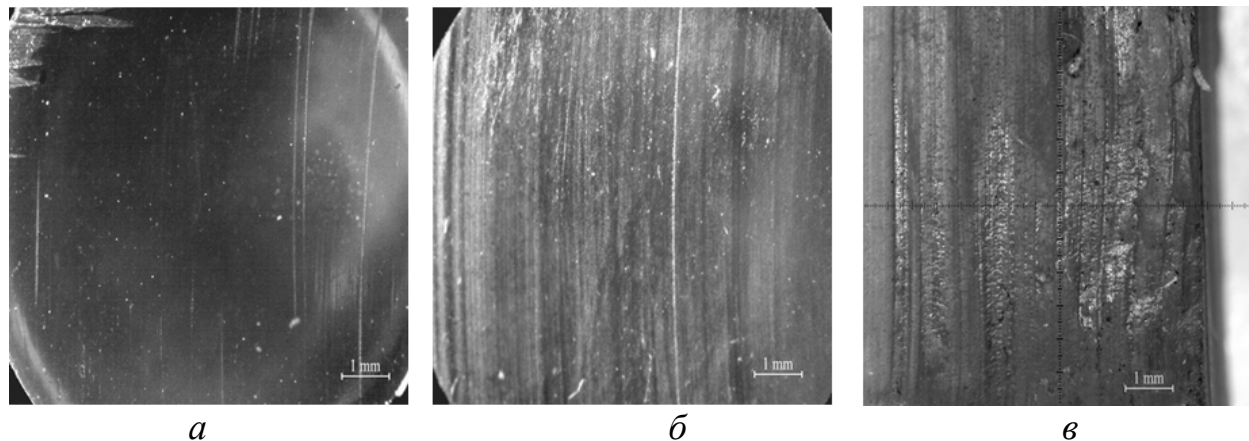


Рис. 1 – Поверхні БПУ після тертя у рідині при мінімальному вмісті жорстких блоків (P_c): *a* – БПУ на основі ОБГА₂₀₀₀ при $P_c \sim 11\%$; *б* – БПУ на основі ОЕГА₂₀₀₀ при $P_c \sim 11\%$; *в* – на основі ОЕБГА₂₀₀₀ при $P_c \sim 11\%$

Виявлена гладка зносостійка поверхня забезпечує високі деформаційно-міцнісні та триботехнічні показники БПУ на основі ОБГА₂₀₀₀ при $P_c \approx 11\%$, захищаючи матеріал від швидкого руйнування.

Література

1. Штомпель, В.И. Структура линейных полиуретанов / В.И. Штомпель, Ю.Ю. Керча. – К. : Наук. думка, 2008. – 247 с.
2. Anisimov, V.N. Technological features of processing linear Block-polyurethanes of different morphology / V.N. Anisimov, V.V. Anisimov // Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. – 2019. – № 4. – P. 5–11.

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СТИБКА ДЕФОРМАЦІЇ І ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА РЕАЛІЗАЦІЇ ЯВИЩА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ПЛИННОСТІ МЕТАЛІВ

Ефект низькотемпературної переривчастої плинності металів має універсальний характер, оскільки при зниженні температури нижче за деякий критичний рівень, виявляється практично у всіх металів і сплавів. При цьому він небезпечний з погляду конструкційної міцності, тому що прирости деформації можуть сягати надмірних величин. Представляють небезпеку і супутні динамічні ефекти, обумовлені швидкоплинністю процесу. Чисельне дослідження кінетики процесу стрибкоподібної деформації металів при температурі 4 К – зокрема тривалості стрибка залежно від основних чинників, що впливають на даний процес, стає доволі актуальним.

Об'єктом дослідження є процес розвитку стрибка деформації металу у вигляді циліндричного зразка, що розтягується в середовищі рідкого гелію. Конкретні результати отримані для типових матеріалів кріогенного призначення: стабільної аустенітної сталі 03X20H16AG6 і алюмінієвого сплаву АМг5. Чисельна симуляція виконана на основі нелінійної локальної одновимірної багатопараметричної моделі [1]. Вона сформульована у вигляді диференціального рівняння динамічної рівноваги системи зразок-машина в процесі стрибка деформації:

$$\ddot{\varepsilon}_d (1 + \varepsilon_d) + a\dot{\varepsilon}_d + b\varepsilon_d (1 + \varepsilon_d) + c\varepsilon_d^m = p \sin \omega t,$$

тут ε_d – поздовжня стрибкоподібна деформація, t – час; a, b, c, p, m, ω – постійні, причому $\varepsilon_d \geq 0, \dot{\varepsilon}_d \geq 0, \varepsilon_d(0) = \dot{\varepsilon}_d(0) = 0; \varepsilon_d(\tau_D) = \varepsilon_D; \dot{\varepsilon}_d(\tau_D) = 0$, де τ_D – тривалість стрибка. Рівняння складене для ненавантажуваної системи, в якій деформація здійснюється тільки за рахунок запасу пружної енергії, і тому його права частина не описує режим навантаження. Процес стрибка розвивається настільки швидко, що звичайне статичне навантаження на нього практично не впливає. Стрибок починається, як тільки досягнуте критичне (стартове) напруження σ_0 .

Базовий розрахунок стрибка деформації та його тривалості проводили для величин, що були вибрані, як середні для області ді-

аграми з розвиненою стрибкоподібною деформацією зразків сталі 03Х20Н16АГ6 та алюмінієвого сплаву АМг5.

Характеристики кінетики процесу низькотемпературної стрибкоподібної деформації для двох різних металів відрізняються приблизно в 5 разів. Це відповідає співвідношенню стартового напруження і відображає різницю механічних характеристик міцності. Виключенням з цієї закономірності є тривалість стрибка, яка для сплаву АМг5 більша, ніж для сталі 03Х20Н16АГ6. Цей результат спростовує звичайне уявлення «малий стрибок-мала тривалість». При цьому залежності тривалості стрибка від стартового напруження для обох металів нелінійні, а якщо їх побудувати у відносних координатах, вони не співпадають (рис. 1).

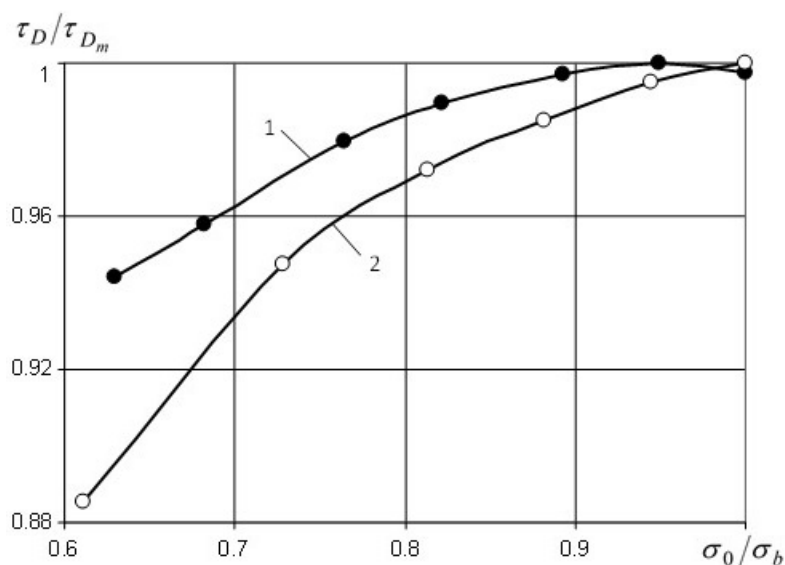


Рис. 1 – Залежність тривалості стрибка від стартового напруження у відносних координатах для сталі 03Х20Н16АГ6 (1) та алюмінієвого сплаву АМг5 (2)

Величини тривалості стрибка у досліджених металах близькі, їх відмінність від середнього значення $\tau_{md} = 16,1$ мс складає лише 4%. Це означає, що τ_D залежить головним чином від характеристик системи навантаження, а не від характеристик матеріалу. Також треба відзначити, що масштабний фактор не впливає на тривалість стрибка деформації, його слабкий вплив виявляється тільки в малому початковому діапазоні площ поперечного перетину зразків.

Динамічні навантаження, які виникають в системі зразок-машина в процесі стрибка деформації мають інерційну природу. Проста оцінка показує, що сили інерції досягають значних величин (табл. 1). При завершенні стрибка їх напрям протилежний напрямку

деформації зразків. Далі відбувається перехідний процес, який має характер швидко затухаючих коливань системи.

Таблиця 1 – Характеристики кінетики процесу стрибкоподібної деформації металів

Матеріал	ε_D	$\dot{\varepsilon}_D, \text{с}^{-1}$	$\ddot{\varepsilon}_D, \text{с}^{-2}$	$\tau_D, \text{мс}$	$P_{in}, \text{Н}$
03Х20Н16АГ6	0,0164	18,6	5000	15,4	2100
АМг5	0,0383	3,8	1000	16,8	420

Показано, що швидкості стрибкоподібної деформації, її прискорення і супутні динамічні навантаження досягають вельми великих величин, а тривалість стрибка визначається головним чином характеристиками системи навантаження.

Література

1. Vorob'ev, E.V. Numerical analysis of the deformation instability of metals in liquid helium / E.V. Vorob'ev, T.V. Anpilogova // Comp. Mat. Sci. – 2013. – vol. 68. – P. 66–72.

Волошин Д.І., Лемеш Р.С., Кушніренко І.В.
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ ЯК ЗНОСОСТІЙКОГО МАТЕРІАЛУ

Високохромистий чавун широко застосовується в техніці як зносостійкий матеріал. В Україні хромисті сплави 12–18% хрому і 1,0–4,3% вуглецю застосовують у різних галузях промисловості. Структура таких сплавів складається з голчастої або пластинчастої матриці та карбідів. Сплави вирізняються зниженою пластичністю. Впливати на їхню структуру і властивості можна шляхом модифікування, легування і термічної обробки.

У цій роботі були проведені дослідження, спрямовані на розробку складу високохромистих чавунів, що застосовуються як робочий шар двошарових валків чистових клітей сортових станів і лопаток дробометних апаратів.

Матеріал прокатних валків і лопаток дробометних апаратів крім високих контактних навантажень, піддається циклічним тепловим навантаженням. У цих умовах зносостійкість, термічна витривалість і механічні характеристики хромистих чавунів визначаються цілою низкою чинників: фазовим складом чавуну, його структурою, співвідношенням різних фаз у структурі, розмірами, формою і розподілом фазових структурних елементів. Властивості сплавів системи Fe-Cr-C обумовлюються особливостями впливу хрому як легуючого елемента: необмеженим розчиненням хрому в α -Fe до 12% γ -Fe і утворенням карбідів.

Раніше проведеними дослідженнями показано можливість формування під час кристалізації високохромистих чавунів евтектики – аустеніт + карбіди $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$, $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$.

У даній роботі досліджували особливості структуроутворення і властивостей високохромистих чавунів у литому стані та після різних режимів термічної обробки. Чавуни містили (у %): C – 2,5–3,5; Si – 0,3–1,5; Mn – 0,5–1,5; Cr – 10–25; Ni – 0,4–1,0; Ti – 0,1–0,2; Cu – 0,8–5,0; S і P – 0,03–0,06; Fe – решта.

Для робочого шару двошарових валків сортових станів у результаті проведених комплексних досліджень запропоновано чавуни з високим вмістом міді до 0,5%; хрому від 10 до 21% і нікелю 1%. При цьому такі сплави мали вищі показники міцності на вигін і стиск ($\sigma_{\text{в}} = 860\text{--}1098$ МПа; $\sigma_{\text{ст}} = 1900\text{--}2500$ МПа), а також непогану оброблюваність. Ці високохромисті чавуни мали хороші властивості в литому стані і не вимагали термічної обробки.

Вищенаведені склади високохромистих чавунів були використані при виробництві лопаток дробометних апаратів. З цією метою в лопатки серійного виробництва ввели додаткову кількість вуглецю, міді, нікелю і хрому. Було запропоновано режим термічної обробки з метою отримання більш високої твердості: нагрівання до 1000 °C, охолодження на повітрі, відпустка при 250 °C. У досліджуваних чавунах кількість карбідної фази змінювалася від 23,4 до 32,04% і ступінь евтектичності $S_e = 0,764\text{--}0,98\%$.

У литому стані всі сплави мали майже повністю аустенітну структуру, твердість основи 50–53 HRC, після термічної обробки – 57–60 HRC.

Спостерігалася загальна тенденція – у міру збільшення кількості карбідної фази експлуатаційна стійкість лопаток збільшується,

більшу експлуатаційну стійкість мають лопатки, виготовлені з чавунів зі ступенем евтектичності ≈ 1 .

На підставі результатів досліджень запропоновано склад чавуну, який має експлуатаційну стійкість (у %): С – 2,5–3,5; Si – 0,6–1,0; Cr – 20–30; Ni – 0,2–0,4; Cu – 0,8–1,0; Ti – 0,1–0,2; Fe – решта.

Вартість лопаток, виготовлених за розробленою технологією, у 2,5 рази нижча, ніж лопаток, виготовлених за традиційною технологією, експлуатація вища майже в 4 рази.

Волошина Л.В., Гарбуз О.С., Щербина О.О.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ДО ПИТАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ВИРОБАХ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Умови роботи вузлів тертя визначають низку вимог до їх матеріалу: висока міцність за достатнього запасу пластичності, підвищена зносостійкість і хороше припрацювання.

У машинобудуванні для деталей подібних вузлів широко застосовують сірий чавун з пластинчастим графітом і високоміцний чавун з графітом кулястої форми. Однак за тривалої експлуатації чавунні деталі не виробляють свого ресурсу через відмови за рахунок прискореного зносу поверхні, що здебільшого спричиняється утворенням вузлів схоплювання.

Для забезпечення надійної безвідмовної роботи чавунних деталей, що працюють в умовах тертя і зношування, необхідно на поверхні отримати такий шар, який одночасно забезпечував би хороше і швидке припрацювання, низький коефіцієнт тертя і малий знос, мав здатність утримувати масляну плівку і протистояти задиру та схоплюванню.

Усім цим вимогам може задовольняти багатофазний поверхневий шар, у якому присутні як тверді фази, що сприймають високі тиски, так і м'які складові, що сприяють поліпшенню антифрикційних властивостей чавуну. Водночас для гарного видалення продуктів зносу матеріал поверхневого шару повинен бути відносно крихким.

Поверхневий шар з необхідними властивостями може бути отримано, якщо його формування відбуватиметься в середовищі перегрітої пари водного розчину водорозчинних солей, зокрема – повареної солі, тіосульфату натрію, солі ортофосфорної кислоти [1].

За підвищеної температури в контакт з металевою поверхнею відбувається дисоціація розчину і хімічних сполук з утворенням атомарних кисню, сірки, азоту. Елементи адсорбуються поверхнею, збільшують зносостійкість і покращують припрацьовуваність. У процесі поверхневої обробки деталей із чавуну під впливом перегрітої пари водних розчинів солей з певною витримкою і температурою дає можливість вносити в насичені поверхні в насичувальне середовище легувальні елементи. У свою чергу виникає можливість змінити склад оксидного шару залежно від умов роботи пар тертя. Оскільки як основне робоче середовище – перегріта пара водного сольового розчину, нагрівання до 600 °С, час витримки не повинен перевищувати 1 год (цей час необхідний для формування багат шарового покриття, що містить оксиди, сульфід, фосфід).

Формування поверхневого шару відбувається не тільки на металевій основі, а й по межах графіту як пластинчастого, так і кулястого, що виходить на поверхню металу без розриву суцільного шару. Така будова покриття забезпечує необхідний комплекс властивостей чавуну, що працює в умовах тертя і зношування [2].

Для виявлення ефективності застосування нової технології було проведено порівняльні випробування захисних покриттів на триботехнічні властивості (зносостійкість, задиростійкість, припрацьовуваність, коефіцієнт тертя). На зразки наносили захисні покриття за розробленою технологією та технологією чистого парооксидування.

Порівняльний аналіз наведених результатів дослідження показує, що в результаті застосування нової технології нанесення покриттів підвищилися експлуатаційні характеристики виробів.

Проведені дослідження триботехнічних властивостей показали, що в результаті процесу обробки поверхні виробів за розробленою технологією за різних насичувальних середовищ отриманий шар має антифрикційні властивості, коефіцієнт тертя в 1,5–2,0 рази нижчий порівняно з результатами традиційних методів хіміко-термічної обробки [1].

Виявлено особливості формування покриттів на чавунах з різною структурою матриці та різною формою графіту, які полягають у тому, що в результаті окислювально-відновних процесів, що від-

буваються на поверхні "метал-насичувальне середовище", формується шар навколо графіту. Цей процес протікає інтенсивніше на чавунній поверхні з кулястим графітом [1].

Наявність графіту в поверхневому шарі забезпечує чавуни виробам антифрикційні властивості. Залежно від наявності елементів, що перебувають у насичувальному середовищі в сформованому покритті, воно може мати фрикційні або антифрикційні властивості, тобто, регулюючи склад насичувального середовища, можливо, отримувати покриття з заздалегідь заданими властивостями.

Література

1. Тимофеева, Л.А. Підвищення трибологічних властивостей поверхневого шару чавуну за допомогою оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей / Л.А. Тимофеева, С.С. Тимофеев, Л.В. Волошина, М.А. Колесник // Вісник ХНАДУ. – 2021. – вип. 94. – С. 123–127.

2. Волошина, Л.В. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття / Л.А. Тимофеева, Л.В. Волошина, П.М. Гордієнко // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ. – 2017. – вип. 170. – С. 13–19.

Воробйов Є.В. Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

ВНУТРІШНІЙ ТИСК ЗА ОХОЛОДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ СУДИНИ ЯК ЗАСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ В УМОВАХ ДВОВІСНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ І КРІОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУР

В ряді випадків розрахунково-аналітичні методи оцінки конструкційної міцності виробів кріогенної техніки необхідно доповнювати експериментальними методами, як найбільш об'єктивними при перевірці прийнятих конструктивно-технологічних рішень.

Великий практичний інтерес становлять результати дослідження міцності судин тиску та їх елементів, що дозволяють обґрунтувати методи розрахунку та технології створення рівноміцних зварних з'єднань.

В Інституті проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України створено пневмогідралічний стенд для випробування оболонкових конструкцій при їхньому статичному та циклічному навантаженні внутрішнім тиском до 100 МПа в діапазоні температур 293–77 К. При температурі 77 К обладнання дозволяє випробовувати судини діаметром до 600, довжиною до 1000 мм. Як холодоагент використовується рідкий азот, а робочі речовини – газоподібний азот, гелій, рідкий азот. На стенді можуть бути отримані експериментальні результати оцінки статичної та циклічної міцності циліндричних, сферичних, напівсферичних судин, труб, елементів трубопровідної арматури, виготовлених з різних конструкційних матеріалів, за кріогенних температур.

Однією із задач випробувань може бути експериментальне обґрунтування вибору оптимального виду зварного з'єднання та геометрії судини ємності в умовах плоского напруженого стану за кріогенних температур. Таким випробуванням можуть бути піддані також судини, виготовлені з композитних матеріалів.

Виконано чотири варіанти розрахунків.

У першому варіанті розрахунку визначаємо граничний руйнівний внутрішній тиск p_p .

У другому варіанті розрахунку, спочатку визначаємо величину умовного напруження σ_{1p} , що характеризує граничну несівну здатність судини. Це розрахункове руйнівне окружне напруження.

Розрахунок № 3 – за граничним станом пластичної плинності стінки судини (граничний стан пластичності). Для розрахунку граничного тиску пластичної плинності $p_{пл}$ використовуємо наближену залежність, встановлену в теорії пластичності для даного виду напруженого стану.

Розрахунок № 4 – знаходимо внутрішній тиск $[p]$ за допустимими напруженнями.

Експериментальні дані та результати розрахунків наведені в табл. 1 (при розмірах об'єкта: $D = 420$ мм, $t = 2,6$ мм, $L = 800$ мм).

Показано, що ближчі до експериментальних результати дає розрахунок № 1, але за температури -196 °С вони суттєво завищені (до 9%). Це пояснюється звичайним зниженням конструкційної міцності порівняно з технічною (міцністю зразків) при охолодженні до кріогенних температур.

Розрахунок № 3 застосовується як наближений до випадку, коли пластичні деформації неприпустимі. Відповідний тиск менший від руйнівного.

Таблиця 1 – Результати експерименту та розрахунків внутрішнього тиску та напружень у стінках судин (МПа)

$T, ^\circ\text{C}$	Експерим. результати МПа		Результати розрахунків,									$\sigma_{\text{и}}$	$\sigma_{0,2}$
			№ 1		№ 2		№ 3		№ 4				
	p_p	σ_{1p}	p_p	σ_{1p}	p_p	σ_{1p}	$p_{\text{пл}}$	$\sigma_{1\text{пл}}$	$[\sigma]$	$[\sigma_1]$	$[p]$		
20	4,50	361	4,26	342	4,58	368	2,18	175	117	135	1,68	366	176
−196	5,63	452	6,12	491	6,60	530	2,70	217	145	167	2,08	527	218

Розрахунок № 4 по допустимим напруженням, очевидно, є найбільш консервативним. Допустимий тиск менший від руйнівного.

Гришкевич О.Д., Гринюк С.І. Інститут технічної механіки НАН України і Державного космічного агентства України
Гришин В.С., Анісімов В.М. Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

ІОННО-ПЛАЗМОВЕ ЗМІЦНЕННЯ ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ

Стійкість робочих поверхонь гідроциліндрів від корозійного і механічного зношування зазвичай забезпечується нанесенням гальванічного хромового покриття. Сучасні іонно-плазмові технології поверхневого зміцнення пропонують ефективні способи поверхневого зміцнення, які забезпечують надійний рівень захисту робочих поверхонь пар тертя від зношування при експлуатації в несприятливих умовах з підвищеною вологістю і значною запиленістю абразивними частками. Так магнетронна технологія забезпечує нанесення наноструктурованих покриттів із значно більшою зносостійкістю при меншій товщині і при відсутності наскрізної пористості

покриттів. Використання технологій нанесення нанопокриттів на внутрішні робочі поверхні на цей час стримується відсутністю необхідного промислового обладнання для їх нанесення.

Авторами розроблені зразки іонно-плазмових пристроїв магнетронного типу для нанесення нанопокриттів на внутрішні робочі поверхні гідроциліндрів. Пристрої придатні для використання в вакуумно-плазмових установках типу «Булат», «ННВ», або в аналогічних. Використання розроблених плазмових пристроїв значно розширює функціональні можливості даних установок.

Було розроблено циліндричні магнетронні розпилювачі [1] для нанесення хромового покриття товщиною до 10–20 мкм на внутрішні поверхні діаметром від 20 мм і більше. Магнетронні розпилювачі дозволяють обробляти внутрішні поверхні трубчастих деталей з довжиною в межах характерного розміру вакуумної камери установки. Нанесення покриттів відбувається шляхом переносу матеріалу товстого (до 1 мм) гальванічного хромового покриття з зовнішньої поверхні трубчастого катоду розпилювача на внутрішню поверхню виробу.

Для оброблення трубчастих виробів більшого (від 80 мм) діаметру були розроблені магнетронні пристрої іншого типу [2, 3]. Інтегрований плазмовий пристрій [2] складається із джерела енергетичних газових іонів і розпилюючого магнетрону з конічним катодом. Застосування автономного джерела енергетичних іонів дозволяє проводити інтенсивну іонну обробку поверхні перед нанесенням покриття і наступне низькоенергетичне асистування процесу нанесення наноструктурованого функціонального покриття. Хімічний склад покриття визначається матеріалом катоду магнетрона (хром, молібден і т. ін.) і присутністю реактивного газу в реакційній порожнині установки (аргон, азот, метан). Використання джерела енергетичних іонів дозволяє поліпшити адгезійні властивості покриттів. Отримано хромові покриття товщиною 15 мкм з мікротвердістю до 12–15 ГПа.

Розроблено циліндричний магнетронний розпилювач з магнітною системою незбалансованого типу [3]. Пристрій має конструкцію, яка аналогічна пристрою [2], але виконаний у вигляді моноблоку і його функціонування забезпечує тільки одне джерело живлення розряду.

Охарактеризовані вище плазмові пристрої можуть живитись як від джерела постійного струму, яке мається в складі установок типу «Булат», так і від джерел змінного струму. Для істотного поліпшення якості покриттів, шляхом забезпечення іонізації атомів розпиленого

матеріалу покриття, було застосовано імпульсно-періодичний режим магнетронного розряду. В такому режимі магнетронний пристрій отримує важливу здатність до генерації розпиленого матеріалу покриття в іонізованому стані. Це відкриває додаткові можливості керування енергетичним станом розпиленних іонів матеріалу покриття, що позитивно впливає на функціональні властивості покриття. З метою забезпечення імпульсно-періодичного режиму роботи пристрою було розроблено джерело змінного струму для живлення магнетронного розряду [4]. Частота змінного струму підтримувалась в межах 100–200 Гц. Таке обмеження дозволило розробити бюджетний варіант джерела живлення без використання дорогих високовольтних МОП-транзисторів. В якості комутуючих елементів було використано тиристри типу Т-160-16, що і визначило низьку вартість імпульсного джерела магнетронного розряду.

Вирішувалось також завдання створення можливості нанесення покриттів на внутрішню поверхню глухих отворів діаметром 10–15 мм і глибиною один – два діаметри отвору. З цією метою було розроблено магнетронне джерело гостросфокусованого потоку металевих іонів. Сфокусованість іонного потоку забезпечувалась при імпульсно-періодичному режимі роботи магнетронного розряду, при граничній незбалансованості магнітної системи планарного магнетрона і при застосуванні спеціально спрофільованого катоду магнетрона. Такий магнетрон забезпечував оброблення заглиблень поверхні і оброблення локальних ділянок зовнішньої поверхні. Збільшення площі оброблення робочої поверхні забезпечувалось відносним переміщенням магнетрона і виробу.

Література

1. Пат. 38845 Україна, МПК (2009): С23С14/00. Плазмовий пристрій / О.Д. Гришкевич; заявник та патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – № u200808700; заявл. 01.07.08; опубл. 26.01.09, бюл. № 2/2009.

2. Пат. 89038 Україна, МПК: С23С14/00. Іонно-плазмовий пристрій інтегрованого типу для обробки внутрішніх поверхонь / О.Д. Гришкевич; заявник та патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – № u201312584; заявл. 28.10.13; опубл. 10.04.14, бюл. № 7/2014.

3. Пат. 102744 Україна, МПК: С23С14/00. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система / О.Д. Гришкевич; заявник

та патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – № u201312581; заявл. 28.10.13; опубл. 25.11.15, бюл. № 22/2015.

4. Гришкевич, А. Д. Разработка и исследование макета низкочастотного источника питания сильноточного импульсного магнетронного разряда / А.Д. Гришкевич, С. И. Гринюк // Техническая механика – 2019ю – № 4ю – С. 137–147.

*Девін Л.М., Ричев С.В., Нечипоренко В.М.,
Грязев О.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України,
Скрипник А.А. НТУУ “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЬОВОЇ СИЛИ ТА ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ФОРМУВАННІ ОТВОРУ СВЕРДЛОМ ФОРСТНЕРА

Дослідження різання свердлом Форстнера є досить актуальним, так як це майже незамінний різальний інструмент, який хоч і має аналогії, але все одно залишається специфічним і дуже популярним у меблевій індустрії та інших, пов’язаних з обробкою деревини. Однак, не дивлячись на багаторічний досвід використання даного свердла, інформації стосовно силових закономірностей, режимів свердління та якості отворів немає в достатній кількості, особливо для конструкцій свердла з напаяними пластинами з твердих сплавів.

Аналіз цих параметрів дозволяє охарактеризувати процес різання та визначити залежності сил різання від зносу свердла та дослідити процеси формування дефектів на поверхні ДСП. Суть моніторингу процесів різання полягала у вимірюванні та подальшому аналізі сил різання (Осьової сили P_0), а також дефектів обробленої поверхні.

Осьову силу P_0 визначали на автоматизованому стенді на базі токарного верстата з ЧПУ мод. ТПК 125ВМ [1] (рис 1, а). Експериментальні дослідження виконували при свердлінні ДСП свердлом Форстнера діаметром 60 мм з напаяними пластинами з твердого сплаву ВК6М, та матеріалом хвостовика Сталь 45. Експериментальна серія складалася з чотирьох дослідів для гостро заточеного свердла та свердла, що мав знос ($h = 0,7$ мм). Для заточування свердла був використаний заточний верстат Safag Spinesso 38 (Швейцарія) (рис. 1, б), з частотою обертання 1850 об/хв. Для заточки засто-

совували алмазний круг 11А2 (125×30×10×5×32) зі зв'язкою В1-11, а також змащувано-охолоджуючу рідину FUCHS EcoCool 68f2 (США). Подача на оборот S була фіксована і дорівнювала $S = 0,1$ мм/об. Використовували дискретні значення швидкості різання в діапазоні $v = 85\text{--}226$ м/хв.

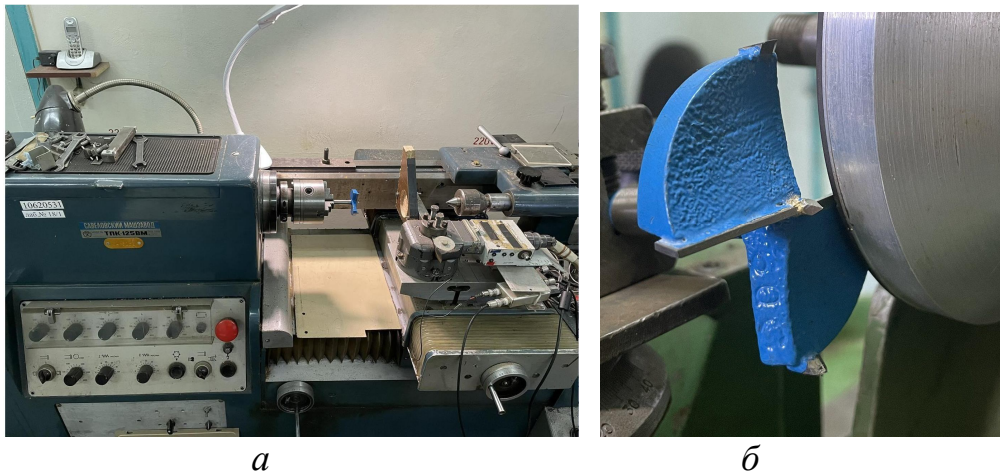


Рис. 1 – Автоматизована система для дослідження процесу свердління (а), процес заточки свердла Форстнера на верстаті Safag Spinesso 38 (б)

Осьову силу вимірювали за допомогою динамометра УДМ - 100. Сигнали від динамометра по двох каналах через підсилювач надходили на АЦП ADA-1406 з частотою опитування 100 кГц. Управління АЦП ADA-1406 здійснювалося програмою Power Graph. Для кожного виконаного дослідження проводили обробку даних, яка включала корекцію даних (виключення похибок вимірювань).

На етапі аналізу отриманих даних процес свердління умовно розділили на 5 основних етапів (рис. 2, а): 1 – центрування, 2 – ділянка врізання бокових та основних кромки свердла, 3 – ділянка стаціонарного процесу свердління, 4 – ділянка зупинки подачі при обертанні свердла та 5 – вихід свердла. Порівняльні результати виміру середньої осьової сили для кожної ділянки при свердлінні гострим та зношеним свердлом представлені на рис. 2, б–д.

Як видно з результатів дослідження, найбільші осьові сили виникають при врізанні основних та бічних кромки свердла на другій ділянці. На цій же ділянці значення сил для зношеного різця майже в два рази перевищують осьову силу для гострозаточеного різця. З цього можна зробити висновок, що для якісно просвердленого отвору з мінімальними дефектами структури важливо контролювати знос кромки свердла. Також видно, що збільшення швидкості різання призводить до зменшення значень осьової сили P_0 на ділянці

стаціонарного процесу свердління та майже не змінюється на етапі врізання для гостро заточеного свердла.

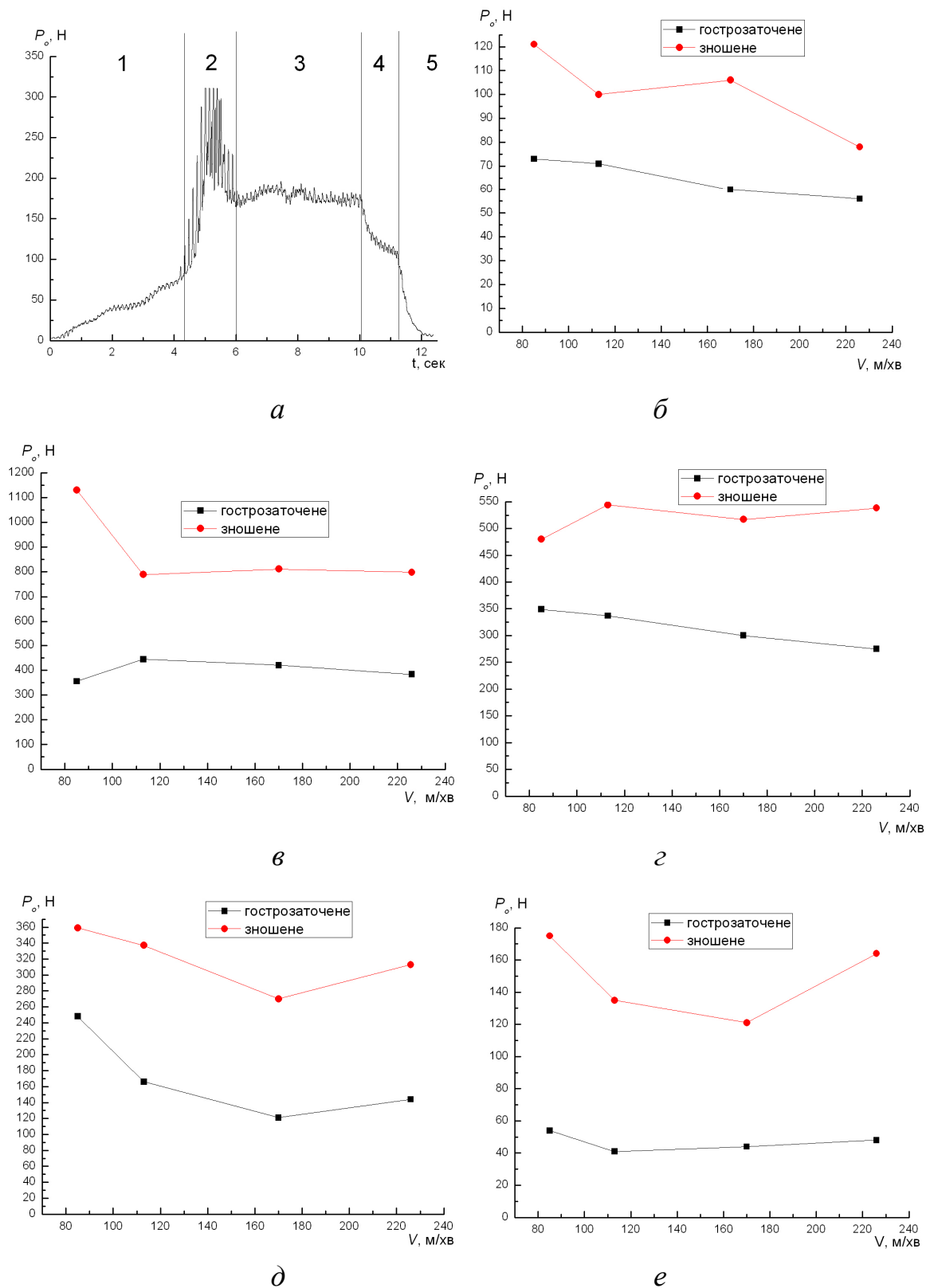


Рис. 2 – Осцилограма процесу свердління та схематичне зображення стадій свердління та їх відповідність ділянкам зареєстрованої осьової сили P_0 (а), а також залежності осьової сили P_0 від зміни швидкості різання при сталій подачі для ділянки 1 (б), 2 (в), 3 (г), 4 (д) та 5 (е)

Враховуючи, що ці дві ділянки найсуттєвіше впливають на формування отвору рекомендовано обробку проводити з великим швидкостями різання.

Література

1. Девин, Л.Н. Прогнозирование работоспособности металло-режущего інструмента / Л.Н. Девин – К. : Наук. думка, 1992. – 131 с.
2. Девин, Л.Н. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / Л.Н. Девин, А.Г. Сулима // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). – 2008. – №3. – С. 24–26.

Дмитриченко М.Ф., Богданов І.М. Національний транспортний університет, Київ, Україна

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

З огляду на сучасні уявлення про дислокаційні механізми утворення та розвитку тріщин під дією деформацій було запропоновано модель фізичної межі втоми. Втомне руйнування – результат багаторазово повторених пружних і пластичних деформацій, що швидко чергуються, розподіляються в силу неоднорідності металу нерівномірно за обсягом деталі. Первинні пошкодження виникають у мікрооб'ємах, переднапружених місцевими дефектами, несприятливо орієнтованих щодо дії навантаження. Поступово накопичуючись і підсумовуючись, локальні ушкодження призводять до загального руйнування деталі.

Основні закономірності розвитку втомних руйнувань в процесі експлуатації можуть бути отримані на основі кривої багато циклової втоми. Основою для аналітичного опису глибини тріщини втоми на шийці колінчастого валу можна вважати структурну неоднорідність металу і процес мікро пластичного деформування і руйнування пластичних елементів металу при змінному навантаженні.

У процесі експлуатації двигуна відбувається збільшення циклів навантаження N з певною амплітудою коливань напруги. В резуль-

таті у металі поступово зростає кількість зруйнованих пластичних елементів.

У міру руйнування пластичних елементів скорочується кількість несучих пружно деформованих елементів. Фактична амплітуда коливань напруги в пружно деформованих елементах зростає, що призводить до перевищення середньої межі текучості та межі міцності.

Показниками втомного руйнування таких деталей, як колінчасті вали, ресори, поворотні кулаки, піввісі, можуть бути: концентрація мікротріщин, їх глибина, довжина і пропорційна їм площа руйнування. Нині існують методи та засоби контролю цих показників.

Для визначення основних факторів, що обмежують ресурс колінчастого валу, встановили інтенсивність аналізованих процесів та граничні значення параметрів технічного стану. У процесі дефектування колінчастих валів з розкриттям критичних тріщин обчислили середнє відношення глибини тріщини h_T до її довжини l_T 1:10. Відношення h_T/l_T залежить від довжини тріщини.

Відмінна особливість втомного руйнування робочих поверхонь колінчастого валу – менша придатність до відновлення. Як правило, колінчасті вали, що мають втомні тріщини, не підлягають відновленню і відбраковуються. Оцінити ступінь втомних ушкоджень колінчастого валу можна за кількістю тріщин на шийках та галтелях.

При роботі колінчастий вал піддається дії радіальних і тангенціальних складових сил, прикладених до його шатунних шийок, відцентрових сил мас обертання, реакцій опор, а також моменту опору руху трансмісії. Періодична дія зазначених навантажень викликає появу пружних коливань колінчастого валу.

Особливо високі навантаження діють на шатунні шийки та щок колінчастого валу. Характер руйнувань робочих поверхонь шийок вказує на переважну дію моментів вигину і менше – крутного моменту. Втомні руйнування починаються в області концентраторів напруги. Для визначення характеру залежності σ_{af} від h_T розглянемо складно напружений стан колінчастого валу в процесі експлуатації. Основні види деформацій – це вигин та кручення. Нормальна напруга від вигину обумовлена зазорами в підшипниках і амплітуда їх пропорційно збільшується. Дотичні напруги від крутного моменту і крутих коливань з'являються з початку експлуатації, і нехтувати ними не слід, так як це істотно позначиться на міцнісній втомі колінчастого вата. Сумісну дію напруг від вигину та

кручення на втомну міцність колінчастого валу розглянемо за третьою теорією міцності:

$$\sigma = \frac{M_{\text{розрах}}^{\text{III}}}{W_B} \leq \sigma_{\text{adm}}, \quad (1)$$

де $M_{\text{розрах}}^{\text{III}}$ – розрахунковий момент за третьою теорією міцності; W_B – момент опору при вигині; σ_{adm} – максимальне допустиме напруження.

Незважаючи на великі значення коефіцієнта запасу за втомною міцністю 2,5–3,5, через значні коливання експлуатаційних навантажень з'являється ймовірність перевищення напруги межі текучості σ_T і міцності σ_b , P_D – ймовірність руйнування.

Для математичного опису процесу втомного руйнування, тобто зміни фактичної амплітуди напружень і глибини тріщини h_T зі зростанням числа циклів навантаження N необхідно розглянути деякі співвідношення та припущення. В якості першого припущення вважатимемо, що інтенсивність руйнування $\alpha_p = dh_T/dN$ зростає прямо пропорційно до фактичної амплітуди діючих напруг.

Це перше припущення можна пояснити законом Гука, за яким у межах пружності деформація прямо пропорційна величині прикладених напруг. Із зростанням циклів навантаження N ймовірність руйнування P_D зростає за складною кумулятивною залежністю. Крім того, реальні тріщини являють складні поверхні, тому залежність від h_T в якості другого припущення, можна прийняти у вигляді:

$$\sigma_{\text{аф}} = \sigma'_a + c h_T, \quad (2)$$

де $\sigma'_a = \sigma_a - \sigma_{-1}$ c – коефіцієнт, що характеризує зміну амплітуди коливань напружень на одиницю глибини руйнування, $c = d\sigma_{\text{аф}}/dh_T$.

Величина σ'_a застосовується як вільний член внаслідок того, що втомні руйнування починають розвиватися тільки при перевищенні амплітуди коливань напруги межі втоми. Інтегрування диференціального рівняння за початкових умов $h_T = 0$ при $N = 0$ дозволяє отримати залежність глибини тріщини h_T від числа циклів N у вигляді:

$$h_T = dh_{\text{то}} \cdot (e^{bN} - 1), \quad (3)$$

де b – коефіцієнт, який з урахуванням параметрів a і c має розмірність, зворотну N , $b = ac$;

– характеризує інтенсивність руйнування на початку експлуатації, обумовлену наявністю концентраторів напруги на поверхні деталі неоднорідністю металу, має розмірність глибини тріщини.

З урахуванням виразів (2) та (3) отримаємо залежність фактичної амплітуди коливань напруги від числа циклів навантаження:

$$\sigma_{a\phi} = \sigma'_a \cdot e^{b \cdot N} . \quad (4)$$

Отже, в процесі експлуатації фактична амплітуда коливань напруги в металі колінчастого валу зростає за експоненціальною залежністю (4). Руйнування його робочих поверхонь відбудеться тоді (при $N = N_K$), коли несучих елементів металу, що залишилися, досягне межі міцності σ_b , тобто з урахуванням залежності (4).

Звідси впливає аналітичний вираз кривої багатоциклової втоми:

$$N_K = \frac{1}{b} \cdot \frac{\ln \sigma_b}{\sigma'_a} . \quad (5)$$

Таким чином, можна вважати, що в умовах експлуатації автомобіля, що склалися, колінчастий вал в одиницю часу і за одиницю пробігу сприймає певну кількість циклів навантаження. Отже, залежності (4) і (5) справедливі і в тому випадку, коли замість N використовують такі вимірники процесу експлуатації, як час τ і пробіг l :

$$\sigma_{a\phi} = \sigma'_a \cdot e^{b \cdot \tau} \text{ та } \sigma_{a\phi} = \sigma'_a \cdot e^{b \cdot l} ; \quad (6)$$

$$\tau_K = \frac{1}{b} \cdot \ln \frac{\sigma_b}{\sigma'_a} \text{ та } l_K = \frac{1}{b} \cdot \ln \frac{\sigma_b}{\sigma'_a} . \quad (7)$$

У виразах (6) та (7) значення параметра b будуть іншими, ніж у залежностях (4) та (5). Всі показники втомного руйнування колінчастого валу прямо пропорційні глибині тріщини і зростають як зі зростанням числа циклів навантаження по експоненціальній залежності (3), так і зі збільшенням τ або l .

Слід зазначити, що залежність (3) отримана під час дослідження періоду експлуатації після припрацювання. На початку припрацювання величина і амплітуда коливань напруги вищі, ніж наприкінці, внаслідок технологічних відхилень. Ця величина може з більшою ймовірністю перевищувати межу текучості, що призводить до початкових руйнувань в області малоциклової втоми. В результаті в кінці періоду припрацювання на поверхнях шийок колінчастого валу утворюється тріщина глибиною $h_{то}$. З урахуванням залежності (3) загальна глибина тріщини становитиме:

$$h_{то} = h_{то} \cdot e^{b \cdot N} . \quad (8)$$

Параметри цієї залежності для прогнозування втомних руйнувань визначаються з використанням експериментальних даних, отриманих за допомогою машини для втомних випробувань ZwickRoell Vibrophore 100.

ОБРОБКА РІЗАННЯМ ДЕТАЛЕЙ ІЗ НАПЛАВЛЕНИМИ ТА НАПИЛЕНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Розвиток сучасного машинобудування невідривно пов'язаний із забезпеченням підвищення надійності та довговічності деталей машин, широким використанням нових прогресивних технологій їхнього виготовлення та ремонту, а також зниженням енерго- і матеріаломісткості виробництва.

Для підвищення працездатності техніки величезне значення має захист деталей і конструкцій від шкідливого впливу умов використання на стадії проєктування, технологічної підготовки та експлуатації методами модифікування поверхонь і нанесення покриттів [1, 2]. У першому випадку властивості поверхневого шару деталі змінюються за рахунок створення особливого структурного стану матеріалу (аморфізація, метастабільні або спеціальні гетерогенні структури та ін.), а в іншому випадку – формування шару композиційного матеріалу на поверхні деталі з відмінними від основного матеріалу структурою, фізико-механічними і хімічними властивостями. До методів такого зміцнення належать наплавлення та напилення.

Напилення і наплавлення, як ефективні методи технологічного управління експлуатаційними властивостями деталей машин, інтенсивно розвиваються і вдосконалюються. Однак, як наслідок особливостей різних методів формування та специфічних фізико-механічних властивостей матеріалів присадки, наприклад, підвищеної твердості, застосування покриттів пов'язане із суттєвим ускладненням технологій їх механічної обробки. Це потребує використання різальних інструментів, здатних на опір інтенсивному, а іноді, динамічному, термобаричному навантаженню у зоні різання та оснащених композитами, які підтримують працездатність інструменту протягом довгого часу [3]. До таких інструментів відносяться різці та фрези з робочою частиною із полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору, які радять для обробки наплавлених і напилених матеріалів твердістю 40–60 HRC [4].

На відміну від монолітних матеріалів покриття, як правило, мають:

- підвищену крихкість;
- різну твердість на поверхні та на глибині;
- неоднорідний хімічний склад за перерізом;
- велику кількість складових мікроструктури (карбіди, бориди, інтерметаліди та інші частинки високої твердості);
- значну пористість.

Специфічні структура і властивості покриттів зумовлюють ряд особливостей їх обробки різанням:

- менша ступень пластичної деформації матеріалу в зоні стружкоутворення;
- менша величина дотичних навантажень в площині зсуву і значне підвищення нормального тиску на задній поверхні інструменту;
- відносно низький коефіцієнт тертя на передній поверхні інструменту;
- утворення суглобистої стружки або стружки сколювання;
- менша величина усадки стружки;
- поява на зовнішньому і внутрішньому границях стружки виривів і пілкоподібності;
- більш висока температура в зоні різання порівняно із матеріалами того ж хімічного складу у іншому стані;
- значне коливання сили різання і контактних навантажень на поверхнях інструменту;
- більш інтенсивне зношування інструменту та, відповідно, його менша стійкість.

Експлуатаційні властивості наплавлених і напилених деталей машин – зносостійкість, корозійна стійкість, герметичність, електро- і теплоопір, відбивальна здатність, міцність пресових з'єднань та інші – обумовлені геометричними параметрами поверхонь, фізико-механічними і хімічними властивостями, зміцненням і напружено-деформованим станом, мікроструктурою поверхневого шару, і, відповідно, вони нерозривно пов'язані з умовами і особливостями механічної обробки. Обробка різанням дозволяє істотно змінити геометричні параметри поверхні, структуру і властивості шару нанесеного покриття. У той же час, разом з режимами різання структурні особливості покриттів є самостійним чинником, що обумовлює продуктивність обробки, стан різального інструменту, можливості забезпечення показників якості обробленого виробу.

Вирішення проблеми механічної обробки наплавлених і напилених матеріалів повинно базуватися на системному підході до усіх

її складових – починаючи з вивчення контактних явищ у зоні різання і завершуючи обранням потрібного за жорсткістю та продуктивністю металорізального обладнання. При цьому, матеріал покриття потрібно розглядати як неоднорідний, із специфічними структурою і властивостями, обумовленими інтенсивним динамічним впливом на різальний інструмент як в мікрооб'ємах на контактних ділянках, так і в об'ємі виробу у цілому. Працездатність інструменту при обробці таких матеріалів залежить від способу формування покриття, характеристик його гетерогенного поверхневого шару, що призводять до несталості процесу різання, появи вібрацій, інтенсифікації зношування інструменту, погіршенню показників якості оброблених виробів.

Великі перспективи у напрямку підвищення ефективності обробки деталей з наплавленими і напиленими покриттями різанням пов'язані із розвитком досліджень, які об'єднують матеріалознавчі роботи з вивчення гетерогенної структури та специфічних властивостей матеріалів покриттів з технологічними й трибологічними дослідженнями особливостей контактної взаємодії інструменту зі стружкою та оброблюваною деталлю з урахуванням впливу довкілля у зоні різання. Результати таких робіт є основою для створення нових матеріалів для оснащення різального інструменту, конструкцій різальних інструментів, перспективних технологій механічної обробки, що забезпечують високу продуктивність і формування в поверхневому шарі деталей стану, відповідного умовам експлуатаційного навантаження.

Література

1. Клименко, С.А. Формирование газотермических покрытий при производстве деталей / С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Ю. Харламов и др. – Мн. : Беларуская навука, 2020. – 416 с.
2. Ляшенко, Б.А. Дискретное модифицирование поверхностного слоя деталей машин и инструментов / Б.А. Ляшенко, Н.В. Новиков, С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2017. – 264 с.
3. Бородавко, В.И. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В.И. Бородавко, В.С. Ивашко, С.А. Клименко, М.Л. Хейфец. – Мн. : Беларуская навука, 2013. – 464 с.
4. Беженар, Н.П. Синтез и спекание сверхтвердых материалов для производства инструментов / Н.П. Беженар, А.А. Бочечка, С.А. Клименко и др. – Мн. : Беларуская навука, 2021. – 338 с.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЧАВУНІВ З УЩІЛЬНЕНИМ ГРАФІТОМ

На теперішній час у машинобудуванні актуальним питанням є використання конструкційних матеріалів з особливими властивостями, таких як вермікулярний чавун (чавун з ущільненим графітом), для виготовлення деталей автомобілів та іншої техніки. Але, їх широке застосування гальмується тим, що є окремі, не повністю визначені питання як до науковців-матеріалознавців, так й для технологів-машинобудівників.

Механічна обробка вермікулярного чавуну є складним технологічним питанням, що стоїть перед виробниками машин, конструкції яких мають деталі з цих матеріалів.

Актуальність питання пов'язана з тим, що чавун з ущільненим графітом має особливу структуру і підвищені механічні властивості порівняльно із сірим чавуном. Це обмежує продуктивність процесу обробки, призводить до інтенсифікації зношування різального інструменту, що суттєво збільшує технологічну собівартість процесу механічної обробки, ускладнює досягнення потрібних показників якості оброблених поверхонь деталей.

Для структури вермікулярного чавуну притаманним є більш міцний зв'язок між металевою матрицею і включеннями графіту, ніж у звичайному сірому чавуні, і, відповідно, тріщини в такому чавуні поширюються менш інтенсивно, ніж у сірому чавуні, і як наслідок, обробка супроводжується більш високими силою і температурою різання.

Крім того, вермікулярний чавун більш пластичний, ніж сірий. Це призводить до збільшення контактної ділянки на різальному інструменті, що також призводить до підвищення температури у зоні різання та збільшення часу для протікання хімічних реакцій між складовими матеріалів різального інструменту і оброблюваного виробу.

Зростання термобаричного навантаження інструменту у зоні різання сприяє інтенсифікації його зношування.

У технічній літературі є багато публікацій відносно обробки різанням вермікулярного графіту [1–5]. Окремі роботи присвячені вивченню процесу різання, наприклад, визначенню особливостей фо-

рмування стружки, інші – вивченню механізмів контактної взаємодії у зоні різання та, відповідно, зношування різального інструменту.

Виконані дослідження показали, що обробка виробів з вермікулярного графіту можлива з використанням різальних інструментів, оснащених твердими сплавами, твердими сплавами з покриттям, композитами на основі кубічного нітриду бору (PcBN). Отримані результати показують, що інструмент, оснащений PcBN працює набагато краще, ніж оснащені твердими сплавами інструменти. У той же час, працездатність інструменту принципово залежить від фазового складу композиту, розміру зерна кубічного нітриду бору, його кількості у складі композиту. Дуже важливим є мінімізація дифузійної та хімічної взаємодії між контактуючими матеріалами у зоні різання, тому у якості складових PcBN рекомендуються TiCN, TiC, TiN. При цьому, основними видами зносу інструменту є абразивний і адгезійний.

Інструменти з керамічними одно- та багат шаровими покриттями також є перспективними для обробки вермікулярного чавуну. Механізм зношування таких інструментів при відносно малій швидкості різання пов'язаний із адгезією, абразивною та дифузійною взаємодією у зоні різання. З підвищенням швидкості різання збільшується вплив на зношування інструменту окислення його матеріалу і механізм зношування пов'язаний з окисленням, дифузійною і, частково, абразивною взаємодією у зоні різання.

Наведені результати досліджень стосуються випадків обробки окремих марок вермікулярного графіту, без системного розгляду гами таких матеріалів. Тому, враховуючи особливості методів отримання, наявність легуючих компонентів, різноманіття структурного стану, наприклад, ступеню сфероїдизації графіту, та їхніх властивостей, можна зробити висновок, що питання механічної обробки вермікулярних графітів остаточно не вирішено як з точки зору обрання матеріалу різального інструменту, призначення умов різання так і розробки підходів до збільшення працездатності різального інструменту.

Література

1. Кропівний, В.М. Чавун з вермикулярним графітом : навч. посібн. / В.М. Кропівний, О.В. Кузик, А.В. Кропівна, Г.М. Засінець. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 222 с.
2. Tuet, Luqiang Wear behaviors of cubic boron nitride tools with various binders in high-speed turning of compacted graphite irons

/, Liangliang Lin, Zhenming Yang et al. // Wear. – 2022. – vol. 504–505. – 204417

3. Lin, Yongchuan Wear mechanism and tool life prediction of high-strength vermicular graphite cast iron tools for high-efficiency cutting /, Shengjian He, Debin Lai et al. // Wear. – 2020. – vol. 454–455. – 203319

4. Tooptong, S. A Preliminary Machinability Study of Flake and Compacted Graphite Irons with Multilayer Coated and Uncoated Carbide Inserts / S. Tooptong, Park Kyung-Hee, Lee Seok-Woo, P. Kwon // Proc. Manufact. – 2016. – vol. 5. – P. 644–657.

5. Kuzu, A.T. Experimental Investigations of Machinability in the Turning of Compacted Graphite Iron using Minimum Quantity Lubrication Machining / A.T. Kuzu, A. Bijanzad, M. Bakkal // Sci. and Technol. – 2015. – vol. 19., № 4. – P. 559-576.

Комарова Г.Л., Федченко І.І., Нестерчук О.М.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ПОКРИТТІВ

Для підвищення міцності, зносостійкості та, відповідно, терміну служби деталей машин і механізмів на даний час у вітчизняній та зарубіжній практиці широко застосовуються поверхневе зміцнення залізовуглецевих сплавів методами хіміко-термічної обробки, що здійснюється у рідких, твердих та газоподібних середовищах.

У вітчизняному машинобудуванні частіше використовується спосіб ХТО залізовуглецевих сплавів у газовому середовищі з метою отримання поверхневих шарів, з якоюсь заданою експлуатаційною властивістю залежно від умови роботи деталей і виду матеріалу, з якого вони виготовлені. Головним недоліком ХТО, в газовому середовищі є трудомісткість забезпечення стабільності складу газової суміші та його регулювання при необхідності одержання в поверхневому шарі не одного якогось, а комплексу заданих властивостей, наприклад: одночасно зносостійкості, прироблюваності та низького значення коефіцієнта тертя. У зв'язку з цим доводиться проводити послідовну обробку різними газами (що продовжує тех-

нологічний цикл обробки) або використовувати складну апаратуру, що регулює склад суміші.

Альтернативним рішенням, що виключає недоліки відомих методів ХТО, пропонується використовувати для підвищення зносостійкості залізовуглецевих сплавів – окислегування.

Окислегування – процес хіміко-термічної, обробки та використовує як насичувальне середовище перегріту пару розведених водних розчинів солей.

В результаті хімічних реакцій та дифузійних процесів, що відбуваються на поверхні металу, утворюється поверхневий шар, склад якого залежить від того, який розчин солі застосовувався.

Дослідження саме такого складу робочої суміші, яка забезпечила б отримання необхідного поверхневого шару, у якого поєднувалися б одночасно підвищення довговічності і надійності виробу є метою даної роботи.

Зносостійкість металів і сплавів перебуває у прямій залежності від контактуючих поверхонь.

Контактуючі поверхні під впливом сил тертя можуть руйнуватися по-різному. Той чи інший вид зносу залежить від властивостей тіл, що труться, а так само і від зовнішніх умов, навантаження і швидкості ковзання. Навантаження, точніше, зближення поверхонь, зумовлює той чи інший вид порушення фрикційних зв'язків. При ковзанні поверхневі шари нагріваються, що призводить до зміни їх властивостей.

У певному інтервалі зближень і температур вид порушення фрикційних зв'язків залишається незмінним, типовим для даних умов. У зв'язку з цим можна відрізнити види зносу. Існує кілька видів зносу:

1. Окисний, пов'язаний з поглинанням кисню поверхневим шаром металу;
2. Тепловий;
3. Абразивний;
4. Осповидний.

Щоб визначити зносостійкість матеріалу, необхідно зробити випробування на знос. Випробування на зношування можна розділити на експлуатаційні та лабораторні.

Вивчення зносостійкості в експлуатаційних умовах дає повну інформацію про властивості застосовуваного матеріалу. До недоліків цих випробувань належить їхня дорожнеча, труднощі вимірювань та необхідність великої кількості вимірювань та спостережень.

Метою випробувань, що копіюють умови експлуатації, є перевірка зносостійкості та надійності матеріалів в умовах, можливо ближчих до нормальної експлуатації. При цьому точно враховується час роботи та завантаження машини, здійснюється правильний технічний догляд, реєструються несправності, поломки, причини заміни деталей та ремонт.

Вимірювання у процесі дослідження (динамометрування, мікрометраж) проводиться за певною методикою. Ці випробування також потребують тривалого часу. Оскільки кількість досліджуваних об'єктів невідомо, з цих випробувань важко зробити загальні висновки.

При лабораторних випробуваннях можна отримати порівняльні виробничі характеристики матеріалів на зношування в умовах, що імітують службу деталей в експлуатації, до яких відносяться: тиск, швидкість, температура, вид і характер тертя, якість мастила та стан поверхонь тертя.

Критерієм якості випробувань є повторюваність результатів за рівні періоди часу. Оскільки зняття зразка для виміру порушує умови тертя початку наступного досвіду, то бажана безперервна запис величини зносу під час всього досвіду. Основною вимогою до лабораторних випробувань є сталість умов тертя протягом усього періоду випробувань. Порушення умов сталості умов тертя відбувається при зміні площі контакту тіл, що труться, величини тиску, температури поверхні терню і зміна ефективності абразивного фактора. Умова тертя в період приробітку та нормальної роботи різко відрізняється, що має враховуватися у методиці випробувань.

Абсолютне зношування ΔM вимірюється питомою при зношуванні масою металу.

Для характеристики зносостійкості тіла необхідно знати величину абсолютного зносу та роботу A , рівну роботі сили тертя.

Зносостійкість B визначається зміною роботи A , витраченої на видалення маси ΔM :

$$B = A/\Delta M.$$

Середня товщина шару h_1 віддалена при зносі визначається:

$$\Delta h_1 = \Delta M/(d \cdot S).$$

Щоб отримати такі властивості, існує метод, який полягає в одностадійній обробці поверхні металу атмосферою нагрітої пари чистої води, а розчину солі. Відомо, що частина солей добре розчи-

няється у воді. У своєму складі ці солі містять хімічно активні елементи, які можуть вступати у взаємодію з металом та його оксидами та змінювати властивості останніх.

При цьому можна керувати отриманням необхідних структур і властивостей оксидних шарів і поверхневих покриттів, різних за складом і захисними властивостями. Так, якщо для насичувального середовища застосувати розчин солей, що містить сірку, молібден, селен, фосфор, то поверхневий шар матиме антифрикційні властивості. Підвищення зносостійкості можна досягти за допомогою розчину, що містить сполуки азоту, бору, кремнію.

Цей шлях поверхневого зміцнення потребує ретельного вивчення, але він технологічно вигідний і представляє науковий та практичний інтерес. Тому важливо вивчити процеси, що протікають при обробці залізовуглецевих сплавів перегрітою парою водного розчину солей.

Література

1. Тимофєєва, Л.А. Модифікація поверхні деталей машин і механізмів в умовах тертя та зношування / Л.А. Тимофєєва, Л.В. Волошина, С.С. Тимофєєв та ін. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – Серія : Технології в машинобудуванні. – № 2 (6). – С. 104–1090.
2. Komarova, G. Influence of ferrimagnetic resonance on conversion of electromagnetic energy by a YIG resonator into mechanical one / G. Komarova // Radiotekhnika. – 2021. – 4(207). – P. 149–158.
3. Тимофєєва, Л.А. Підвищення трибологічних властивостей поверхневого шару чавуну за допомогою оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей / Л.А. Тимофєєва, С.С. Тимофєєв, Л.В. Волошина, М.А. Колесник // Вісник ХНАДУ. – 2021. – вип. 94. – С. 123–127.

Кривошея А.В. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Ткач П.М. Інститут Електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України
Мельник В.Є. Державний науково-дослідний
інститут МВС України
Позняк К.О. НТУ України «КПІ ім. І. Сікорського»,
Київ, Україна

КЕРУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ

У зв'язку з необхідністю перетворення складних рухів у механізмах, в останні роки, намітилася тенденція до створення (синтезу) та організації виробництва складнопрофільних вищих кінематичних пар. До таких складнопрофільних вищих кінематичних пар відносяться зубчасті та черв'ячні передачі з більш складною, з точки зору технології їх виготовлення, формою профілю головної бічної поверхні (синусоїдальний [1], профіль Новікова, опукло-увігнуті профілі Шишова [2], еволютний профіль Павлова [3] та ін.). У той же час зростають вимоги до досягнення високих значень цілого ряду показників таких зубчастих передач. За сучасними вимогами основні показники зубчастих передач залежно від їх застосування представлені на рис.1.

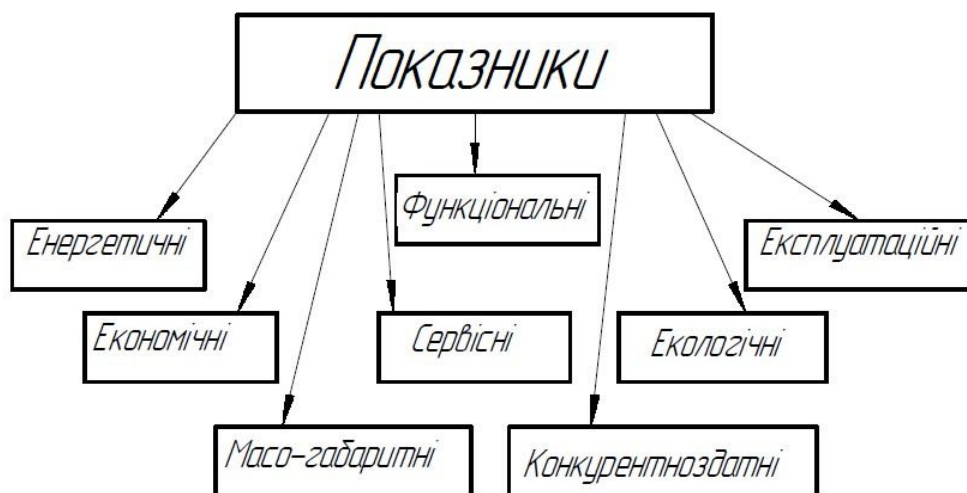


Рис.1 – Приклади показників зубчастих передач

В залежності від функціонального призначення механізму кількість показників може бути розширена. Сучасний підхід до проектування, виробництва і експлуатації високотехнологічної і наукоємної продукції – це CALS/PLM-технології, тобто інформаційна підтримка всіх стадій життєвого циклу продукції. У той же час, ці інформаційні технології наскрізної підтримки стадій життєвого циклу продукції можна використовувати не тільки для підвищення ефективності, продуктивності і рентабельності процесів господарської діяльності підприємства, а й для створення нових механізмів або радикального вдосконалення відомих, із застосуванням наукоємних процесів, розширення області існування етапів життєвого циклу виробів, узагальнюючих матмоделей, інформаційних технологій, сучасних технічних засобів.

В тезах ми представляємо особливості розробки такої технічної системи та інформаційної технології її підтримки на прикладі синтезу циліндричних зубчастих передач, як однієї з масових і найбільш складних вищих кінематичних пар. В ІНМ НАН України в співдружності з ІЕЗ, КПІ та іншими підприємствами розроблений та впроваджений новий процес теоретичного та технологічного формоутворення циліндричних зубчастих передач з використанням модифікації передачі, нового способу її обробки та нової конструкції вітчизняних алмазних черв'ячних хонів, рис. 2, 3, [4].

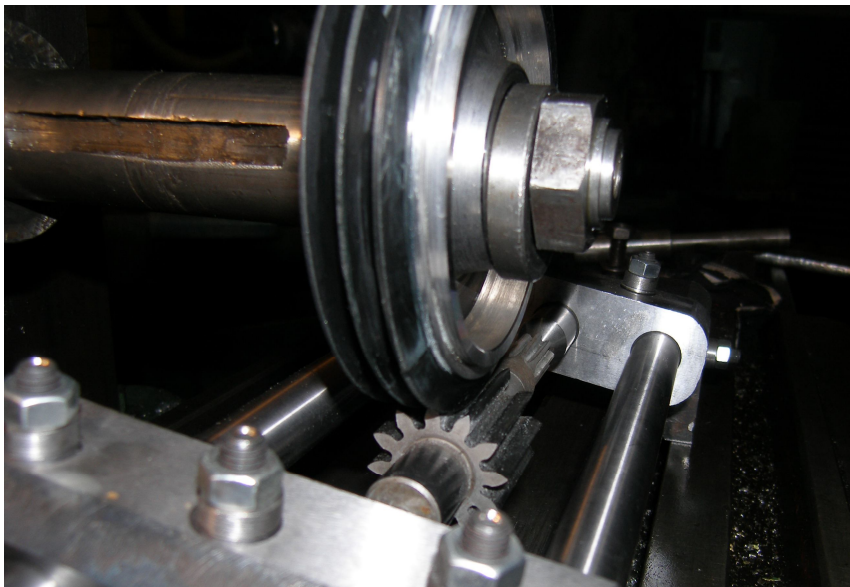


Рис. 2 – Робоча зона обробки зубчастих коліс алмазним черв'ячним хонем

Висновок. В результаті проведеної роботи показана можливість поліпшити геометрію зубчастої передачі та в 2–3 рази параметри її шорсткості.



a



б

Рис. 3 – Профілограми шорсткості поверхні шестерень до (а) та після (б) зубохонінгування

Література

1. Ткач, П.М. Якісні показники працездатності синусоїдальних циліндричних прямозубих передач / П.М. Ткач, П.Л. Носко, П.В. Філь, О.О. Ревякіна // Вісник НТУ «ХПІ» : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – Серія : Проблеми механічного приводу. – № 25 (1247). – С. 135–139.
2. Шишов, В.П. Високонавантажені циліндричні передачі з двоопукло-ввігнутими зубцями / В.П. Шишов, П.Л. Носко, П.М. Ткач, П.В. Філь. – Луганськ : вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2005. – 216 с.
3. Павлов, А.І. Синтез високонавантажених передач на основі лінійчастих зубчастих зачеплень з опукло-увігнутим контактом робочих поверхонь : автореф... докт. техн. наук / А.І. Павлов. – Луганськ, 2009. – 42 с.
4. Кривошея, А.В. Аналіз процесу зубохонінгування зубчастих коліс після зубошевінгування та термообробки / А.В. Кривошея, В.В. Возний, В.Є. Мельник, М.М. Підгаєцький // Сучасна спеціальна техніка. – 2019. – № 3. – С.75–86.

Лавріненко В.І. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Островерх Є.В. Національний технічний
університет «ХПІ», Харків,
Солод В.Ю. Дніпровський державний
технічний університет, Кам'янське,
Проц Л.А. Ужгородський національний
університет, Ужгород, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ РІВЕНЬ ТЕМПЕРАТУР В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ СТАЛІ Р6М5 ПРИ ШЛІФУВАННІ БЕЗ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУГАМИ З КНБ З РІЗНИМИ ЗВ'ЯЗУЮЧИМИ У ЇХ РІЗУЧОМУ ШАРІ

В роботах [1, 2] показано, що розрахунок питомої енергоємності шліфування кругами з надтвердих матеріалів (НТМ) за новим запропонованим показником, що враховує зношування круга з НТМ, дозволяє більш адекватно оцінювати енергоємність процесу обробки. При цьому, розглядалися процеси шліфування з охолодженням та процеси електрошліфування із застосуванням електропровідної технологічної рідини. Між тим, було би цікавим визначити питому енергоємність за умов шліфування без охолодження, коли температура в зоні шліфування є найвищою. В роботі [3] процес абразивної обробки (шліфування) автор трактує як фізичний процес плавлення, що підтверджує і уявлення роботи [1]. Саме тому, з низки інструментальних матеріалів ми зупинилися на більш-менш однорідному матеріалі, а саме – сталі, оскільки тут відомою є питома теплота плавлення сталі, яка складає $\lambda = 84$ кДж/кг.

Для того, щоби більш опукло оцінити вказане вище, на першому етапі нами було визначено спочатку оцінити рівень температур в поверхневому шарі швидкорізальної сталі Р6М5 при шліфуванні кругами з кубічного нітриду бору (КНБ) саме без охолодження, коли цей рівень і буде найбільшим. В наявній літературі такі дані є відсутніми, тому це і було метою даної роботи.

При експериментах температуру шліфування вимірювали за допомогою ізольованої хромель-алюмелевої термопари (діаметр електродів 0,1 мм), яку розташовували в розріз між двома сталевими пластинами в заздалегідь підготовленій канавці. Тарування термопар проводилося за допомогою трубчастої електропечі для мік-

роаналізу моделі СУОЛ-0,25.11 12 МР-ІЗ. Термоерс контрольної термопари вимірювалася потенціометром ПП-63. Відстань спаю термопар від окрайки пластин, що шліфувалася, реєстрували за допомогою інструментального мікроскопу.

Зразки пластин зі сталі Р6М5 розміром 5(2,5–2,5)×30×60 мм шліфували на універсально-заточувальному верстаті мод. 3В642 кругами 12А2-45° 125×5×3×32 з різними характеристиками робочого шару. Режими шліфування: швидкість круга – 25 м/с, подовжня подача – 2,4 м/хв, поперечна подача – 0,05 мм/пдв. Продуктивність шліфування складала 600 мм³/хв. В процесі виконання робіт аналізувався рівень температур в глибині пластин по мірі наближення спаю термопар до зони шліфування (табл. 1).

Таблиця 1 – Рівень температур (°С) на різних відстанях від зони різання при шліфуванні сталі Р6М5 кругами з КНБ

Характеристика робочого шару круга	Відстань від оброблюваної поверхні (мм)						
	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
КР 100/80 ПК-03 100	510	380	305	290	275	250	215
КР 80/63 В2-08 100	525	260	225	210	180	150	120
КР 100/80 К17 100	605	285	245	225	215	200	185
КР 80/63 В1-13 100	610	425	300	270	240	225	–

Як бачимо, найбільший рівень температур в зоні шліфування спостерігається у кругів на металополімерній зв'язці – В1-13, трохи менший у керамічній зв'язки К17, відчутно менший у полімерної зв'язки В2-08 і найменший у полімерно-керамічній зв'язки – ПК-03. Для порівняння нами був виявлений рівень температур безпосередньо на поверхні пластин при перерізанні термопар при застосуванні абразивного круга з електрокорунду білого з характеристикою абразивного шару 25А25СМ1К8. Температура в зоні обробки тут складала – 750 °С. Тобто всі наведені вище круги з КНБ тут не перевищують температуру припалу швидкорізальної сталі Р6М5 (620 °С [4]) на відміну від круга з електрокорунду.

Тепер проаналізуємо рівень спадання температур в масу сталі Р6М5 від зони шліфування для тих же характеристик робочого шару кругів, які наведені у табл. 2 по мірі зменшення рівня. Порівняємо дані табл. 1 та 2. Як бачимо, круг на керамічній зв'язці К17, який був на третьому місці за рівнем температур в зоні різання, за рівнем спадання температур є найкращим. Круг на полімерній

зв'язці В2-08 як за рівнем температур, так і за рівнем їх спадання є стабільно другим. Слід вказати, що найгірша за рівнем температур в зоні шліфування металополімерна зв'язка В1-13 спочатку програє обом вказаним вище зв'язкам за рівнем спадання, але вже на рівні 0,6 мм вглиб сталі навіть випереджає зв'язку В2-08. Звернемо увагу на те, що полімерно-керамічна зв'язка ПК-03, яка є кращою за меншим рівнем температури в зоні шліфування, навпаки за рівнем спадання температури є суттєво найгіршою.

Таблиця 2 – Рівень спадання температур (°C) на різних відстанях від зони різання при шліфуванні сталі Р6М5 кругами з КНБ

Характеристика робочого шару круга	Відстань від оброблюваної поверхні (мм)						
	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
КР 100/80 К17 100	0	– 320	– 360	– 380	– 390	– 405	– 520
КР 80/63 В2-08 100		– 285	– 300	– 315	– 345	– 375	– 405
КР 80/63 В1-13 100		– 185	– 310	– 340	– 370	– 385	–
КР 100/80 ПК-03 100		– 130	– 205	– 220	– 235	– 260	– 295

Як ми бачили з табл. 1 найбільший рівень температур у зоні шліфування спостерігається при застосуванні металополімерної зв'язки В1-13. Додатково було визначено, чи можемо ми знизити цей рівень температур збільшенням відносної концентрації зерен КНБ в робочому шарі та застосуванням металізації зерен КНБ. Встановлено, що при застосуванні металізації зерен КР 80/63 рівень температур в зоні різання не зменшується, а навіть зростає з 610 °C до 635 °C. Але якщо ми при цьому підвищимо концентрацію зерен з 100 до 125 % рівень температур в зоні шліфування зменшується з 635 °C до 585 °C. Тобто, при застосуванні металізації зерен ми підвищуємо рівень температур в зоні шліфування, а при підвищенні відносної концентрації зерен в робочому шарі круга ми досягаємо зменшення температури в зоні шліфування.

Наведене вище дає основу для подальшого аналізу питомої енергоємності процесу шліфування швидкорізальної сталі кругами з КНБ без охолодження і пошуку певного зв'язку між температурою і енергоємністю при шліфуванні.

Література

1. Lavrinenko, V.I. To the analysis of the estimate of energy expenditures in the diamond abrasive treatment by wheels from superhard ma-

terials / V.I. Lavrinenko // J. of Superhard Mat. – 2022. – vol. 44, № 4. – P. 285–291.

2. Lavrinenko, V. Determining the conditions for achieving the plastic regime of diamond grinding of ceramics from the standpoint of estimating energy costs of processing / V. Lavrinenko, V. Solod // J. of Superhard Mat. – 2023. – vol. 45, № 1. – P. 65–71.

3. Кузнецов, А.П. Тепловые процессы в металлорежущих станках / А.П. КУЗНЕЦОВ. – М. : Техносфера, 2019. – 488 с.

4. Лавріненко, В.І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / В.І. Лавріненко, М.В. Новіков; під загальн. ред. М.В. Новікова. – К. : ІНМ НАН України, 2013. – 456 с.

*Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Скрябін В.В.,
Петасюк Г.А. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В.
Дніпровський державний технічний
університет, Кам'янське, Україна*

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ЗАХИСНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗЕРНА ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ

Покриття зерен алмазів є одним з важливих факторів впливу на зміну його властивостей та підвищення утримання у зв'язуючому робочого шару шліфувального круга. В даній роботі нами зупинена увага саме на сучасних розробках в отриманні різних захисних оксидних покриттів на алмазах, які би дозволяли підвищити їх термостійкість.

В роботі [1] алмазні частинки покривалися оксидом алюмінію методом атомно-шарового осадження. Як наслідок, температура, при якій починається розкладення алмаза до CO_2 , змістилося в бік більш високих температур (прирошення ≈ 50 К) внаслідок захисної дії Al_2O_3 . Автори [1] стверджують, що хоча величина покращення є доволі малою, щоби її можливо було застосовувати для високотемпературних застосувань, але ці результати свідчать, що саме таке захисне покриття можливо застосовувати для захисту алмаза від окислення.

Рациональне управління міжфазними електронними станами Al_2O_3 /алмаз розглянуті і в роботі [2]. В цій роботі розрахунки теорії функціональної щільності застосовуються для систематичного з'ясування впливу площин Al_2O_3 та алмазу на електронні властивості меж розділу Al_2O_3 /алмаз. Результати свідчать, що двовірний дірковий газ може бути створений на гетеромежі $\text{Al}_2\text{O}_3(001)/\text{C}(001)$. Так, для найбільш сталого C–Al розділу на межі Al за умов підвищеного вмісту Al, досягається сильне легування р-типу з очевидними характеристиками локалізації з-за переносу заряду, що генерується на межі C–Al (рис. 1). Аналіз свідчить, що 0,047 е/елементарна ячейка переноситься з боку алмаза в бік Al_2O_3 . Крім того, вирівнювання полос гетеромежі $\text{Al}_2\text{O}_3(001)/\text{C}(001)$ вказує на ступінчасту конфігурацію полос типа II, а VBO 3,5 еВ не залежить від деформації для найбільш стабільної межі розділу C–Al [2].

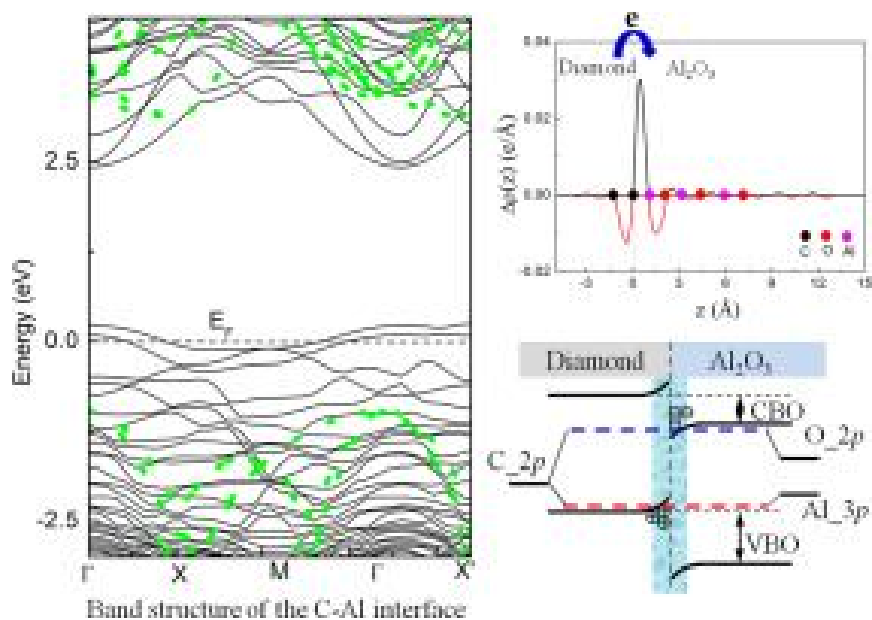


Рис. 1 – Наукові принципи нанесення покриття Al_2O_3 на алмаз [2]

В статті [3] для визначення особливостей реакції алмаза з різними видами металів і оксидів металів енергія активації реакції між алмазом і металами, а також між алмазом і оксидами металів була розрахована з перших принципів. Для перехідних металів четвертого періоду Періодичної таблиці елементів, коли вони реагують з алмазом і утворюють відповідні карбіди металів, порядок збільшення енергії активації для металів складає: Mn, Fe, V, Ti, Cr, Co, Ni, Zn та Cu. А коли алмаз реагує з MnO, FeO, CoO, NiO та CuO з утворенням металів і CO, розрахункова енергія активації в порядку зменшення складає: MnO, FeO, CoO, NiO та CuO. Так, встановлено,

що NiO і CuO відновлюються алмазом до Ni і Cu, що саме і свідчить про те, що між алмазом і оксидами металів відбувається окислювально-відновлювальна реакція [3].

Але, алмазне покриття має низьку ударну в'язкість з-за своєї надтвердості, що може призвести до відшарування або руйнування покриття. В роботі [4] був запропонований новий метод хімічного осадження з парової фази, коли алмазне покриття з частинками CuO було нанесено на підкладку з WC/Co. Для порівняння також було виготовлено чисте алмазне покриття. Морфологія поверхні засвідчила, що алмазне покриття осаджується на підкладці з частинками CuO, але частинки CuO можуть призводити до утворення аморфного вуглецю з високими полосами комбінаційного розсіяння. Випробування засвідчили, що алмазне покриття з частинками CuO має більш високі адгезійну міцність і стійкість до розтріскування, ніж покриття з чистого алмаза [4].

В дослідженні [5] для поліпшення дисперсії і сили зчеплення у полірувальному інструменті поверхня алмазних абразивів була модифікована шляхом нанесення шару SiO₂ методом ізотермічного гідролізу. Результати свідчать, що тонка плівка SiO₂ рівномірно привита до поверхні алмаза. Полірувальні плівки були виготовлені із застосуванням немодифікованого і модифікованого алмаза у якості абразиву на основі технології Sol-Gel для поліровки SiC-підкладок. Випробування свідчать, що алмазні абразиви, модифіковані SiO₂, мають більш високу швидкість зйому матеріалу і кращу якість полірування, ніж немодифіковані алмазні абразиви. Це викликане збільшенням диспергувальної здатності зерен абразиву та покращенням зчеплення між матрицею плівки і абразивами [5].

В статті [6] досліджена поведінка при окисленні чистих алмазних порошків і порошків, що містять 0,2% за масою бора. Алмаз, легований бором, показав значно більшу стійкість до окислення, ніж чистий алмаз. SEM-аналіз поверхні частково окислених алмазів засвідчив, навіть такого низького вмісту бору (0,2%) достатньо для утворення захисного шару B₂O₃ в областях, де відбувалося активне окислення.

Це в певній мірі знайшло підтвердження і в статті [7], де були досліджені захисні покриття з карбіду титана-бора на алмазних частинках. Результати засвідчили, що вміст бора є важливим для адгезії Ti у покритті Ti-B-C. Таке покриття з вмістом бора 60 ат. % захищало алмаз від окислення більше 1 години при нагріві до 1000 °C у повітрі. При відпалі алмаза з покриттям в повітрі апріорно утворені B₂O₃ та

TiO₂ захищали алмаз від окислення, виступаючи у якості кисневонепроникних шарів. Крім того, утворенням рідкого V₂O₃ вдалося уникнути розшарування TiO₂, викликаного об'ємним розширенням під час окислення. Тим часом, наявність TiO₂ забезпечує тривалий захист за рахунок зменшення випаровування V₂O₃ [7].

В статті [8] V₂O₅ був доданий у керамічну зв'язку у якості поверхнево-активної речовини для поліпшення сили, що утримує алмазний абразив у зв'язці, і для покращення абразивних і теплових властивостей шліфувального круга. Результати засвідчили, що теплостійкість керамічної зв'язки з 4 % за масою V₂O₅ досягала 555 °С, тоді як теплостійкість керамічної зв'язки без V₂O₅ на 17 °С нижче. Під час спікання іони ванадію з зв'язки надходять на поверхню алмаза і поєднуються з вільним атомом карбону, який існує на поверхні алмаза, з утворенням зв'язку V–C, що поліпшує змочуваність між зв'язкою і алмазом.

Література

1. Dominguez, D. Enhancing the oxidation resistance of diamond powder by the application of Al₂O₃ conformal coat by atomic layer deposition / D. Dominguez, H. Tiznado, H.A. Borbon-Núñez et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2016. – vol. 69. – P. 108–113.
2. Wu, Kongping. Two-dimensional hole gas formed at diamond surface by Al₂O₃/diamond interface engineering / Kongping Wu, Yong Zhang, Jianli Ma et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2020. – vol 105. – 107807.
3. Deng, Ao. Exploring the activation energy of diamond reacting with metals and metal oxides by first-principle calculation / Ao Deng, Jing Lu, Dongxu Li, Yanhui Wang // *Diamond and Related Mat.* – 2021. – vol. 118. – 108522.
4. Chen, Naichao. Growth and characterization of chemical vapor deposition diamond coating incorporated amorphous carbon with high Raman bands induced by CuO particles / Naichao Chen, Fasong Ju, Fan Zhou et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2021. – vol. 116. – 108387.
5. Lu, Jing. The effects of SiO₂ coating on diamond abrasives in sol-gel tool for SiC substrate polishing / Jing Lu, Yongchao Xu, Yunhe Zhang, Xipeng Xu // *Diamond and Related Mat.* – 2017. – vol. 76. – P. 123–131.
6. Herrmann M., Matthey B., Gestrich T. Boron-doped diamond with improved oxidation resistance / M. Herrmann, B. Matthey, T. Gestrich // *Diamond and Related Mat.* – 2019. – vol. 92. – P. 47–52.

7. Sun, Youhong/ Enhancement of oxidation resistance via titanium boron carbide coatings on diamond particles / Youhong Sun, Chi Zhang, Jinhao Wu et al.// Diamond and Related Mat. – 2019.– vol. 92. – P. 74–80.

8. Chen, Shuai-peng. Effect of V_2O_5 addition on the wettability of vitrified bond to diamond abrasive and grinding performance of diamond wheels / Shuai-peng Chen, Xiao-pan Liu, Long Wan et al.// Diamond and Related Mat. – 2019. – vol. 102. – 107672.

Логінова Ю.В. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ШЛЯХОМ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ АБО ПОСЛУГ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ КОНСТРУКЦІЙ

Для отримання якісної продукції в зварювальному виробництві конструкцій необхідно знати реальну точність наявного обладнання, визначати відповідність точності обраного технологічного процесу заданій точності виробу, оцінювати стабільність технологічного процесу. Вирішення завдань зазначеного типу проводиться в основному шляхом математичної обробки емпіричних даних, отриманих багаторазовими вимірами або дійсних розмірів виробів, або похибок обробки або похибки вимірювання.

Більшість із розглянутих інструментів контролю якості використовуються для аналізу чисельних даних, що відповідає вимогам TQM: спиратися при прийнятті рішень на операційний аналіз, теорію оптимізації та статистики. Тому Союз Японських Вчених та Інженерів з урахуванням цих наук розробив набір інструментів, які дозволяють полегшити завдання управління якістю під час аналізу різноманітних чинників. Ці інструменти отримали назву семи інструментів управління якістю та семи нових інструментів контролю якості. Найчастіше вони знаходять застосування при вирішенні проблем, які виникають на етапі проектування, на відміну від інших інструментів, які знаходять найчастіше застосування на етапі виробництва.

Статистичні методи відіграють важливу роль в об'єктивній оцінці кількісних та якісних характеристик процесу та є одним з найважливіших елементів системи забезпечення якості продукції та

всього процесу управління якістю в зварювальному виробництві конструкцій. Невипадково основоположник сучасної теорії менеджменту якості Е. Демінг багато років працював у Бюро з перепису населення та займався саме питаннями статистичної обробки даних. Він надавав великого значення статистичним методам.

Існують дві категорії похибок: систематичні та випадкові. В результаті безпосередніх спостережень, вимірювань або реєстрації фактів виходить безліч даних, які утворюють статистичну сукупність і потребують обробки, що включає систематизацію та класифікацію, розрахунок параметрів, що характеризують цю сукупність, складання таблиць, графіків, які ілюструють процес.

На практиці використовують обмежену кількість числових показників, званих параметрами розподілу.

Методи забезпечення високої якості технічного обслуговування (ТО) у кожній організації з технічного обслуговування (ОТО), застосовуються свої, але незалежно від статусу, відомчої підпорядкованості і форми власності підприємства в кожному з них створюється система управління і забезпечення якості ТО (скорочено «Система управління якістю» - СУЯ ТО). Вона являє собою сукупність організаційної та виробничої структури організації з ТО, де розподілені повноваження та відповідальність щодо забезпечення потрібного рівня якості ТО, а також процесів і ресурсів. Необхідних для здійснення політики організації в галузі якості технічного обслуговування авіаційної техніки (ТО АТ).

Перелік і послідовність виконання робіт щодо створення, впровадження та функціонування СУЯ організації з ТО АТ є аналогічними тим, які застосовуються в авіакомпаніях та аеропортах.

Організації з технічного обслуговування необхідно визначити бізнес-процеси та розробити їх організаційно-технологічні схеми (блок-схеми, карти). Розробка організаційно-технологічних схем супроводжується аналізом існуючої системи управління та внесенням, у разі необхідності, змін у виробничий процес і в організаційну структуру відповідно до вимог ISO 9001:2015.

СУЯ ОТО охоплює всі стадії виробничого процесу ТО: матеріально-технічне забезпечення, розробку виробничих процесів; виконання всіх технологічних операцій; контроль стану АТ і якості її ТО; метрологічне забезпечення; забезпечення та аналіз надійності АТ; здавання АТ в ремонт і приймання її від ремонтних підприємств; освоєння нової техніки; розміщення, зберігання, транспортування й охорону АТ.

Загальне керівництво СУЯ ТО здійснює начальник ОТО, який: визначає політику в галузі якості ТО АТ і забезпечує її погодженість з іншими напрямками діяльності авіапідприємства; розподіляє фінансові, матеріальні та інші ресурси підприємства; визначає відповідальність і повноваження підрозділів організації і службових осіб в галузі якості АТ; особисто бере участь у періодичних перевірках якості ТО у всіх підрозділах організації.

Заступником начальника з якості є начальник ВТК. У деяких ОТО може бути організовано службу управління якістю, до складу якої входять і ВТК. У цьому випадку заступником начальника з якості є директор управління якістю.

Заступник начальника з якості забезпечує: загальне керівництво з якості ТО; збір, узагальнювання і аналіз інформації про якість ТО АТ; розробку заходів з підвищення якості; розробку коригувальних впливів при появі відхилень від заданих норм і контроль за їх виконанням; підготовку СУЯ ТО до сертифікації організації з ТО.

При цьому він організує і контролює доведення політики організації в галузі якості ТО до кожного робітника; розробку, впровадження і контроль за функціонуванням СУЯ ТО, що забезпечує реалізацію політики з якості; перевірку, аналіз ефективності СУЯ й її удосконалення; діяльність підрозділів організації в галузі якості ТО АТ; рекламацийно-претензійну роботу і здійснення взаємозв'язку з постачальниками з питань стабільного забезпечення якісним обладнанням і авіаційно-технічним майном; роботу з аналізу витрат та економіки якості ТО АТ.

*Мановіцький О.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан.,
Копейкіна М.Ю. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ПЛОЩІ КОНТАКТНОЇ ДІЛЯНКИ ПО ЗАДНІЙ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ

У період врізання гострої кромки інструменту в оброблюваний матеріал має місце зростання радіусу заокруглення різальної кромки, збільшення контактної робочої ділянки різця, що створює передумови для переходу до періоду його усталеного зносу. При цьому, слід відзначити наявність на зношених поверхнях інструменту ха-

ракетних борозен, канавок і виступів, розташованих у напрямку сукупного вектора швидкостей різання і подачі.

На рис. 1, а наведено зображення зношеної задньої поверхні інструменту з круглою різальною пластиною з РсВН киборит після обробки загартованої сталі ШХ15. Наведено 3D зображення зношеної ділянки до номінальної середньої лінії (випрямлення шляхом розгортки довжини окружності пластини) (рис. 1, б). Топограма і профілограми, отримані в результаті цифрової обробки зображень (рис. 2), дозволяють визначити реальну сукупність виступів і западин на ділянці зношеної поверхні інструменту.

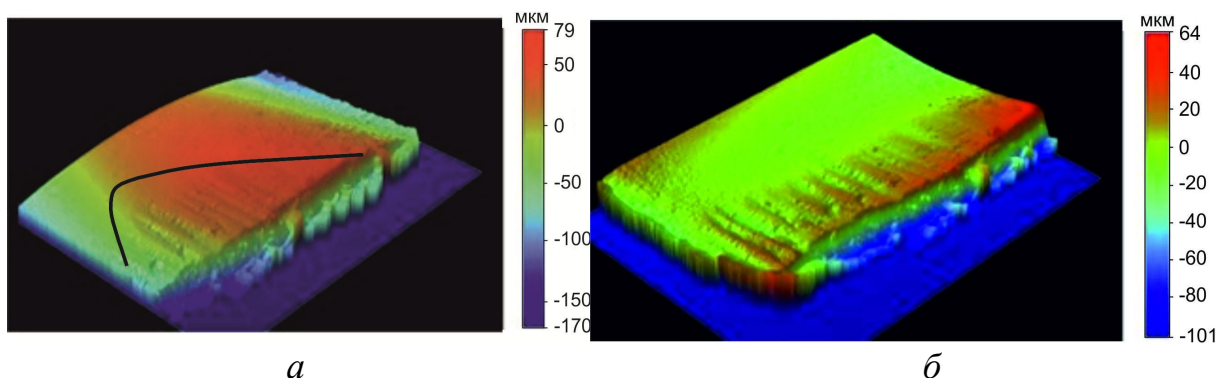


Рис. 1 – 3D зображення зношеної поверхні різця з РсВН після обробки загартованої сталі (а), наведене до спрямленої різальної кромки 3D зображення зношеної ділянки задньої поверхні різця (б)

Дані рис. 2 показують, що фактична площа контакту різця з обробленою деталлю набагато більше номінальної. Цю обставину слід брати до уваги при розрахунку складових сили різання і визначенні контактних навантажень на задній поверхні інструменту.

Аналіз отриманого профілю зношеної поверхні дозволяє встановити приблизний середній крок западин на ділянці зносу і кут нахилу профілю западини, що дозволяє встановити співвідношення сумарної довжини твірної похилої стінки западини до виміряного середнього кроку западин на зношеній поверхні.

Для спрощення припустимо, що западини зношеного рельєфу мають трикутний перетин в основній площині різання, а контур зношеної задньої поверхні також є криволінійним трикутником з основою, рівною сумарній довжині головної і допоміжної різальних кромek ($l+l_1$) і висотою, що дорівнює величині зносу по задній поверхні інструменту h_3 . Аналіз показує, що середній кут нахилу стінки западини становить $24,6^\circ$, а середній крок западин на зношеній поверхні ~ 100 мкм.

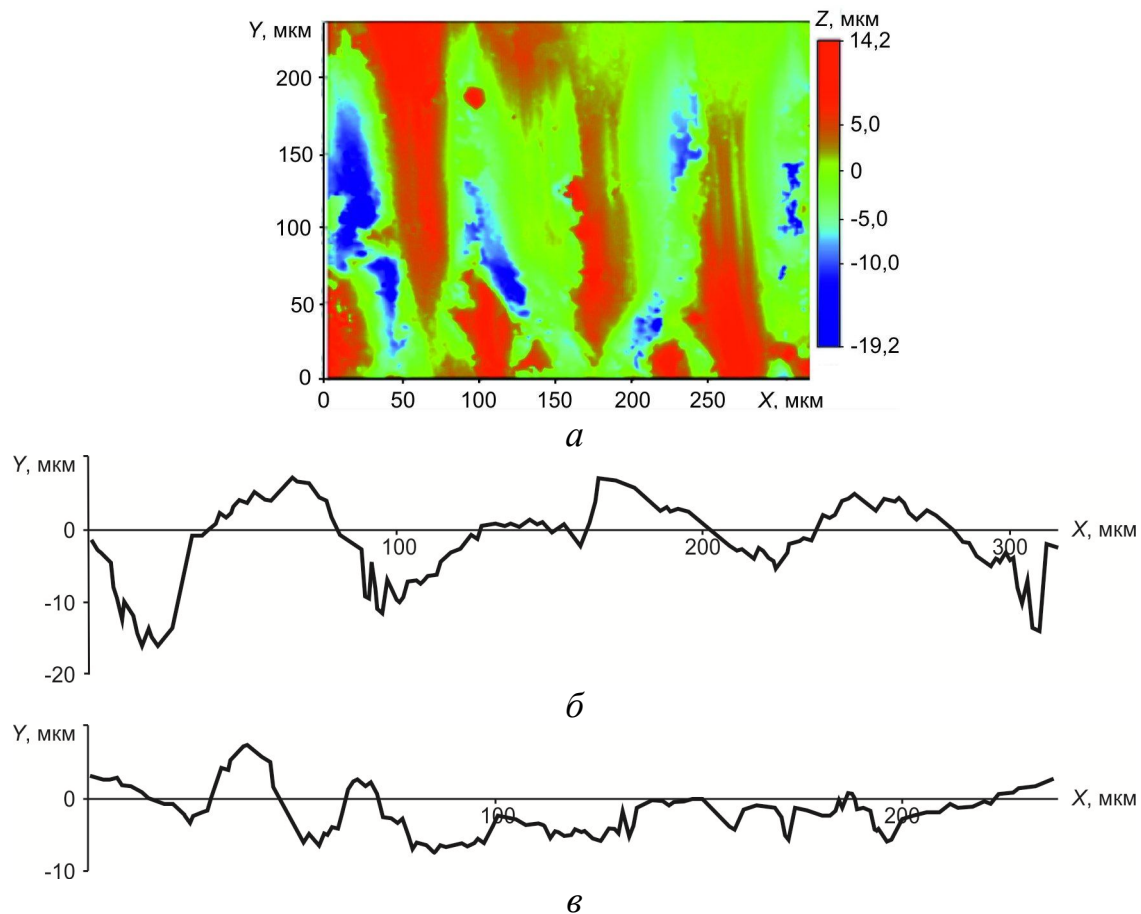


Рис. 2 – Топограма (а) та профілограми зношеної ділянки різця (б, в)

У загальному вигляді інтегральне рівняння для фактичної площі контакту по задній поверхні інструменту має вигляд:

$$A_{\Phi LxLy} = \int_{Lx_0}^{Lx_i} \int_{Ly_0}^{Ly_i} 0,5 dLx dLy$$

Оскільки в першому наближенні контур зношеної ділянки інструменту був представлений трикутником, то його площу можна уявити, як твір напівсуми довжин різальних кромek на величину h_3 . Це і буде номінальною площею контакту задньої поверхні різця з обробленою поверхнею деталі.

В результаті проведених вимірювань і розрахунків встановлено, що наявність борозенок на зношеній задній поверхні інструменту, оснащеного круглою різальною пластиною з РсВN кіборит, при точінні загартованої сталі ШХ-15 призводить до збільшення фактичної площі контактної ділянки з оброблюваним виробом орієнтовно в 1,6 рази порівняно до її номінальної площі.

Отримані кількісні результати відображають винятково результати, які відносяться до досліджуваного випадку обробки, проте наведений підхід до оцінювання фактичної площі зношеної ділянки

може бути застосований відносно будь-якої іншої пари «інструмент-оброблюваний матеріал».

*Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан.,
Мельнійчук Ю.О., Чумак А.О. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Столбовий В.О. ННЦ «Харківський фізико-технічний
інститут», Харків, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ІЗ CBN З ПОКРИТТЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМ ВОРОНОГО

Фізико-механічні та експлуатаційні властивості інструментальних матеріалів визначаються їх хімічним складом та структурою. При цьому керування структурою матеріалів з метою надання композиту оптимального комплексу характеристик є складним завданням. Наприклад, підбір прекурсорів потрібного хімічного складу та зернистості, їх змішування механічними методами далеко не завжди дозволяють отримувати потрібний розподіл між матричними складовими та наповнювачами, які виконують роль зв'язки. При цьому, товщини прошарків, що утворюються при формуванні композиту, повинні бути меншими за розміром ніж вихідні зерна матричної компоненти.

Одним з підходів, що дозволяє досягти рівномірного розподілу складових компонентів в структурі матеріалів, а також регулювати товщину межзеренних прошарків є попереднє нанесення на порошки покриттів, товщина яких може варіюватися в широкому діапазоні – від десятків нанометрів до 1–2 мікрометрів. При формуванні композиту покриття на міжзеренних границях частинок основної компоненти відіграє роль зв'язки. Для утворення металічних або керамічних покриттів доцільно використовувати методи PVD, які дозволяють регулювати товщину покриттів та керувати відносною площею напилених поверхонь зерен. В залежності від умов перемішування, покриття можуть утворюватися по всій поверхні зерен або тільки на окремих гранях та ділянках граней.

Така особливість технологічного процесу нанесення покриттів може бути використана з метою керування експлуатаційними хара-

ктеристиками композитів інструментального призначення. При цьому треба мати на увазі закономірності контактної взаємодії на робочих ділянках інструмента при обробці різанням. Наприклад, для визначення інтенсивності зношування керамічних інструментів запропонована залежність $W = W_m + W_h = 1/(K^{0,75} + H^{0,5}) + C_e$, де W , W_m , W_h – знос інструменту, знос внаслідок механічної та хімічної взаємодії відповідно. Звичайно, неможливо забезпечити матеріалу інструменту найбільш бажаний набір властивостей, тому що деякі показники змінюються протилежно. Керування інтенсивністю впливу вказаних факторів здійснюється шляхом комбінування складу композитів із введенням до їх структури крім основної фази деякої кількості додаткової складової. Наприклад, для інструменту з композиту на основі cBN ці складові обумовлюють здатність протистояти абразивно-механічному зношуванню, ударним навантаженням, термотрибоактивованій хімічній взаємодії з оброблюваним матеріалом та киснем повітря. Тому створення у композиті структури з міцними міжзеренними зв'язками, що характерні для cBN, та певною кількістю тонких прошарків керамічної матриці (покриття), що розподілене на частині поверхонь зерен, буде сприяти підвищенню працездатності інструменту.

З метою оцінки характеру розподілу в структурі композитного матеріалу зв'язки, утвореної покриттям на окремих зернах cBN, проведено відповідне моделювання. Для імітації геометричних параметрів полікристалічної структури використано 2-D діаграми Вороного, кожна комірка яких відповідає окремому зерну cBN. Розмір діаграм $0,4 \times 0,4$ мм. Необхідний розмір зерен cBN завдавався кількістю точок (центрів генерації комірок) – так розміру комірок із середньою довжиною сторони $4,5$ мкм відповідає 3600 точок діаграми. Наявність умовного покриття задавалось випадковим вибором однієї чи декількох ребер на окремих комірках діаграми, які умовно виділялись потовщеними лініями. Очевидно, що в залежності від кількості вибраних ребер, певна частина “міжзеренних” границь буде характеризуватися наявністю покриття, або його відсутністю на границях між комірками. При цьому частина контактів здійснюється через два шари покриття – на кожному з ребер що контактують, і, таким чином, залежність відносної площі покриття в структурі композиту від відносної площі покриття на зернах не буде лінійною.

Для визначеної системи розглянемо два параметри: L_g – відношенням сумарної довжини покритих ділянок всіх комірок до довжини сумарного периметру всіх комірок (зерен), L_b – відношення сумарної довжини всіх границь на діаграмі, на яких присутнє покриття, до сумарної довжини всіх границь діаграми.

Приклади фрагментів діаграм Вороного для модельованих структур полікристалічних композитів, отриманих із порошків з покриттям на одному та трьох випадково вибраних ребрах кожної з комірок, що відповідають $L_g = 17\%$ та $L_b = 51\%$, наведено на рис. 1. Залежність параметру L_b від L_g – на рис. 2.

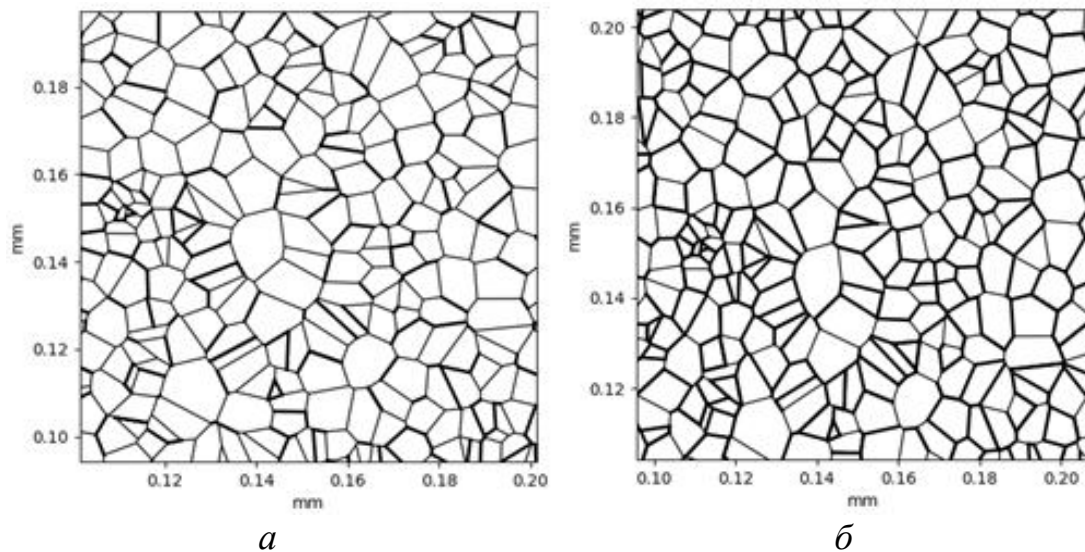


Рис. 1 – Фрагменти діаграм Вороного для структур з покриттям на одному (а) та трьох (б) ребрах кожної з комірок

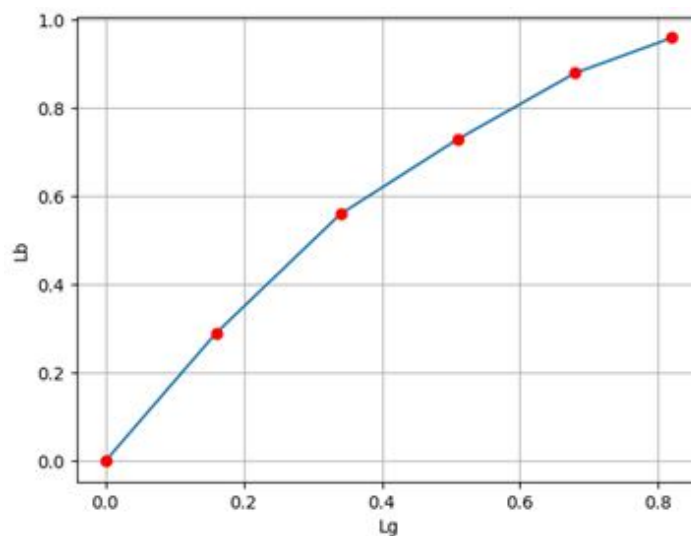


Рис. 2 – Графік залежності параметру L_b від L_g

Отримані результати показують, що третина всіх границь в структурі полікристалічного композиту характеризується наявніс-

тю покриття за умови його присутності всього на 17% периметру проекції зерна на площину. Для умови наявності покриття на 50% границь ця величина становить 30%.

Таким чином запропонований підхід дозволяє оцінити кількісні характеристики розподілу покриття в структурі полікристалічного композиту в залежності від його кількості на вихідних порошках.

Манохін А.С., Клименко С.Ан., Мельничук Ю.О.

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

Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun. Center for Precision
Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ PCBN-ІНСТРУМЕНТОМ

Деталі, які мають шпонкові пази, лиски та інші подібні елементи, широко використовуються у машинах та обладнанні. У випадку, коли деталі виготовлені з матеріалів високої твердості, наприклад, загартованих сталей, наявність таких конструктивних елементів суттєво ускладнює забезпечення ефективності їх механічної обробки, особливо лезової. Динамічне навантаження інструменту у зоні різання призводить до його руйнування, інтенсифікує зношування, що обумовлює швидкий вихід з робочого стану. Тому розробка інструменту, що може надійно працювати в умовах різання з ударом, є ключовим фактором для забезпечення ефективності виготовлення багатьох деталей сучасної техніки.

Широкі перспективи для вирішення вказаної проблеми надає моделювання контактної взаємодії у зоні різання. В цій роботі з використанням скінченно-елементної моделі проведено дослідження процесу переривчастого різання загартованої сталі (60–62 HRC) інструментами, оснащеними ВН, BL PCBN.

Швидкість різання при обробці (подача $S = 0,1$ мм/об, глибина різання $t = 0,2$ мм): – $v = 113$ м/хв для інструменту ВН PCBN, $v = 210$ м/хв – з BL PCBN. Для реалізації переривчастого різання на заготовці виконано шість поздовжніх канавок шириною 10 мм.

На рис. 1 наведені графіки зміни складових сили різання з часом, а також профілі стружки, отримані в результаті експерименту переривчастого різання. На рис. 2 показано результати моделювання утворення стружки, які узгоджуються з уявленнями щодо процесу з позицій розвитку адіабатичного зсуву. Формування суглобистої стружки в загальному випадку включає декілька етапів:

- в зоні зсуву поблизу різальної кромки інструменту утворюються дрібні тріщини;
- деформований фрагмент припуску відокремлюється від оброблюваної поверхні і починає формуватися фрагмент стружки;
- повільно формуються нові елементи суглобистої стружки;
- стружка повністю сформована.

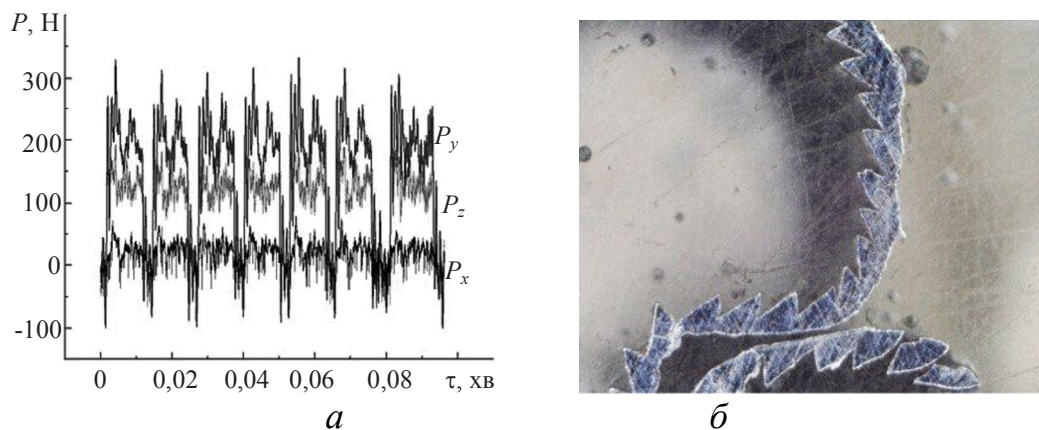


Рис. 1 – Експериментальні залежності складових сили різання від часу переривчастого різання інструментом із BL PcBN (а), отримана стружка (б)

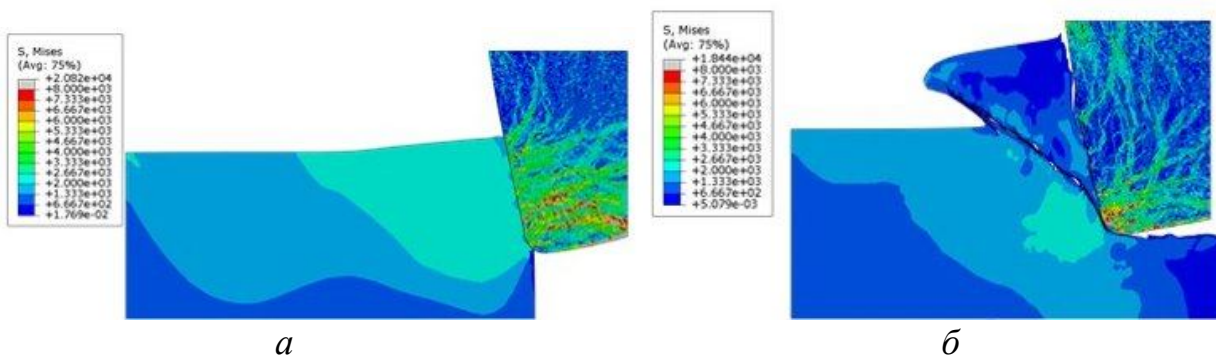


Рис. 2 – Результати моделювання процесу формування суглобистої стружки (шлях різання: а – 0,011 мм; б – 0,047 мм)

Аналіз отриманих результатів показує, що наявність пікових значень та коливання сили різання на кожному циклі різання з ударним навантаженням узгоджуються з утворенням елементів суглобистої стружки.

Вивчення напруженого стану контактної ділянки інструменту дозволяє зробити висновок, що має місце поширення напружень через межу поділу між зернами cBN, а для різальної кромці та передній поверхні інструменту характерна значна концентрація напружень. На основі результатів моделювання можливо зробити висновок, що окремі зерна cBN виступають концентраторами напружень навіть в умовах дрібнозернистої рівномірної структури композиту. Можна припустити, що в реальних композитах зі зв'язкою та чітко вираженою міжфазною структурою це може вплинути на появу зон концентрації напружень в ще більш значній мірі.

Хоча всі компоненти сили різання для обох інструментів мають періодичний характер через переривчастий характер різання, є деякі відмінності:

- тангенційна сила різання P_z для інструменту з BL PcBN значно менша, у порівнянні з випадком обробки інструментом з BH PcBN;
- радіальна сила P_y для інструменту з BH PcBN вище, ніж для інструменту з BL PcBN;
- осьове зусилля і радіальне зусилля для інструменту з BL PcBN практично однакові.

Порівняльна оцінка працездатності інструментів з BH, BL PcBN при різанні з $v = 210$ м/хв в умовах імпульсних навантажень показує, що інструменти досягають стабільної стадії зносу після 2 хв різання та інтенсивність зношування інструментів близька – хоча BL PcBN суттєво поступаються BH PcBN за міцністю, зменшення сили різання сприяє створенню умови, в яких руйнування інструменту з BL PcBN не спостерігається.

Здатність композиту BL PcBN протидіяти високотемпературному впливу обумовлює ефективність його використання у інструменті при наявності динамічного навантаження, що обумовлює перспективність подальшої оптимізації композитів такого типу, у тому числі, із застосуванням моделювання з врахуванням впливу структурної будови матеріалу композиту на величину і розподіл напружень в ньому при навантаженні в інструменті.

Таким чином, моделювання методом скінченних елементів переривчастого різання загартованої сталі інструментами з PcBN демонструє, що утворення суглобистої стружки є однією з причин коливання сили різання, а контактна взаємодія в зоні різання пов'язана з концентрацією напружень на зернах cBN. BL PcBN має рівномірний розподіл керамічної матриці, що створює структуру,

яка обумовлює можливість ефективного використання композиту в різальному інструменті в умовах обробки загартованої сталі з ударом при високій швидкості різання.

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

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОРШНІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Технологія електроіскрового легування (ЕІЛ) належить до екологічно чистих процесів, відзначається низькою енергоємністю, простотою, малими габаритами обладнання, можливістю автоматизації у поєднанні з високою ефективністю зміцнення поверхні [1, 2]. У той же час ЕІЛ алюмінієвих сплавів супроводжується інтенсивною ерозією катода (деталі) зі втратою маси внаслідок низької температури плавлення алюмінію. Досвід ЕІЛ порошками показав, що перерозподіл енергії іскрового розряду за рахунок часткової втрати енергії у міжелектродному проміжку забезпечує приріст маси електроду. Позитивних результатів досягнуто також при зміцненні композиційними електродами, які було отримано методами порошкової металургії [2]. Проте ці методи обмежені через великі втрати порошку та необхідність виробництва спеціальних композиційних електродів. Про певні позитивні результати щодо збільшення маси катоду алюмінієвого сплаву при ЕІЛ компактними мідними дротяними електродами у вузькому інтервалі технологічних параметрів сказано у роботі [3].

Виходячи з цього авторами здійснювалось порівняльне дослідження параметрів зносостійкості дискретних покриттів щодо поверхневого зміцнення поличок кільцевої канавки алюмінієвого поршня двигунів внутрішнього згоряння. Це тому, що саме спряження "кільце – канавка поршня" частіш за все визначає ресурс двигуна [2, 3]. Метод ЕІЛ стержневим електродом є найбільш придатним для зміцнення канавки, оскільки остання має особливі параметри: висота 2–3 мм при глибині понад 5 мм. Дискретна структура покриття забезпечує високі адгезійну і когезійну стійкості останнього, особливо при високих контактних навантаженнях. Цим також забезпечується відсутність розтріскування покриття.

Ливарний алюмінієвий сплав АЛ 25 (приблизні аналоги за UNS: A03600; A03800; A04130 [4]) повинен мати максимальну довговічність поверхневого шару при дискретності останнього $\psi = 55\text{--}75\%$ і відношенні довжини зміцненої зони до глибини 1–2. Необхідні параметри властивостей поверхневого шару забезпечуються легуванням мідним електродом при величині струму 35–40 А.

Умови дослідження на установці ЕФІ-25М Інституту проблем міцності [2] були близькими до експлуатаційних і складали: амплітуда зміщення зразків 30–50 мкм; частота коливань 30 Гц; температура у зоні контакту 180–230 °С. Зразки із алюмінієвого сплаву були виготовлені з дискретністю 60–65%.

Ці зразки у парі з чавуном, тобто матеріалом поршневих кілець показали незначну зміну вагового зносу в діапазоні питомих навантажень 7,5–15,0 МПа. Це свідчить про високу зносостійкість матеріалу поршня, який було зміцнено відповідно до нової технології. Перенесення алюмінію на чавунні зразки не виявлено, що підтверджує високі антиадгезійні властивості зміцнених дискретних поверхонь. Збільшення амплітуди коливань вище 35 мкм призводило до несуттєвого приросту зносу зміцненої поверхні зразка. У той же час при амплітудах відносного зміцнення, вищих 50 мкм, спостерігається знос чавуну. Висока зносостійкість поверхні зразків, які зміцнено покриттями дискретної структури, характерно також для діапазону експлуатаційних температур в умовах тертя ковзання. Також не виявлено наявності наросту, який зазвичай виникає у традиційній парі "канавка поршня – чавунне кільце". Катастрофічне руйнування деталей в парі відбувається при тисках, які більше у 1,5–2,0 рази, ніж ті, які спостерігаються у парах без дискретного зміцнення алюмінію. Контактна виносливість, яка є "ахіллесовою п'ятою" традиційних технологій зміцнення, при дискретному методі матеріалу алюмінієвого поршня також суттєво зростає.

Отже, дискретне покриття, що наносить компактним мідним електродом багаторазово підвищує зносостійкість ливарного алюмінієвого сплаву АЛ 25. При цьому у 1,5–2,0 рази підвищується контактний тиск початку катастрофічного руйнування. Це, а також убезпечення поверхонь від розтріскування і відшарувань дозволяє рекомендувати технологію ЕІЛ для зміцнення канавок алюмінієвого поршня у основному та реноваційному виробництвах.

Література

1. Самсонов, Г.В. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сичев. – К. : Наук. думка, 1976. – 220 с.
2. Соловых, Е.К. Тенденции повышения износостойкости поршней ДВС / Е.К. Соловых, Б.А. Ляшенко, Э.К. Посвятенко, А.М. Безрукавый // Вісник Національного транспортного ун-ту. – К. : НТУ, 2006. – вип.13, ч. 1. – С.13–21.
3. Посвятенко, Э.К. Повышение ресурса работы цилиндропоршневой группы газовых двигателей / Э.К. Посвятенко, С.Н. Литвин, В.Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №7. – С. 48–51.
4. Сушко, О.В. Прикладне матеріалознавство : підручник / О.В. Сушко, Е.К.Посвятенко, С.В. Кюрчев, С.І.Лодяков. – Мелітополь : "Forward press", 2019. – 352 с.

Рябченко С.В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Київ, Україна
Аргиров Я., Мечкарова Т. Технічний Університет Варни, Варна, Болгарія

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ НАПЛАВОК АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Ефективність обробки наплавок з спеціальними сплавами є актуальною проблемою виробництва та ремонту устаткування. Найбільші проблеми в обробці наплавлених матеріалів є забезпечення якості та фізико–механічного стану обробленої поверхні. Проведено випробування шліфування різними абразивними інструментами наплавок з спеціального дуплексного сплаву (типу 2507) та проведена оцінка ефективності обробки (зняття матеріалу та знос абразиву). Для обробки наплавок використовували абразивні головки діаметром 10 мм з електрокорунду білого та хромистого, карбіду кремнію та синтетичного алмазу (рис. 1).

Наплавлені поверхні нанесені у вигляді валиків висотою 2 мм на зразок пластини розміром 100×50×12 з спеціального дуплексного сплаву типу 2507 (рис. 2). Наплавки наносились на платину руч-

ним зварюванням електродами SAAB діаметром 2,5 мм. Робочий струм зварювання 70 Ампер.

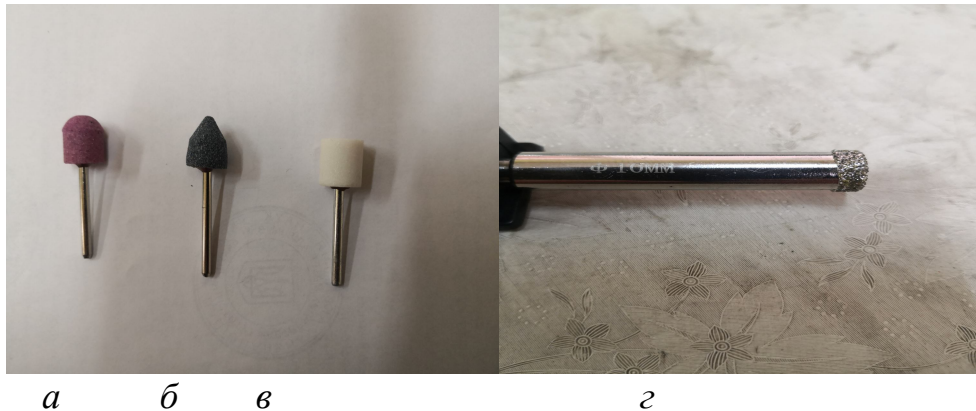


Рис. 1 – Зовнішній вид шліфувальних головок з абразиву хромистий корунд (а), карбід кремнію (б), білий корунд (в) та синтетичний алмаз (г)



Рис. 2 – Наплавлена пластина



Рис. 3 – Вигляд шліфувальної машини

Випробування зазначених інструментів проводились на ручному електроінструменті професійного класу–шліфувальної машини DREMEL 3000. Її основні технічні характеристики: потужність 130 Вт; напруга 230 Вольт; частота обертів 33000 об/хв. Цанга кріплення інструменту 3,2 мм (рис. 3).

Шліфування наплавлених валиків виконувалось послідовно. Перший валик не шліфувався і подальше використовувався як первинна поверхня для досліджень фізико-механічного стану наплавки. Другий валик шліфувався абразивною головкою з хромистого

корунду, третій валик – абразивною головкою з білого корунду, четвертий валик – абразивною головкою з карбіду кремнію, а п'ятий валик – абразивною головкою з синтетичного алмазу (рис. 4).



Рис. 4 – Вид шліфованих наплавлених валиків оброблених різними абразивними головками

Результати порівняльних випробувань різних абразивних головок при шліфуванні наплавки показали високу ефективність обробки головками з хромистого корунду. Зняття матеріалу складає 0,5 мм слою за 2 хвилині, а знос абразивної головки був мінімальний. При обробці наплавки абразивною головкою з білого корунду зняття матеріалу було мінімальним, а абразивна головка «засалювалась». При шліфуванні наплавки абразивною головкою з карбіду кремнію зняття матеріалу було мінімальним, а абразивна головка швидко зношувалась. Також ефективно оброблялась наплавка при використанні алмазної головки, а знос головки був мінімальний.

Висновки.

1. Найвищу ефективність обробки наплавки з дуплексного сплаву типу 2507 забезпечують абразивні головки з хромистого корунду та синтетичного алмазу. Вони мають високий рівень зняття матеріалу наплавлення (до 0,25 мм/хв) та мінімальний знос абразивного шару.

2. Абразивні головки з білого корунду та карбіду кремнію мають дуже низький рівень зняття матеріалу наплавлення. Абразивні головки з білого корунду дуже швидко «засалюються», що призводить до неможливості подальшого шліфування наплавки. Абразив-

ні головки з карбіду кремнію дуже швидко зношуються та втрачають свою геометричну форму. Все ці показники свідчать про дуже низьку ефективність використання такого типу абразивних головок.

*Сахнюк І.О., Рудак Н.П. Технічний центр
НАН України, Київ, Україна*

ІНФРАСТРУКТУРА ЯКОСТІ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ УКЛАДЕННЯ УГОДИ АСАА

Підписавши Угоду про асоціацію з Європейським Союзом у 2014 році, Україна чітко висловила свої наміри щодо інтеграції та наближення своєї політичної та економічної системи до європейських цінностей, стандартів і правил.

24 квітня 2023 року за ініціативи департаменту технічного регулювання Міністерства економіки України та за участі провідних європейських і міжнародних експертів відбувся онлайн Міжнародний форум «АСАА як інструмент відновлення економіки України: діалог з бізнесом», присвячений висвітленню питань підготовки до укладення Угоди про оцінку відповідності та прийнятність промислових товарів (АСАА, «промисловий безвіз») (<https://techreg.in.ua/international-forum-aca/>).

Основними цілями Угоди АСАА є:

- імплементація міжнародних та європейських норм і правил;
- підвищення конкурентоспроможності української промислової продукції та сприяння розвитку експортного потенціалу;
- сприяння розвитку та удосконалення українських інституцій інфраструктури якості;
- надання якісних послуг виробникам та споживачам української промислової продукції.

Очікуваними результатами від укладання Угоди АСАА є:

- визнання системи технічного регулювання та метрології України на міжнародному та європейському рівні;
- виконання зобов'язань відповідно до Угоди про асоціацію (розділ IV, глава 3, статті 53–58 та Додаток III), Угоди про технічні бар'єри в торгівлі;

- укладання Угоди АСАА за пріоритетними секторами продукції (машини, низьковольтне електричне обладнання, електромагнітна сумісність обладнання) тощо.

Складовими інфраструктури якості України є: національна система стандартизації; система акредитації та оцінка відповідності; метрологічна система України.

Законодавча база інфраструктури якості України складається із законів України: «Про стандартизацію», «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», «Про акредитацію органів з оцінки відповідності», «Про метрологію та метрологічну діяльність», «Про загальну безпечність нехарчової продукції», «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції». З метою реалізації прийнятих законів розроблено нормативно-правовий акт «План заходів щодо розвитку системи технічного регулювання України до 2025 року», який затверджено Кабінетом Міністрів України від 22.09.2021 №1145-р.

Українська сторона виконала певні зобов'язання щодо укладення Угоди АСАА. Європейською стороною з жовтня 2020 року проведено попередньо оцінювання інфраструктури якості України. ЄС здійснювала перевірку готовності інфраструктури якості України до укладення Угоди АСАА. Європейськими експертами оцінено:

- стан адаптації горизонтального та секторального законодавства інфраструктури якості України до актів законодавства ЄС (2021);
- систему стандартизації України (2021);
- систему метрології України (2021, 2022);
- систему акредитації та оцінки відповідності України (2022).

За результатами 24-ого Саміту Україна–ЄС (03.02.2023) сторони домовилися активізувати роботу місій у рамках попередньої оціночної місії ЄС та визначити інші необхідні кроки для початку переговорів з укладення Угоди АСАА.

На сьогодні загальна кількість фонду національних стандартів складає 46 191 НД, з яких: 15% – національні стандарти; 65% – європейські стандарти, прийняті як національні; 20% – міжнародні стандарти, прийняті як національні. Національним органом стандартизації прийнято всі європейські стандарти, що були опубліковані європейськими організаціями стандартизації CEN/CENELEC на кінець липня 2022 року.

Національна еталонна база складається з 85 національних еталонів одиниць вимірювання. Результати міжнародних звірень наці-

ональних еталонів та публікація їхніх результатів (314 СМС-рядків) у базі даних Міжнародного бюро мір та ваг є основою визнання результатів випробувань та калібрувань, проведених в Україні на міжнародному рівні. Задля провадження певної метрологічної діяльності поряд із чинними нормативно-правовими актами прийнято 5 актів законодавства на основі Директив ЄС.

Для цілей укладання Угоди АСАА у пріоритетних секторах промислової продукції створена інфраструктура призначених органів з оцінки відповідності. Затверджені всі переліки національних стандартів, що ідентичні гармонізованим європейським стандартам, для цілей застосування технічних регламентів для укладення Угоди АСАА.

В Україні створена і функціонує Комунікативна платформа з технічного регулювання (techreg.in.ua), яка здійснює просвітницьку діяльність. Платформа створена для проведення Національним органом стандартизації навчань, підтримки діалогу з бізнесом, надання роз'яснень із найактуальніших питань у сфері технічного регулювання, оцінки відповідності, стандартизації, метрології. На платформі висвітлюють онлайн навчання/вебінари для зацікавлених сторін, зокрема такі як:

- онлайн навчання/вебінар «Угода АСАА як чинник інтеграції України до єдиного внутрішнього ринку ЄС та інструмент відновлення економіки»;
- вебінар «Сучасна стандартизація України: роль і значення для Угоди АСАА»;
- вебінари для керівного складу технічних комітетів;
- серія вебінарів «Технічне регулювання та стандарти для кластерів ІАМ» у рамках проєкту ClusteRise;
- серія відеоуроків з інформацією стосовно доведення відповідності вітчизняної промислової продукції до вимог актів законодавства ЄС щодо безпечності з метою її експорту на європейський ринок.

Під час Міжнародного форуму одним із міжнародних експертів було представлено методологією Calidena, розроблену та впроваджену Фізико-технічним інститутом Німеччини (РТВ) для стимулювання якості в ланцюжках створення вартості і спрямовану на систематичну та постійну підтримку вдосконалення національної інфраструктури якості в країнах, що розвиваються, і країнах, що перебувають на етапі трансформації.

Країни Східного партнерства задля отримання більших переваг від торгівлі з ЄС повинні:

- зміцнити конкурентоспроможність своїх компаній;
- гармонізувати свою нормативно-правову базу з нормативно-правовою базою Європейського Союзу;
- розвивати національну інфраструктуру якості.

Торгівля є ключовим інструментом сталого розвитку. Для цього:

- країни Східного партнерства розвивають власні стратегії сталого розвитку (Цілі Сталого Розвитку SDGs 2030);
- зелена угода ЄС каталізує зелену економічну трансформацію;
- запроваджується нова парадигма економіки – зелена торгівля;
- перед інфраструктурою якості стоїть завдання розвивати та пропонувати належні послуги.

Усі країни Східного партнерства стикаються з подібними викликами. Проєкт РТВ сприяє обміну досвідом між країнами Східного партнерства та з ЄС.

Отже, з набуттям Україною статусу кандидата на вступ до ЄС передбачається завершення виконання зобов'язань, узятих Україною в рамках Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, зокрема щодо гармонізації системи технічного регулювання України з європейською та укладання Угоди АСАА.

Семковський К.В., Лавров О.С., Голякевич А.А.

ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК,

Котельчук О.С. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Дніпро, Україна

ПОРОШКОВИЙ ДРІТ НОВОГО ПОКОЛІННЯ МАРКИ ТМВ-8 ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ТА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

На сьогоднішній день при зварюванні металоконструкцій низьковуглецевих та низьколегованих сталей найбільшого поширення знаходять порошкові дроти рутилового типу, які використовуються у поєднанні із газовим захистом CO₂ чи суміші Ar + CO₂. Для дротів з рутиловим типом осердя характерним є дрібно-крапельне перенесення електродного металу, яке за характером наближається до струминного при зварюванні на високій щільності струму, особливо при використанні дроту з високим окисним потенціалом осердя. Яскра-

вим представником дротів цього типу є порошковий дріт марки ПП-АН8 [1, 2], який вирізняється високою стабільністю процесу горіння дуги, рівномірним плавленням дроту та незначним розбрикування металу. При цьому з'єднання, зварені цим дротом, мають відмінний зовнішній вигляд та високі механічні властивості. Все це сприяло ефективному застосуванню дроту при виготовленні металоконструкцій різного призначення, а особливо таких конструкцій, до зовнішнього вигляду яких висуваються підвищені вимоги. Дріт марки ПП-АН8 був розроблений Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона і впроваджений в промислове виробництво ще на початку 70-х років двадцятого сторіччя. З того часу, разом із розвитком зварювального виробництва дедалі сильніше почали проявлятися недоліки, характерні для процесу зварювання цим дротом. Підвищений вміст сполук марганцю у твердій складовій зварювального аерозолі (ТСЗА), що утворюється при зварюванні порошковим дротом ПП-АН8 суттєво погіршує санітарно-гігієнічні умови його застосування. Крім того, на сьогодні продуктивність зварювання цим дротом стає недостатньою в умовах сучасного зварювального виробництва. Композиція дроту, яка передбачала його промисловий випуск мінімальним діаметром 2,2 мм, обмежувала його використання при зварюванні на вертикальній площині. Високі показники наплавлення досягалися при використанні дроту діаметром 2,5 і 3,0 мм для зварювання переважно у нижньому положенні.

Інші порошкові дроти рутилового типу [3, 4], що доступні на ринку, вирізняються відмінними зварювально-технологічними та експлуатаційними характеристиками, але мають порівняно високу ціну через особливості композиції та відповідну складність виготовлення, що обмежують сферу їх застосування. Тому для ринку зварювальних матеріалів в Україні актуальним постало питання розробки доступного по ціні порошкового дроту рутилового типу, який демонстрував би всі переваги зварювання порошковим дротом ПП-АН8 при вирішенні питань стосовно його недоліків.

Співробітниками ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК» при участі спеціалістів Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона, враховуючи результати попередніх досліджень [5], проаналізовано вплив складу композицій осердя порошкових дротів рутилового типу на їх зварювально-технологічні властивості. На основі такого комплексного аналізу проведено коригування складу порошкового дроту ТМВ-8, подібного до ПП-АН8 для підняття основності рутилового шлаку, що в свою чергу дозволило зменшити вихід шлаку та підвищити його

спроможність рафінувати розплавлений метал та позитивно впливати на формування зварного валка. Деякі узагальнені порівняльні дані зварювально-технологічних властивостей порошкових дротів ПП-АН8 і ТМВ-8 діаметром 2,2 мм при зварюванні на аналогічних режимах наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні дані зварювально-технологічних властивостей порошкових дротів

Показник	ПП-АН8	ТМВ-8
Формування наплавленого валика	Задовільне. За рахунок дещо більшого розбризкування погіршується формування валика	Хороше, із плавним переходом
Розбризкування, коефіцієнт витрат дроту, %	підвищене, 1,25–1,30%	мале, не більше 1,15 %
Середній розмір крапель, мм	2,0–4,0	не більше 2,0
Коефіцієнт виходу шлаку, %	14,5	11,7
Продуктивність наплавлення, кг/год	3,2–3,5	3,5–4,0

Процес зварювання дротом ТМВ-8 характеризується меншою яскравістю горіння дуги у порівнянні з ПП-АН8, що свідчить про нижчу температуру в стовпі дуги й відповідну меншу температуру крапель електродного металу, що полегшує видалення бризок електродного металу. Крім, того, менша щільність шлаку дроту ТМВ-8 спрощує його видалення у порівнянні з ПП-АН8, при цьому глибина проплавлення при зварюванні дротом ТМВ-8 більша.

Висновок. На заміну порошковому дроту марки ПП-АН8 створено новий порошковий дріт марки ТМВ-8, який може виготовлятися кількома діаметрами від 1,2 до 2,5 мм. При цьому в композиції осердя використовуються недорогі сировинні матеріали вітчизняного виробництва.

У порівнянні з порошковим дротом ПП-АН8 використання ТМВ-8 дозволяє підвищити продуктивність процесу зварювання, забезпечити більш сприятливу форму та кращі механічні властивості зварного шва і зварного з'єднання, а також покращити санітарно-гігієнічні умови зварювання за рахунок зменшення валового виділення ТСЗА та вмісту сполук марганцю у ньому.

Література

1. Походня, И.К. Сварка порошковой проволокой / Посвятенко Э.К., Литвин С.Н., Гончаров В.Г. – К. : Наук. думка, 1972.
2. Походня, И.К. Порошковые проволоки для электродуговой сварки : каталог-справ. / И.К. Походня, А.М. Суптель, В.Н. Шлепаков и др. – К. : Наук. думка, 1980.
3. Шлепаков, В.Н. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей / Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю.А., Котельчук А.С. // Автоматич. сварка. – 2010. – № 3. – С. 46–51.
4. Орлов, Л.Н. Механизированная сварка порошковой проволокой ППС-ТМВ7 корпусных конструкций судов / Л.Н. Орлов, Ю.А. Гаврилюк, А.А. Бирин // Сварщик. – 1998. – № 2. – С. 4–5.
5. Шлепаков, В.Н. Улучшение технологических и санитарно-гигиенических характеристик процесса дуговой сварки в среде защитного газа / В.Н. Шлепаков, А.С. Котельчук // Автоматич. сварка. – 2019. – № 6. – С. 33–38.

*Смоквина В.В., Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д.,
Тимошенко В.В., Барановська К.А. Інститут
надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна*

ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ОБРОБОК ПОВЕРХНІ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ НИЗЬКОЇ МІЦНОСТІ НА ЇХ ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

При виготовленні шліфувального інструменту найбільш поширено використовуються алмази зернистостей 160/125, 125/100 та 100/80, але різних марок з діапазону АС6–АС20. Тому, в даній роботі, для підвищення ефективності роботи шліфувального інструменту, алмазні порошки вказаних зернистостей, синтезованих в системах Ni-Mn-C і Fe-Si-C, для покращення їх фізико-механічних характеристик піддавалися впливу фізико-механічних чинників для отримання шліфпорошків алмазу однорідних за міцністю, лінійними розмірами та з високою абразивною здатністю.

Шліфпорошки алмазу окремих зернистостей обробляли за розробленою принциповою схемою отримання шліфпорошків алмазу

марок АС6–АС20 з високою однорідністю за удосконаленою технологією. Згідно розробленої принципової схеми, спочатку порошки алмазу піддавали фізико-механічному вибіркового подрібненню для усунення двійників, друз, слабких дефектних зерен в планетарному млині. Процеси подрібнення застосовуються для доведення алмазної сировини до необхідної крупності і необхідного зернового складу. У планетарних млинах при спеціально підібраних режимах відзначається вибірковість подрібнення зерен алмазу різної міцності при їх самоподрібненні. При цьому частинки матеріалу руйнуються під дією зовнішніх сил. Руйнування алмазних частинок відбувається переважно за ослабленими перерізами, що мають тріщинуватості або інші дефекти структури.

Після цього подрібнений матеріал окремих зернистостей піддавали фізико-хімічній обробці в ультразвуковій ванні при об'ємному співвідношенні твердого до рідкого 1:3. Обробку в ультразвуковій ванні здійснювали протягом 5 ± 1 хв. При ультразвуковій обробці у рідині виникають локальні області стиску та розширення, які швидко чергуються. Рідина в локальних зонах підпадає під тиск, що вище порогового значення напруги розтягування, тобто вище тиску насичення пари при даній температурі. Її цілісність руйнується, виникають кавітаційні пухирці – пароподібні порожнини з газами, які виділяються з рідини в середину пухирців. Пухирці ростуть і під впливом зовнішнього тиску миттєво руйнуються. У частинках матеріалу, що знаходиться в зоні кавітації, формується напружений стан, який призводить до виникнення мікротріщин. На поверхні, що утворилася, абсорбуються молекули рідини, виконуючи розклинювання. Під дією миттєвої локальної зміни місцевого тиску в рідині пухирці можуть різко стискатись і розширюватись, а температура газу в середині пухирців може коливатися у широких межах та досягати кількох сотень градусів за Цельсієм. В розчинених в рідині газах міститься більше кисню у відсотковому відношенні, ніж у повітрі, тому гази в пухирцях при кавітації хімічно більш агресивні, ніж атмосферне повітря, і викликають процеси окислення твердої фази. Усі вищезазнані процеси руйнують тверду фазу. В остаточному рахунку це призводить до руйнування слабких дефектних, пластинчастих зерен.

В отриманих шліфпорошках алмазу після фізико-механічної та фізико-хімічної обробки визначали середній розмір зерен алмазу, вміст основної фракції (ОФ), коефіцієнт форми K_f і коефіцієнт од-

норідності за лінійними розмірами $K_{\text{одн.л.р.}}$. Було досліджено також фізико-механічні характеристики шліфпорошків алмазу: міцність у вигляді навантаження при статичному руйнуванні зерен алмазу (P , Н), коефіцієнт термостабільності (K_{TC} , %), абразивну здатність (A , мг), коефіцієнт однорідності за міцністю ($K_{\text{одн.міц.}}$, %) та коефіцієнт поверхневої активності (K_a , %).

Показано, що подрібнене в планетарному млині і фізико-хімічна обробка в ультразвуковій ванні алмазних шліфпорошків зернистостей 160/125, 125/100 і 100/80, отриманих в системах Ni-Mn-C і Fe-Si-C, за рахунок руйнування слабких пластинчастих і дефектних зерен дозволила зменшити середній розмір зерен алмазу для обох систем від 7 до 10%, що призвело до отримання більш ізометричних зерен (K_f зменшився $\sim$ на 10%) та збільшення вмісту в них основної фракції на 4,3%, що і забезпечило підвищення коефіцієнта однорідності за лінійними розмірами від 7 до 9%.

Встановлено, що після проведення обробки шліфпорошків алмазу зернистостей 160/125, 125/100 і 100/80, синтезованих в системі Ni-Mn-C, міцність у вигляді навантаження при статичному руйнуванні зерен алмазу збільшується незначною мірою в межах марки AC6, а для алмазу системи Fe-Si-C – також збільшується і досягає за міцністю марки AC15, коефіцієнт термостабільності для алмазних порошків обох систем зростає незначно, коефіцієнт однорідності за міцністю збільшується від 5 до 10% для алмазу обох систем.

В результаті виконання фізико-механічної та фізико-хімічної обробки поверхня шліфпорошків алмазу стає більш розвиненою, збільшується коефіцієнт поверхневої активності K_a , що сприяє підвищенню абразивної здатності порошків. Для шліфпорошків алмазу системи Ni-Mn-C при збільшенні $K_a \sim$ на 10%, абразивна здатність зростає не більше ніж на 6%. Для шліфпорошків алмазу системи Fe-Si-C з ростом K_a від 6,5 до 9% абразивна здатність збільшується від 8,1 до 11,6%.

Таким чином, фізико-механічна та фізико-хімічна обробка в планетарному млині і ультразвуковій ванні на поверхню шліфпорошків алмазу зернистостей 160/125, 125/100 та 100/80 марки AC6, синтезованих в системах Ni-Mn-C і Fe-Si-C сприяє підвищенню їх фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик.

ФІЗИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Встановлені основні фізичні закономірності інтенсифікації технологічних процесів алмазно-абразивної обробки полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), що містять у собі високоміцні і високомодульні волокна, на основі системно-аналітичної оптимізації технологічної системи обробки за допомогою направленою створення ефективних параметрів контактних робочих поверхонь інструментів, мінімізації механічних, механохімічних та теплофізичних явищ і структурних перетворень в оброблювальному матеріалі в зоні обробки різанням [1].

Вивчені характеристики та встановлені особливості алмазно-абразивних інструментів з функціонально-орієнтованим робочим шаром при обробці ПКМ. Встановлено основні закономірності фізико-хімічних процесів, які відбуваються в контактній зоні. Визначені головні зв'язки між технологічними параметрами механічної обробки різанням, властивостями ПКМ і їх фізико-механічними характеристиками, геометричними і якісними параметрами обробленої поверхні. Створені алмазно-абразивні інструменти і розроблена технологія їх виготовлення та застосування.

Запропонована концепція інтенсифікації алмазно-абразивної обробки полімерних композиційних матеріалів, яка базується на управлінні механічними, механохімічними і теплофізичними явищами шляхом направленою і регульованого керування контактною взаємодією і тепловими процесами в зоні обробки, які мінімізують механічні, механохімічні, теплові і структурні перетворення в полімерній складовій оброблювального матеріалу. При цьому контактні процеси направлені виключно на підтримання високої ріжучої здатності одношарового алмазно-абразивного інструмента за рахунок направленою створення ефективних функціонально-орієнтованих параметрів контактних поверхонь робочих елементів в інструменті, а теплофізичні процеси різання направлені на формування бездефектного поверхневого шару оброблювального матеріалу.

Встановлено взаємозв'язок між тепловими явищами процесу алмазно-абразивної обробки та якістю поверхневого шару полімер-

них композиційних матеріалів. Формування бездефектного поверхневого стану матеріалу забезпечується у зоні різання при температурі 500–510 К. Показано, що найбільшу роль у процесі теплоутворення належить параметрам перерізу зрізу (7–9 м/хв) та конструктивним параметрам алмазовмістних робочих шарів інструменту [2]. Запропоновано шляхи управління тепловими явищами процесу алмазно-абразивної обробки за рахунок встановлених оптимальних режимів різання та спеціальних функціонально орієнтованих параметрів контактних поверхонь елементів в інструменті.

Запропоновано та реалізовано новий підхід до вибору оптимальних параметрів процесу алмазно-абразивної обробки полімерних композиційних матеріалів, який враховує встановлені основні закономірності формування та зміни фактичної площі контакту в технологічній системі «інструмент-деталь» і формування мікрогеометрії поверхні, а також особливості розповсюдження тепла у поверхневому шарі оброблювального матеріалу. Це дозволило забезпечити стабільні фізико-механічні властивості оброблювальних матеріалів, точність у межах 10–12 квалітетів, параметр шорсткості поверхні R_z 20–40 мкм та підвищення на 35–40% продуктивність механічної обробки різанням [3].

Доведено, що керування теплофізичною дією в контактній зоні робочої поверхні інструменту з оброблювальним матеріалом на якість поверхневого шару полімерних композиційних матеріалів доцільно виконувати за рахунок розрахунку оптимальних режимів різання та геометричних параметрів робочих елементів та характеристики (марки та зернистості синтетичного алмаза) робочої поверхні алмазно-абразивного інструменту.

Розроблена високопродуктивна технологія алмазно-абразивної обробки полімерних композиційних матеріалів, в тому числі технологічні процеси алмазно-абразивної різки, шліфування, зачищування, свердлення та зенкування отворів у виробах із полімерних, металополімерних і гібридних композиційних матеріалів, які широко використовуються в авіаційній, ракетно-космічній, суднобудівній та інших галузях промисловості. Оптимізовані геометричні параметри конструкції алмазно-абразивних інструментів для інтенсифікації процесів механічної обробки, визначені основні технологічні параметри різання матеріалів, науково обґрунтовано технологічне забезпечення якості оброблених поверхонь виробів із ПКМ.

Розроблені науково обґрунтовані практичні рекомендації по технологічному управлінню якістю поверхневого шару ПКМ при

алмазно-абразивній обробці. Складовою частиною технологічного управління є схема обробки, технологічні режими різання та середовище, в якому реалізована механічна обробка різанням. Первинними елементами управління якістю є сам полімерний композиційний матеріал та алмазно-абразивний інструмент, який утворює обробку. Вихідними параметрами технологічного управління якістю є шорсткість обробленої поверхні (параметр шорсткості R_z), глибина та ступінь деструкції поверхневого шару, макронерівність обробленої поверхні, ворсистість. Для забезпечення оптимальних значень шорсткості (R_z 20–40) обробленої поверхні полімерних композиційних матеріалів обробку необхідно виконувати алмазно-абразивним інструментом з функціонально орієнтованим робочим шаром, оснащеним порошками синтетичного алмаза марки АС32 (АС20, АС15) зернистістю 400/315–250/200 [4]. Для забезпечення температури в зоні різання не вище ніж 500–510 К, яка лімітує перехід механічної деструкції полімерної складової оброблювального матеріала до термічної, величина повздовжньої подачі не повинна перевищувати 7–9 м/хв. Швидкість головного руху різання повинна бути у межах 35–40 м/с.

Розроблено і впроваджено у виробництво технології алмазно-абразивної різки (розрізання), шліфування (зачищення), свердлення і зенкування отворів в деталях із ПКМ, які реалізовані в умовах машинобудівних цехів авіаційної і суднобудівної промисловості України, в т.ч. на ДП «АНТОНОВ» (м. Київ), Харківське державне авіаційне виробниче підприємство (м. Харків), Черноморський суднобудівний завод (м. Миколаїв) та інші.

Реалізація високоефективної технології механічної обробки та алмазно-абразивних інструментів замість ріжучих та звичайних абразивних інструментів, які традиційно використовуються при механічній обробці ПКМ, дозволяє поліпшити якість оброблювальних поверхонь та звести до мінімуму дію термічної деструкції полімерної складової (практично виключити), виключити припалини, відколи кромek, розшарування, ворсистість та інші дефекти обробленої поверхні ПКМ, забезпечуючи при цьому шорсткість поверхні у межах R_z 20–40 [5].

Досягнуті наступні показники технічно-економічної ефективності алмазно-абразивної обробки ПКМ у порівнянні з традиційними методами механічної обробки ПКМ лезовими та абразивними інструментами:

- збільшення продуктивності обробки при різці (розрізанні) в 2,5–3,0 рази, при шліфуванні і свердленні в 3–9 разів, при зенкуванні конічних і циліндричних отворів в 3–5 разів;
- підвищення строку служби інструменту при різці (розрізанні) в 5–7 разів, при шліфуванні (зачищуванні) вугле-, скло- і органопластиків в 5–10 разів, сотових заповнювачів в 9–10 разів, при свердленні отворів в вугле-, скло- і органопластиків в 5–10 разів, а АЛО-Рі в 9–10 разів, при зенкуванні отворів вуглепластиків в 7–8 разів; боропластиків в 4–5 разів, органосклопластиків в 10–12 разів.

Надзвичайно висока розмірна стійкість алмазно-абразивних інструментів забезпечує точність обробки, виключення правки, можливість інтенсифікувати технологічні режими різання, створює реальні можливості для механізації і автоматизації процесів алмазно-абразивної обробки ПКМ.

Література

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н.В. Новикова. – М. : Машиностроение, 2005. – 555 с.
2. Шепелев, А.А. Температура при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.И. Дрожжин, В.Г. Сороченко // Наука і освіта : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХП», 2004. – С. 231–242.
3. Шепелев, А.А. Механизм образования поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : международ. сб. науч. тр. – Донецк : ДонНТУ, 2004. – вып.28. – С. 202–205.
4. Шепелев, А.А. Закономерности износа однослойных алмазно-абразивных кругов и их стойкость при механической обработке полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнарод. зб. наук. праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2005. – вип.32. – С. 258–267.
5. Шепелев, А.А. Экологические аспекты механической обработки полимерных композиционных материалов алмазно-абразивными инструментами / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко, Т.А. Сороченко // 25-ая международ. науч.-практ. конф. и блиц-выставка «Композиционные материалы в промышленности» (СЛАВПОЛИКОМ), 30 мая–3 июня 2005 г., Крым. – С. 302–304.

ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ КЕРАМІЧНИХ ШАРИКІВ ПІДШИПНИКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

Одними з найважливіших технологічних факторів, які визначають довговічність машин, зокрема гібридні підшипники (з керамічними шариками), є якість їх робочих поверхонь та їх геометрична точність. Якість обробленої поверхні керамічних шариків визначається шорсткістю їх поверхні і станом матеріалу поверхневого шару (спосіб отримання кераміки). Шорсткість обробленої поверхні характеризується висотою і формою мікронерівностей.

Гібридні підшипники застосовуються у високооберткових газотурбінних двигунах та інших конструкціях військової техніки, до яких пред'являються високі вимоги. Так, керамічні шарики десятої та шістнадцятої ступенів точності повинні мати непостійність діаметра шарика 0,25–0,40 мкм, сферичність 0,25–0,40 мкм, середньо арифметичне відхилення профілю Ra 0,020–0,025. Треба зазначити, що потреба в таких виробках в Україні постійно зростає і поки що задовольняється за рахунок імпорتنих поставок. Промислове застосування отриманих результатів досліджень дозволить налагодити виробництво гібридних підшипників на підприємствах України.

Метою даного дослідження було визначення найбільше раціональні способи отримання заготовок керамічних шариків із карбіду бору та нітриду кремнію з точки зору оптимального стану поверхневого шару та встановлення закономірностей впливу зернистості алмазного мікропорошка на шорсткість обробленої поверхні шариків і їх стан поверхневого шару при алмазно-абразивній обробці. Шорсткість поверхні оцінювали на зразках у вигляді шариків діаметром 12,700 мм із карбіду бору та нітриду кремнію. Заготовки із вказаних матеріалів були виготовлені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України: гарячепресований карбід бора B_4C (ГП), карбід бора, отриманий в апараті високого тиску B_4C (АВТ), карбід бора, отриманий при реакційному спіканні B_4C (РС), нітрид кремнію, отриманий в апараті високого тиску Si_3N_4 (АВТ), гарячепресований нітрид кремнію Si_3N_4 (ГП).

Методика підготовки зразків шариків передбачала їх алмазно-абразивне шліфування на технологічних стендах на базі верстатів мод. ВШ-204М та 6Т12-1 для забезпечення габаритних розмірів і виправлення похибки форми після спікання. В подальшому поверхня шариків доводилася на технологічних стендах на базі верстатів моделі 3Е814 у три переходи: перший – зернистість алмазного порошку у доводочній пасті на олійній основі І-20 14/10, другий – 7/5 і остаточний – 1/0. Швидкість обертання нижнього приводного диска-притира варіювалася в межах 20–25 м/с, а зусилля притискання змінювалося в межах від 5 до 100 Н.

Кількісну оцінку шорсткості поверхонь керамічних шариків здійснювали за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа «Micron-alpha» на базі оптичного приладу МП-4 (рис. 1) у відповідності з розробленою нами методикою М 28.1-337:2020 «Дослідження шорсткості поверхні шариків підшипникового призначення із керамічних матеріалів на основі карбіду бору», суть якої полягає в наступному. Пристрій цифрової фіксації останнього дозволяв сканувати ділянку поверхні розміром у межах 250×190 мкм. Повтор вимірів – два рази на різних ділянках. Обрахунок параметрів шорсткості здійснювали у програмному середовищі "3D Surface Texture Mountains Map".

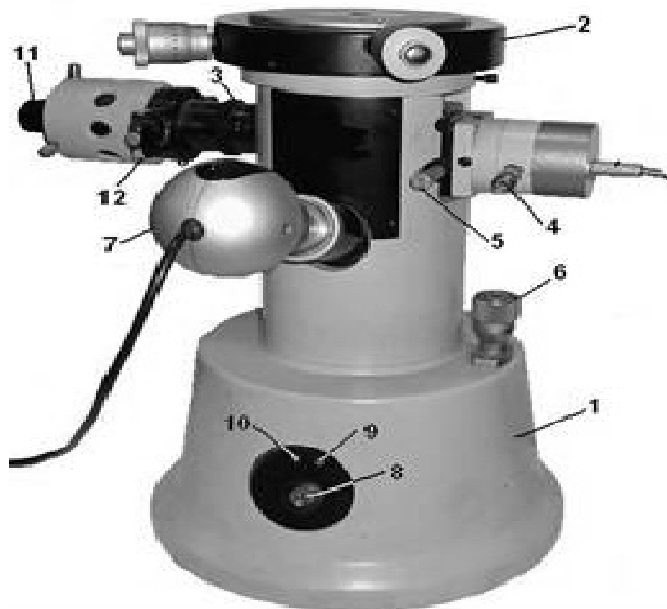


Рис. 1 – Зовнішній вигляд оптичного мікроскопу МП-4 для безконтактної інтерференційної реєстрації топографії поверхні

Для кількісного порівняння впливу технологічних факторів на шорсткість поверхні керамічних шариків були обрані відповідно до

ISO 25178-2:2021 наступні параметри 3D-оцінки шорсткості: амплітудні (S_a , S_q , S_p , S_v , S_t , S_{sk} , S_{ku}), параметри функції коефіцієнту змінання ареалу нерівностей (S_{pk} , S_k , S_{vk} , S_{mrl} , S_{mr2}), а також площа ареалу (%) і об'єм порожнин як відносний (%), так і питомий у $\text{мкм}^3/\text{мкм}^2$ в межах висот мікрорельєфу S_{pk} , S_k , S_{vk} .

Результати ранжування досліджуваних шариків по параметру шорсткості поверхні наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри шорсткості поверхні шариків та їх ранги при алмазно-абразивній обробці

Позначення керамічного матеріалу	Параметр шорсткості R_a , мкм	Ранг
B_4C (ABT)	0,055–0,027	1,00
B_4C (ГП)	0,347–0,026	4,55
B_4C (PC)	1,255–0,898	26,26
Si_3N_4 (ГП)	0,300–0,287	7,16
Si_3N_4 (ABT)	0,052–0,045	1,18

Аналіз отриманих результатів, які наведено в табл. 1, свідчить про те, що на величину параметра шорсткості поверхні керамічних шариків суттєвий вплив має технологію спікання. Із досліджуваних технологій найкращий результат з врахуванням отриманого параметра шорсткості і стану поверхневого шару шариків має технологія спікання досліджуваної кераміки в апаратах високого тиску.

Результати обрахунку параметрів шорсткості поверхні керамічних шариків після доведення у три переходи наведені у табл. 2. Шорсткість поверхні остаточно оброблених керамічних шариків з B_4C (апарат високого тиску) порівнювали з шорсткістю поверхні керамічних кульок з S_3N_4 (гаряче пресування). Результати обрахунку середніх значень параметрів шорсткості поверхні наведені у табл. 3. Аналіз параметрів шорсткості поверхні шариків по вищезгаданим критеріям показав наступне.

За критерієм однорідності поверхні після абразивної обробки (прикінцеве доведення) мінімальні значення показали в порядку збільшення параметрів S_a , S_q , S_k (висота ядра функції коефіцієнту змінання ареалу нерівностей) матеріали B_4C (ABT) та S_3N_4 (ABT). За параметрами S_p , S_t , S_{ku} (щільність розподілу нерівностей) ці матеріали також кращі, але в порядку збільшення цих параметрів розташування наступне: B_4C (ГП) та S_3N_4 (ГП). Максимальні значення в порядку

зменшення параметрів S_a , S_q , S_p , S_t , S_k у матеріалів B_4C (PC), B_4C (ГП), B_4C (АВТ) та S_3N_4 (ГП), S_3N_4 (АВТ). Отримані високощільні однорідні керамічні заготовки шароподібної форми з матеріалів на основі B_4C та Si_3N_4 гарячим пресуванням при високих тисках.

Таблиця 2 – Параметри шорсткості поверхні керамічних шариків з B_4C після доведення у три переходи

Зернистість алмазної суспензії	Параметри шорсткості поверхні по ISO 25178-2:2021									
	S_a , мкм	S_q , мкм	S_p , мкм	S_v , мкм	S_t , мкм	S_{sk}	S_{ku}	S_{pk} , мкм	S_k , мкм	S_{vk} , мкм
АСМ 14/10	0,048–0,089	0,062–0,112	0,272–0,610	0,259–0,384	0,531–0,994	0,017–0,051	3,46–3,16	0,166–0,422	0,206–0,370	0,159–0,202
АСМ 7/5	0,031–0,057	0,042–0,070	0,229–0,245	0,142–0,193	0,371–0,437	0,503–0,025	4,12–2,51	0,152–0,132	0,135–0,229	0,084–0,076
АСМ 1/0	0,025–0,036	0,034–0,049	0,205–0,284	0,168–0,210	0,372–0,494	0,507–0,428	5,19–4,82	0,147–0,338	0,107–0,186	0,118–0,170

Таблиця 3 – Параметри шорсткості поверхні керамічних шариків з B_4C і S_3N_4

Позначення кульки	Параметри шорсткості поверхні по ISO 25178-2:2021									
	S_a , мкм	S_q , мкм	S_p , мкм	S_v , мкм	S_t , мкм	S_{sk}	S_{ku}	S_{pk} , мкм	S_k , мкм	S_{vk} , мкм
B_4C^*	0,029	0,038	0,202	0,183	0,385	0,593	5,35	0,138	0,120	0,127
стандартне відхилення	0,013	0,018	0,097	0,116	0,186	0,544	2,07	0,072	0,054	0,091
$S_3N_4^{**}$	0,025	0,035	0,244	0,203	0,447	0,206	6,95	0,200	0,087	0,160
стандартне відхилення	0,002	0,007	0,143	0,043	0,181	0,351	3,63	0,148	0,025	0,052

* – наведені середні значення параметрів з 6-и вимірів шорсткості поверхні;

** – наведені середні значення параметрів з 5-и вимірів шорсткості поверхні.

Таким чином, виконана робота дозволяє зробити наступні основні науково-технологічні та практичні висновки:

- розроблена технологія прецизійної алмазно-абразивної обробки керамічних шариків підшипникового призначення. Експериментально визначені умови й режими алмазно-абразивної обробки, які дозволяють виготовляти керамічні шарики з карбіду бору і нітриду кремнію, геометричний розмір, точність і якість поверхневого шару яких відповідають вимогам Технічного завдання ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро "Прогрес" імені академіка О.Г. Івченко»; визначені показники точності й шорсткості поліро-

ваної поверхні виготовлених дослідних партій керамічних шариків з карбіду бору та нітриду кремнію діаметром $\varnothing 12,700$ мм. Досліджено вплив способу спікання заготовок керамічних шариків на шорсткості їх поверхні, тобто спікання заготовок шариків при високому тиску призводить надалі при механічній обробці до зменшення їх шорсткості у 4 рази.

- встановлено, що досліджена шорсткість поверхонь керамічних шариків у вихідному стані (після алмазно-абразивної обробки) відповідає класу G16 згідно до стандарту ISO 3290-2:2014 ($\varnothing 12,700$ мм класу точності G16 з відхиленням від сферичної форми 0,2–0,3 мкм).

Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ ШАРИКІВ З КРУГОВОЮ ПОДАЧЕЮ НА ЗНОШУВАННЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО КРУГА

Представлено результати експериментального дослідження впливу технологічних режимів шліфування з круговою подачею на зношування алмазно-абразивного круга. Алмазно-абразивне шліфування шариків із карбіду кремнію проводили на технологічному стенді на базі верстату моделі 6Т12-1 з встановленим на його робочому столі технологічного пристрою для здійснення кругової подачі вільно обертових заготовок керамічних шариків в отворах також вільно обертового сепаратора (рис. 1). Технологічні режими шліфування: швидкість головного руху варіювалася в межах 15,7–25,1 м/с, швидкість подачі шариків 1,4–2,2 м/с. Алмазно-абразивний шліфувальний круг з розташуванням суцільного алмазно-абразивного шару на торці круга форми 6А2Т 300х3 АС32 200/160 М2-01 100%. Кількість одночасно оброблювальних шариків складала 20 штук.

За обраної схеми шліфування досліджували вплив технологічних режимів обробки на зношування алмазно-абразивного круга. Показниками зношування алмазного круга були кут нахилу λ робочої поверхні у радіальному напрямку і постійний коефіцієнт k_p складової другого порядку рівняння апроксимації профілю у вказаному напрямку –

іншими словами коефіцієнт кривизни, для обрахунку якого вимірювали усереднену координату y_m профілю поверхні. Цей показник обраховували після безпосереднього вимірювання поточної координати y_i робочої поверхні круга у трьох радіальних напрямках з наступним його усередненням. Вимірювання поточної координати y_i профілю поверхні круга проводили безпосередньо на технологічному стенді за допомогою індикатора часового типу ИЧ-10 з ціною поділки шкали 0,01 мм у восьми рівновіддалених одна від одної реперних точках, з яких перша і остання точки знаходилися за 5 мм відповідно від осі обертання й зовнішнього краю алмазного шару. Перший радіальний напрямок вибирали довільно і вже не змінювали його по ходу виконання кожного досліду. Вимірювання виконували до і після кожного досліду, на основі яких обраховували усереднену координату y_m для кожної з реперних точок.

За допомогою повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2^3 визначали коефіцієнти впливу режиму обробки: дискретної подачі круга на врізання s_b , частоти кругової подачі заготовок ω_3 і частоти обертання алмазного круга ω_k .

План експерименту передбачав варіювання факторами на наступних двох рівнях: дискретної подачі $s_g - 3 \cdot 10^{-5}$ і $6 \cdot 10^{-5}$ м (подачу здійснювали кожні 10 хв – 0,03 й 0,06 мм/10 хв), частоти кругової подачі $\omega_3 - 18,3$ і $28,8$ рад/с ($n_3 = 175$ і 275 об/хв), частоти обертання круга $\omega_k - 104,7$ і $167,6$ рад/сек ($n_k = 1000$ і 1600 об/хв). Час проведення кожного досліду – 1 год.

В результаті експериментального дослідження впливу технологічних режимів алмазно-абразивного шліфування керамічних шариків з нітриду кремнію з круговою подачею на зношування поверхні алмазного круга встановлено (рис. 2), що ефекти, які спостерігалися під час варіювання факторами режиму обробки, адекватно описуються лінійними залежностями обраних показників процесу від режиму обробки: кута нахилу поверхні круга – від подачі на врізання і частоти подачі заготовок, коефіцієнта приросту кривизни – лише від частоти подачі заготовок. Зі зниженням величини подачі до мінімуму у межах дослідженого діапазону факторів кут нахилу зменшується на 20%, а коефіцієнт кривизни збільшується.

Для зниження кута нахилу λ до рівня 0,2 рад сприятливим є підвищення до максимуму подачі круга на врізання за мінімальних значень частоти подачі заготовок (рис. 3). Досягненню значень коефіцієнту кривизни k_p діапазону 0,001–0 сприяє одночасне підви-

щення до максимуму всіх факторів, що варіювалися, а інші комбінації факторів дають або приблизно рівноцінні результати, або спричиняють зростання коефіцієнта приросту кривизни.



Рис. 1 – Схема розташування отворів у сепараторі технологічного пристрою

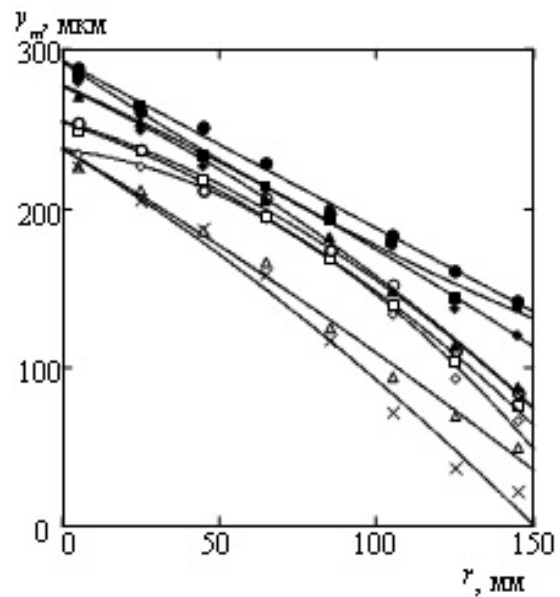


Рис. 2 – Змінювання положення експериментальних й апроксимованих координат початкового профілю й після проведення дослідів 1–8 у залежності від радіусу r поверхні круга: 1 (Δ), 2 ($\diamond$), 5 ($\square$), 6 ($\circ$); 7 ($\blacklozenge$), 8 ($\blacktriangle$), 3 ($\blacksquare$), 4 ($\bullet$)

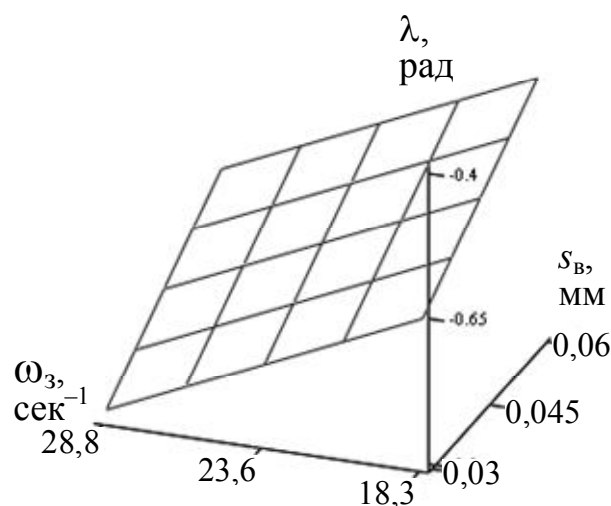


Рис. 3 – Лінійна модель змінювання λ залежно від факторів режиму обробки

Отже, за обраної схеми алмазного шліфування керамічних шариків вирівнюванню зношування алмазного круга у радіальному

напрямку сприяє підвищення до максимуму подачі круга на врізання s_b за мінімальних значень ω_z й ω_k , але для уникнення формування криволінійності профілю круга слід діяти рівно навпаки – підвищувати до максимуму ω_z за мінімальних значень s_b і ω_k .

Таким чином, в результаті виконаного експериментального дослідження по встановленню впливу технологічного режиму алмазно-абразивного шліфування з круговою подачею керамічних шариків з нітриду кремнію на зношування поверхні алмазного круга встановлено, що ефекти, які спостерігаються під час варіювання факторами режиму обробки, можуть бути адекватно описані лінійними залежностями обраних показників процесу від режиму обробки: кута нахилу поверхні круга – від подачі на врізання й частоти подачі заготовок, коефіцієнту приросту кривизни – лише від частоти подачі заготовок.

Визначено комбінації факторів режиму обробки у межах дослідженого діапазону змінювання, які можуть слугувати основою для визначення оптимізації значень вказаних показників.

Тимофеева Л.А., Козловська І.П., Ольховський В.В.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ВПЛИВ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЧАВУННИХ ВИРОБІВ

У вітчизняному машинобудуванні для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя широко застосовують:

- 1) сірий легований чавун з пластинчастим графітом;
- 2) високоміцний чавун з графітом кулястої форми.

Вище вказані матеріали відповідають низці вимог:

- висока міцність за достатнього запасу пластичності,
- високий модуль пружності,
- підвищена зносостійкість,
- хороша припрацьовуваність.

Однак при тривалій експлуатації чавунні деталі не завжди виробляють свій ресурс через відмови за рахунок прискореного зношування поверхні, що здебільшого спричиняється виникненням адгезії.

Для забезпечення надійної та безпечної роботи чавунних деталей, що працюють в умовах тертя і зношування пропонується застосувати багатошарове нанесення покриттів. У складі багатошарових покриттів повинні бути наявні як тверді фази, так і м'які складові, що сприяють поліпшенню антифрикційних властивостей чавуну. Водночас матеріал має бути відносно крихким.

Поверхневий шар з необхідними властивостями може бути отриманий у середовищі перегрітої пари водного розчину водорозчинних солей [1].

Формування поверхневого шару відбувається не тільки на металевій основі, а й по межах пластинчастого графіту, так і того, що виходить на поверхню металу без розриву суцільного шару. Така будова забезпечує необхідний комплекс властивостей чавуну, що працює в умовах тертя і зношування. У цьому разі якщо графіт починає викришуватися в процесі тертя, то починає працювати шар, що сформувався під включенням, яке викришувалося. А м'які складові згладжують на поверхні утворені нерівності [2, 3].

Поверхневий шар для чавуну і з пластинчастою, і з кулястою формою графіту складається з декількох підшарів. Верхній шар містить здебільшого м'якші складові, а нижній, що прилягає до металевої основи чавуну, містить переважно тверді складові. Розподіл хімічних елементів змінюється за товщиною шару. Будова поверхневого шару чавуну забезпечує за низьких значень коефіцієнта тертя підвищену зносостійкість і поліпшену припрацьовуваність [4].

У багатошарового поверхневого покриття не відбувається збільшення сили тертя на ділянках контакту до величини, яка може призвести до різкого зростання коефіцієнта тертя. Руйнування окремих мікроконтактів не супроводжується деформуванням прилеглих ділянок і не переходить у глибинне вирівнювання металу. Завдяки цьому зростання сили тертя стримується.

Сформований шар, отриманий у середовищі перегрітої пари водного розчину водорозчинних солей, поряд з підвищенням зносостійкості забезпечує поліпшення припрацьовування, таким чином, підвищуючи несучу здатність чавуну.

Література

1. Timofeeva, L.A. Surface modification of machine parts made of iron– carbon alloys operating under conditions of friction and wear / L.A. Timofeeva, S.S. Timofeev, A.Y. Dyomin et al. // J. of Friction and Wear. – 2018. – vol. 39, № 3. – P. 283–289.

2. Тимофєєва, Л.А. Визначення технологічних параметрів процесу обробки в залежності від експлуатаційних властивостей покриття / Л.А. Тимофєєва, Л.В. Волошина // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – № 66. – С. 20–23.

3. Волошина, Л.В. Визначення та оптимізація параметрів нової технології залежно від заданих властивостей покриття / Л.В. Волошина // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – вип. 134. – С. 224–229.

4. Тимофєєва, Л.А. Модифікація поверхні деталей машин і механізмів в умовах тертя та зношування / Л.А. Тимофєєва, Л.В. Волошина, С.С. Тимофєєв та ін. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – Серія : Технології в машинобудуванні. – № 2 (6). – С. 104–1090.

Тимофєєв С.С., Колесник М.А., Дробішевський М.В.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Нині в усьому світі велику увагу приділяють проблемам зносостійкості, зокрема, зносостійкості деталей циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згорання.

У вітчизняному машинобудуванні гільзи циліндрів і поршневі кільця виготовляють із сірого модифікованого чавуну. Для зміцнення використовується загартування з нагріванням СВЧ або азотування, для поліпшення припрацювання – фосфатування. Опробовано лазерну обробку гільз. В даний час також застосовується сульфідкування, сульфо-ціанування і хромування поршневих кілець двигунів.

Однак усі ці методи не забезпечують стабільну роботу пари тертя від заводського складання до капітального ремонту.

Основна тенденція в розробленні нових методів підвищення зносостійкості деталей, вузлів машин і механізмів спрямована на розроблення енергозберігаючих та екологічно чистих технологій.

Простішим методом, що не потребує спеціальних хімічних реагентів, є окислення, яке підвищує зносостійкість легованих чавунів.

Оксилегування, як один із методів хіміко-термічної обробки відомий для підвищення зносостійкості деталей ЦПГ тепловозних дизелів.

Однак, у цьому методі застосовували недостатньо екологічно чисті середовища, а саме середовища, що містять сірку. Тому під час розроблення нового методу приділялася також велика увага екології, насамперед екологічно чистим середовищам.

Пропонований метод оксилегування відрізняється від вже застосовуваного раніше методу. Розроблюваний метод оксилегування – це процес хіміко-термічної обробки, який використовує як насичувальне середовище перегріту пару розбавлених водних розчинів солей. Температура процесу не перевищує 600 °С, тривалість витримки становить 1 годину. Отримані поверхневі покриття одержувані поверхневі покриття, що мають шарувату будову, складаються зі складних оксидів заліза і одного або декількох металів, що входять до складу солі. Покриття характеризуються хорошою адгезією з основою, високими триботехнічними властивостями і можуть мати багатофункціональне призначення.

При застосуванні технології оксилегування твердість, а, отже, зносостійкість робочої поверхні підвищується за рахунок утворення в поверхневому шарі фосфідів заліза, алюмінію, хрому. Було встановлено, що максимальна твердість деталей циліндропоршневої групи забезпечується максимальною за часу витримки 40 хв.

Проведені дослідження триботехнічних властивостей деталей циліндропоршневої групи показали, що дифузійний шар має антифрикційні властивості, коефіцієнт тертя в два рази нижчий, ніж після хромування, а також у 1,9 разів менше знос деталей ЦПГ. Крім того, підвищується несуча здатність чавуну і його задиростійкість.

Особливе місце у вирішенні цієї проблеми посідає прогнозування. При індивідуальному прогнозуванні залишкового ресурсу двигуна виникає необхідність в аналітичному вираженні тенденції зміни працездатності двигуна або ступеня зношеності основних сполучень двигуна в залежності від навантажувально-швидкісного режиму, зовнішніх умов та інших чинників.

Вибір і побудова математичної моделі залишкового ресурсу деталей машин і механізмів є важливим питанням. Аналіз великого матеріалу з вивчення інтенсивності зношування основних сполучень двигуна від зовнішніх умов дає змогу встановити, що залежно від можливих умов на поверхні тертя відбуваються складні процеси. Встановлено, що залежно від навантажувально-швидкісного

режиму, фізико-хімічної дії середовища та інших чинників, під час зношування сполучень двигуна можуть виникати різні поєднання механічних, фізичних і хімічних процесів.

При цьому, як правило, має місце переважання одного з них, супутні явища мало впливають на інтенсивність зношування сполучень двигуна.

У зв'язку з цим, визначення аналітичних виразів залишкового ресурсу двигуна за діагностичними даними про ступінь зношеності сполучень має базуватися на структурній формі аналітичних виразів інтенсивності зношування циліндрів у залежності від навантажувально-швидкісного режиму, зовнішніх умов і інших факторів і давати мінімальну помилку прогнозу.

Як показали результати аналітичного дослідження математичного розрахунку, пробіг автомобіля залежить від зносостійкості деталей ЦПГ. Застосування технології окислегування дає змогу збільшити пробіг автомобіля за різних швидкісних і навантажувальних режимів у 1,9 рази.

Tkach P.M. E.O. Paton Electric Welding
Institute of the NAS of Ukraine,
Nosko P.L. National Aviation University
Kryvosheya A.V. V. Bakul Institute for
Superhard Materials of the NAS of Ukraine
Melnyk V.E. State Research Institute of the
Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Kyiv
Revyakina O.O. Luhans'k Taras Shevchenko
National University, Poltava, Ukraine

SINUSOIDAL GEARING WITH CONVEX-CONVEX CONTACT OF TEETH

Development of sinusoidal gearing was initially considered as a solution of the problem of noise and reducing vibration in gear drives of machines and equipment [1]. The latest studies [2, 3] show that the gearing can ensure better wear resistance, and it has a larger loading capacity on other criteria related to contact stresses, i.e. pitting and scuffing. This advantage is due to the convex-concave contact of the active surfaces.

The teeth of the gearing are generated by sinusoidal basic rack which has different signs of curvature on the addendum and dedendum segments. The reference profile (Fig. 1, *a*) can be given in parametric form by the equation [1, 2]:

$$x_p = a \sin \lambda; y_p = \lambda/2, \quad (1)$$

where a – radius of sine generating circle (amplitude), λ – the parameter.

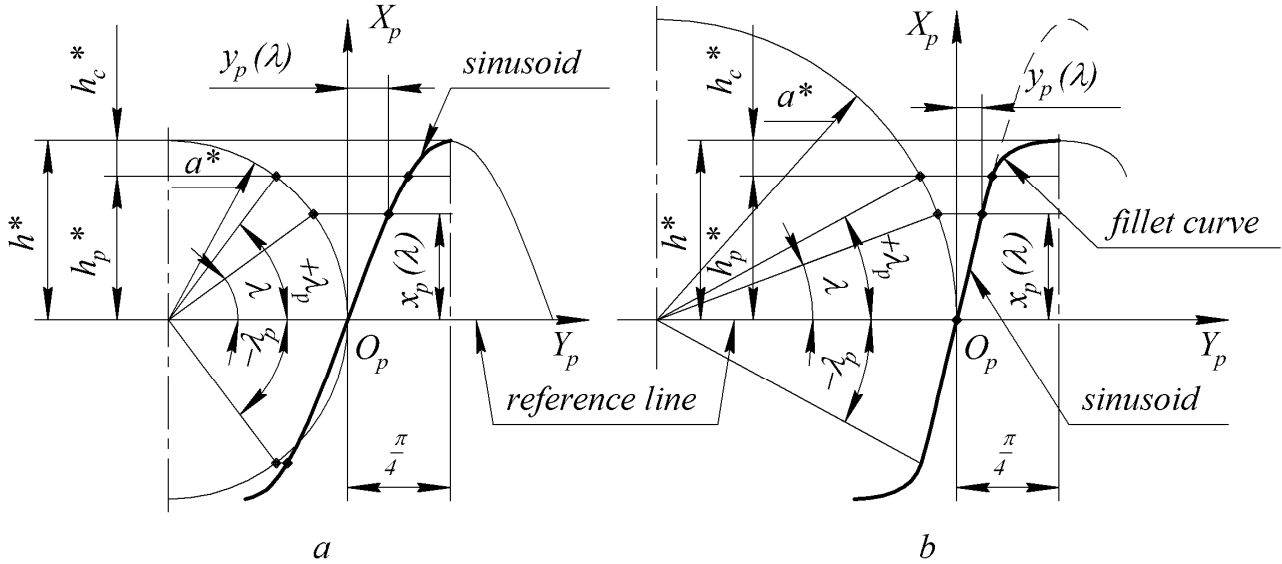


Fig. 1 – Reference profiles for generation of teeth of sinusoidal gears
a – with convex-concave contact by [1, 2], *b* – with convex-convex contact by [4]

In order to provide convex-concave teeth contact, the equality $a = h$ should be taken, where h is a half of a reference profile's height (Fig. 1). In this case the fillet segment (height of h_c) of reference profile, and its flanks (height of h_p) are outlined by the same curve of Eq. (1). The mentioned heights are shown on Fig. 1 with “*” sign. It means that they are related to module $m = 1$ mm. The convex-concave teeth contact provides decreasing of contact pressure theoretically. The real values of contact pressure may be much bigger due to the errors of gears' misalignment. It is known that gears with biconvex teeth flanks are less sensitive to the misalignment. Therefore, the reference profile of sinusoidal gears that provides convex-convex teeth contact needs to be developed. Generation of teeth by this reference profile will allow to improve the quality and manufacturability of sinusoidal gears at the assembly stage. According to [4], for these purposes the value of amplitude a should be increased. Obviously, at the increased amplitude the condition $a = h$ is not fulfilled. Hence, the fillet segment (height of h_c) of reference profile can be outlined by circle or any other smooth curve (Fig. 1b). Based on the [1], the equation for definition of contact type was obtained in the form:

$$1 - (2h_p^*)^2 / [1 + c^2 - (2h_p^*)^2] - 2h_p \cdot z_i / [1 + c^2 - (2h_p^*)^2]^2 = 0, \quad (2)$$

where z_i is the number of teeth of pinion ($i = 1$) and gear ($i = 2$); c is a dimensionless parameter that equals $c = 2a/m$.

The contact is convex-convex if there are no inflection points on teeth profiles where the condition of Eq. (2) is fulfilled. The verification of Eq. (2) condition for increased amplitudes was performed within the range of parameter $\lambda \in [-\lambda^*; +\lambda^*]$, where $\lambda^* = \arcsin(h_p/a)$. The minimal values of the amplitudes a^* (also related to module $m = 1$ mm) that provide convex-convex teeth contact were obtained at the range of profile height $h_p = (0,8-1,6)m$.

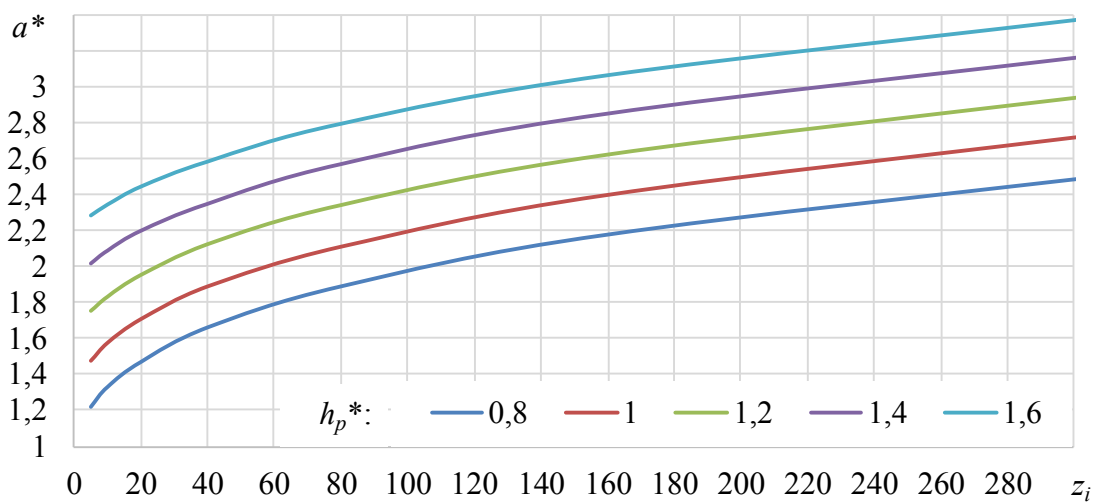


Fig. 2 – Diagrams for selecting the parameters of the sinusoidal initial profile

References

1. Anikin, Yu.V. Sinusoidal Gearing. The Fundamentals of Geometry and Kinematics / Yu.V. Anikin. – 1975. – 64 p.
2. Tkach, P.M. Comparison of sinusoidal and involute spur gears by meshing characteristics / P.M. Tkach, P.L. Nosko, O.V. Bashta et al. // Proc. of Odessa Polytechnic University. – Odesa, 2019. – № 1(57). – P. 41–51.
3. Sinusoidal Gears and Alternative Method of Tooth Generation / S.P. Radzevich, M. Storchak (eds.) // Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design. – Springer Cham, 2022.
4. Pat. for utility model of Ukraine № 20223 Reference profile for cylindrical gears. –2007.

Шейкін С.Є., Ростоцький І.Ю. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Погрелюк І.М., Лаврись С.М. Фізико-механічний
інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

ПРО ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРИ ТЕРТЯ «АЗОТОВАНИЙ ВТ6 / РЕ-UHMW»

В едопротезуванні суглобів на даний час широко застосовується пара тертя «метал-РЕ-UHMW». Її сегмент сягає 85% [1]. Однак подальший розвиток едопротезування потребує шукати нові рішення та матеріали для підвищення експлуатаційних характеристик протезів.

На теперішній час лабораторними і експериментальними дослідженнями встановлено, що з металів і сплавів з технічної та біологічної точок зору кращим матеріалом для виготовлення металевих компонентів медичних пар тертя є титанові сплави та сплав Со-Сг-Мо. З титанових сплавів з точки зору біосумісності найбільш підходить для виготовлення металевого компонента чистий титан. При цьому необхідно зазначити, що застосування титанових компонентів в парах тертя без модифікації робочої поверхні неможливо внаслідок підвищеної схильності до схоплювання практично з усіма матеріалами. До того ж він має низькі механічні характеристики. Результатом модифікації має стати оптимальне поєднання міцності та адгезійної інертності. Численні роботи вказують на те, що гранулематозне запалення з руйнуванням кісткової тканини навколо компонентів едопротеза частіше зустрічається у випадках застосування саме метал-полімерних едопротезів. Причиною цього є накопичення продуктів зносу РЕ-UHMW [2, 3]. У сучасних конструкціях найпоширенішою є головка едопротеза зі сплавом Со-Сг-Мо. Деякі виробники використовують в медичних парах тертя металеву компоненту з ВТ6 (GRADE 5) після модифікації робочої тертьової поверхні.

Вирішити проблему використання титанових сплавів в парах тертя можливо модифікацією поверхні тертя титанового компонента, результатом якої має стати оптимальне поєднання міцності та адгезійної інертності. Отримати таке поєднання можливо термодифузійним насиченням поверхневого шару азотом.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України та Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН Ук-

раїни проведено комплексні дослідження та отримано результати, що свідчать про те, що застосування комплексного впливу на робочу поверхню титанового компонента з BT1-0 (GRADE 2) холодного пластичного деформування та термодифузійного азотування дозволяє отримати функціональні характеристики пари тертя «азотований GRADE 2/PE-UHMW», вище, ніж пари «Co-Cr-Mo/PE-UHMW». Однак ці питання вирішені лише для сплаву BT1-0 [4–6]. Для інших титанових сплавів такі дослідження не проводились. Враховуючи широкий спектр застосування сплаву BT6 в ендопротезуванні, розробка технології модифікування його поверхневого робочого шару є актуальною задачею.

Дослідження функціональних характеристик пари тертя «азотований BT6/PE-UHMW» виконувалися на машині торцевого тертя за схемою «кільце-площина» [6] згідно ASTM F732-82. У процесі досліджень тензометричними динамометрами вимірювалися осьове навантаження і момент тертя. Підготовка поверхні зразків з BT6 (GRADE 5) була проведена згідно розробленого технологічного маршруту [6] та піддана наступній термодифузійній обробці.

Трибологічні дослідження дозволили визначити оптимальний режим модифікування робочої поверхні титанового компонента пари. Результати трибологічних випробувань показали, що модифікація титанового компонента BT6 дозволяє отримати експлуатаційні властивості пари, що перевищують характеристики пар «азотований BT1-0 (GRADE 2)/PE-UHMW», «кераміка ZrO_2 /PE-UHMW» та «Co-Cr-Mo/PE-UHMW» (рис.1). Для повнішого вивчення експлуатаційних властивостей пари тертя «азотований BT6/PE-UHMW» дослідження в цьому напрямку необхідно продовжити.

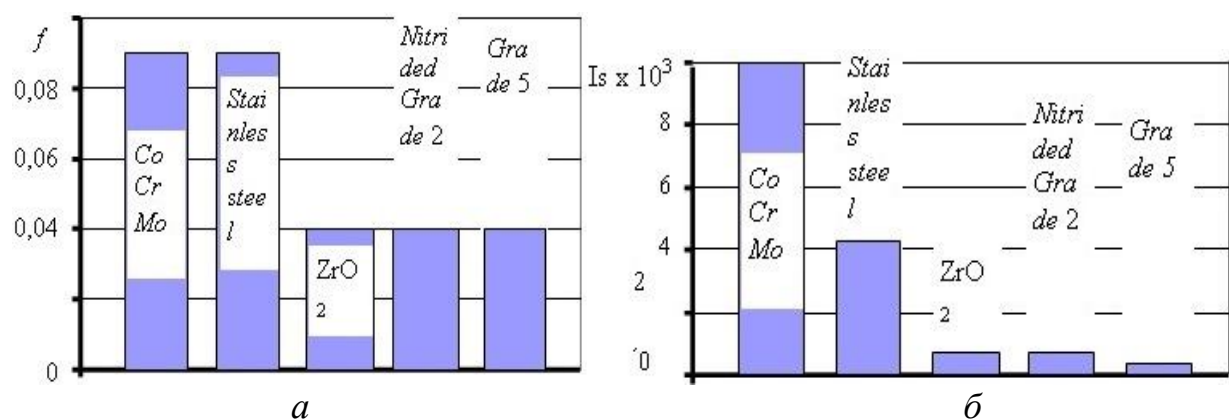


Рис. 1. Значення коефіцієнта тертя (а) та питомого зносу контртіла PE-UHMW (b) в різних медичних парах тертя

Література

1. Charnley J. Arthroplasty of the hip joint operation / J. Charnley // Lancet. – 1961. – № II. – Р. 54–56.
2. Пинчук, Л.С. Эндопротезирование суставов: технические и медико-биологические аспекты / Л.С. Пинчук, В.И. Николаев, Е.А. Цветкова. – Гомель : ИММС НАНБ, 2003. 300 с.
3. Эндопротезы суставов человека: материалы и технологии / под ред. Н.В. Новикова, О.А. Розенберга, Й. Гавлика. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 528 с.
4. Sheykin, Sergiy. Friction, wear, lubrication / Sergiy Sheykin, Irina Pohrelyuk, Ihor Rostotskyi et al. // J. Tribologia. – 2018. – № 6. – Р. 137–148
5. Титан в медичних парах тертя / під ред. В.Ю. Дьоміна, С. Є. Шейкіна. – К. : ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2019. – 146 с.
6. Sheikin, S.E. On the issue of determining the contact pressure in the articulation of the hip endoprosthesis Druk / S.E. Sheikin, A.V. Grushko, I.Yu. Rostotskyi //J. Friction and Wear. – 2012. – vol. 33, № 2. – Р. 160–167.

Антіпін Є.В., Зяхор І.В., Міленін О.С.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
НАН України, Київ, Україна

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

Одним із важливих факторів, що впливає на виникнення та інтенсивність розвитку поверхневих контактно-втомних пошкоджень залізничної колії є механічні властивості металу зварних стиків рейок. Нероз’ємне з’єднання рейок при виготовленні довгомірних рейкових плітей (200–800 м) у стаціонарних умовах, а також у польових умовах при їхньому укладанні в колію в Україні [1] та країнах ЄС переважно виконується контактним стиковим зварюванням оплавленням (КСЗО). Експлуатаційні показники залізничних рейок та їх зварних стиків є важливою складовою довговічності залізниць і регламентуються чинними вітчизняними і міжнародними стандартами, зокрема [2–4]. Провідні світові виробники залізни-

чних рейок постійно удосконалюють рейкові сталі з метою збільшення показників твердості, опору крихкому руйнуванню, зносостійкості, зокрема у головці рейки.

Забезпечення відповідності зварних стиків залізничних рейок вимогам європейських стандартів EN 14587-1:2018 (E) та EN 14587-2:2009 (E) обумовлює необхідність врахування енергетичних параметрів процесу КСЗО, які визначають термічні цикли при оплавленні та розподіл температур у зоні термічного впливу (ЗТВ) зварних рейок. До теперішнього часу не визначено надійного алгоритму забезпечення належної якості зварних з'єднань рейок при зміні технологічних параметрів КСЗО. Тому, на практиці технологія КСЗО оптимізується дослідним шляхом для наявної партії залізничних рейок і конкретної рейкозварювальної машини.

Мета роботи полягала у розрахунково-експериментальному визначенні термічних циклів КСЗО залізничних рейок в залежності від значення технологічних параметрів процесу зварювання і на цій основі – у розробці ефективної технології КСЗО рейок марок К76Ф, R350НТ.

Для цього досліджено процес КСЗО, реалізований на мобільних та стаціонарних рейкозварювальних машинах К1000 і К922 розробки Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Розроблено математичні моделі та відповідні засоби комп'ютерної симуляції кінетики температурних полів при КСЗО залізничних рейок. Використано чисельне розв'язання нестационарного рівняння теплопровідності поряд із комплексом необхідних лабораторних вимірювань впливу технологічних параметрів зварювання на температурні цикли в зварюваній конструкції. Це дозволило врахувати мультифізичні процеси оплавлення торців, визначити характерну теплову ефективність процесу та підтвердити належну точність розрахунків на рівні 8%.

На основі результатів чисельних досліджень нагрівання рейок типу Р65 (60Е1) при їх пульсуючому оплавленні визначено термічні цикли в залежності від значення енергетичних параметрів (електричної напруги та струму) та встановлено розподіл температур вздовж осі рейок в залежності від величини енерговкладення Q . На основі чисельного аналізу кінетики температурних полів при КСЗО рейок показано, що величину енерговкладення можна використовувати як інтегральну характеристику, яка враховує вплив усіх енергетичних параметрів процесу оплавлення. За допомогою розрахунково-експериментальних методів визначено діапазон енерговкла-

дення, що забезпечує формування якісних рейкових з'єднань відповідно до вимог європейських стандартів.

Розрахунковим шляхом встановлено залежність мінімального $H_{ЗТВ\min}$ та максимального $H_{ЗТВ\max}$ значень ширини ЗТВ зварного з'єднання від тривалості процесу оплавлення $t_{\text{опл}}$ і величини енерговкладення Q , а саме: при збільшенні $t_{\text{опл}}$ в діапазоні $t_{\text{опл}} = 50\text{--}140$ с і Q від 9 до 18 МДж значення $H_{ЗТВ\min}$ збільшується від 16 до 22 мм, а $H_{ЗТВ\max}$ – від 36 до 54 мм.

Розрахунково-експериментальним шляхом визначено залежність швидкості охолодження $W_{8/5}$ зварного з'єднання рейок в інтервалі температур $800\text{--}500^\circ\text{C}$ від тривалості процесу оплавлення $t_{\text{опл}}$ і величини енерговкладення Q при КСЗО. Показано, що максимальне значення швидкості охолодження у зварному з'єднанні досягається по лінії з'єднання і змінюється від $W_{8/5}=8,7$ до $W_{8/5}=2,4$ $^\circ\text{C}/\text{с}$ при збільшенні $T_{\text{опл}}$ і Q в діапазонах $T_{\text{опл}} = 50\text{--}140$ с і $Q = 9\text{--}18$ МДж.

Визначено мінімальне значення тривалості процесу оплавлення $t_{\text{опл}} = 55$ с і енерговкладення $Q_{\min} = 9,72$ МДж при КСЗО рейок типу Р65 (60Е1) марок К76Ф і R350НТ, при якому швидкість охолодження з'єднання в інтервалі температур $800\text{--}500^\circ\text{C}$ не перевищує $V_{8/5} = 7,0$ $^\circ\text{C}/\text{с}$ та забезпечується відсутність у зоні з'єднання бейніту, мартенситу і формується перлітна структура різної дисперсності (перліт, сорбіт, троостит).

Література

1. Kuchuk-Yatsenko, S. Technologies and equipment for flash-butt welding of rails: 60 years of continuous innovation / S. Kuchuk-Yatsenko // The Paton Welding J. – 2018. – 11–12. – P. 25–40.
2. Український науково-дослідний інститут металів «УкрНДІ-Мет». Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні вимоги ДСТУ 4344:2004. – К. : Держспоживстандарт України, 2004.
3. ДП «УкрНДНЦ». Залізничний транспорт - Колія - Рейки – Ч. 1 : Залізничні рейки Вігноле 46 кг/м та вище ДСТУ EN 13674-1 : 2018 (EN 1358).
4. Дніпропетровське НКТБ КГ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця». Рейки нові зварені для залізниць Технічні умови ТУ У 24.1-40075815-002 : 2016.

ЗМІСТ

<i>Аврамчук С.К., Волкогон В.М.</i> ТЕНДЕНЦІЇ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО СТВОРЕННЮ ЛЕГКИХ БРОНЬОВИХ МАТЕРІАЛІВ	3
<i>Анісімов В.М., Анісімов В.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОЇ ПОВЕРХНІ ЛІНІЙНИХ БЛОК-КОПОЛІУРЕТАНІВ ПРИ ТЕРТІ В УМОВАХ РІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА	7
<i>Анпілогова Т.В.</i> ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СТИБКА ДЕФОРМАЦІЇ І ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА РЕАЛІЗАЦІЇ ЯВИЩА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ПЛИННОСТІ МЕТАЛІВ	10
<i>Волошин Д.І., Лемеш Р.С., Кушніренко І.В.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ ЯК ЗНОСОСТІЙКОГО МАТЕРІАЛУ	12
<i>Волошина Л.В., Гарбуз О.С., Щербина О.О.</i> ДО ПИТАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ВИРОБАХ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ	14
<i>Воробйов Є.В.</i> ВНУТРІШНІЙ ТИСК ЗА ОХОЛОДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ СУДИНИ ЯК ЗАСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ В УМОВАХ ДВОВІСНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ І КРІОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУР	16
<i>Гришкевич О.Д., Гринюк С.І., Гришин В.С., Анісімов В.М.</i> ІОННО-ПЛАЗМОВЕ ЗМІЦНЕННЯ ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ	18
<i>Девін Л.М., Ричев С.В., Нечипоренко В.М., Грязев О.В., Скрипник А.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЬОВОЇ СИЛИ ТА ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ФОРМУВАННІ ОТВОРУ СВЕРДЛОМ ФОРСТНЕРА	21
<i>Дмитриченко М.Ф., Богданов І.М.</i> АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	24
<i>Клименко С.А., Копеїкіна М.Ю.</i> ОБРОБКА РІЗАННЯМ ДЕТАЛЕЙ ІЗ НАПЛАВЛЕНИМИ ТА НАПИЛЕНИМИ ПОКРИТТЯМИ	28

<i>Коваленко І.А.</i> АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЧАВУНІВ З УЩІЛЬНЕНИМ ГРАФІТОМ	31
<i>Комарова Г.Л., Федченко І.І., Нестерчук О.М.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ПОКРИТТІВ	33
<i>Кривошея А.В., Ткач П.М., Мельник В.Є., Позняк К.О.</i> КЕРУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ	37
<i>Лавріненко В.І., Островерх Є.В., Солод В.Ю., Проц Л.А.</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ РІВЕНЬ ТЕМПЕРАТУР В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ СТАЛІ Р6М5 ПРИ ШЛІФУВАННІ БЕЗ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУГАМИ З КНБ З РІЗНИМИ ЗВ'ЯЗУЮЧИМИ У ЇХ РІЗУЧОМУ ШАРІ	40
<i>Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Скрябін В.В., Петасюк Г.А., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В.</i> СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ЗАХИСНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗЕРНА ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ	43
<i>Логінова Ю.В.</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ШЛЯХОМ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ АБО ПОСЛУГ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ КОНСТРУКЦІЙ	47
<i>Мановіцький О.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Конєйкіна М.Ю.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ПЛОЩІ КОНТАКТНОЇ ДІЛЯНКИ ПО ЗАДНІЙ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ	49
<i>Манохін А.С., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О., Чумак А.О., Столбовий В.О.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ІЗ СВН З ПОКРИТТЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМ ВОРОНОГО	52
<i>Манохін А.С., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О., Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ РсVN-ІНСТРУМЕНТОМ	55
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І.</i> ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОРШНІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	58

<i>Рябченко С.В., Аргиров Я., Мечкарова Т.</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ НАПЛАВОК АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ	60
<i>Сахнюк І.О., Рудак Н.П.</i> ІНФРАСТРУКТУРА ЯКОСТІ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ УКЛАДЕННЯ УГОДИ АСАА	63
<i>Семковський К.В., Лавров О.С., Голякевич А.А., Котельчук О.С.</i> ПОРОШКОВИЙ ДРІТ НОВОГО ПОКОЛІННЯ МАРКИ ТМВ-8 ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ТА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	66
<i>Смоквина В.В., Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Тимошенко В.В., Барановська К.А.</i> ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ОБРОБОК ПОВЕРХНІ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ НИЗЬКОЇ МІЦНОСТІ НА ЇХ ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	69
<i>Сороченко В.Г., Сохань С.В., Сороченко Т.А.</i> ФІЗИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	72
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.</i> ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ КЕРАМІЧНИХ ШАРИКІВ ПІДШИПНИКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ	76
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.</i> ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ ШАРИКІВ З КРУГОВОЮ ПОДАЧЕЮ НА ЗНОШУВАННЯ АЛМАЗНО- АБРАЗИВНОГО КРУГА	80
<i>Тимофєєва Л.А., Козловська І.П., Ольховський В.В.</i> ВПЛИВ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЧАВУННИХ ВИРОБІВ	83
<i>Тимофєєв С.С., Колесник М.А., Дробишевський М.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	85
<i> Tkach P.M., Nosko P.L., <u>Kryvosheya A.V.</u>, Melnyk V.E., Revyakina O.O.</i> SINUSOIDAL GEARING WITH CONVEX-CONVEX CONTACT OF TEETH	87

Шейкін С.Є., Ростоцький І.Ю., Погрелюк І.М., Лаврись С.М. ПРО ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРИ ТЕРТЯ «АЗОТОВАНИЙ ВТ6 / РЕ-UHMW»	90
Антіпін Є.В., Зяхор І.В., Міленін О.С. РОЗРАХУНКОВО-експериментальне ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК	92

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

Матеріали 23-ї Міжнародної науково-технічної конференції,
20–22 червня 2023 р., Київ–Тернопіль

Мови конференції: українська, англійська

Комп'ютерна верстка
Копейкіна М.Ю.

Підписано 18.06.2023
Формат 60×84×1/16
Умч. вид. арк. 8,0.

Асоціація технологів-машинобудівників України
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2

ПРОГРАМА

23 Міжнародної науково-технічної конференції

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

20–22 червня 2023 р.

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Вступне слово

*директора Асоціації технологів-машинобудівників України,
чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, проф. Сергія КЛИМЕНКА*

1. Сахнюк І.О., Рудак Н.П. Технічний центр НАН України, Київ, Україна
ІНФРАСТРУКТУРА ЯКОСТІ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ УКЛАДЕННЯ УГОДИ АСАА

2. Клименко С.А., Копєйкіна М.Ю.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, Київ, Україна
ОБРОБКА РІЗАННЯМ ДЕТАЛЕЙ ІЗ НАПЛАВЛЕНИМИ ТА НАПИЛЕНИМИ
ПОКРИТТЯМИ

3. Рябченко С.В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Київ, Україна
Аргиров Я., Мечкарова Т. Технічний Університет Варни, Варна, Болгарія
ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ НАПЛАВОК АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ, ФІЗИКО-ХІМІЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

4. Аврамчук С.К., Волкогон В.М. Інститут проблем матеріалознавства ім.
І.М.Францевича НАН України, Київ, Україна
ТЕНДЕНЦІЇ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО СТВОРЕННЮ ЛЕГКИХ
БРОНЬОВИХ МАТЕРІАЛІВ

5. Анісімов В.М. Український державний університет науки і технологій,
Анісімов В.В. Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОЇ ПОВЕРХНІ ЛІНІЙНИХ БЛОК-
КОПОЛІУРЕТАНІВ ПРИ ТЕРТІ В УМОВАХ РІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА

6. Анпілогова Т.В.

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна
ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СТИБКА ДЕФОРМАЦІЇ І
ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА РЕАЛІЗАЦІЇ ЯВИЩА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУР-
НОЇ ПЕРЕРИВЧАСТОЇ ПЛИННОСТІ МЕТАЛІВ

**7. Смоквина В.В., Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Тимошенко В.В.,
Барановська К.А.**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ОБРОБОК ПОВЕРХНІ
ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ НИЗЬКОЇ МІЦНОСТІ НА ЇХ ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

8. Антіпін Є.В., Зяхор І.В., Міленін О.С.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна
РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ
КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ ЗАЛІЗНИЧНИХ
РЕЙОК

9. Воробйов Є.В.

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна
ВНУТРІШНІЙ ТИСК ЗА ОХОЛОДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ СУДИНИ ЯК
ЗАСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ В УМОВАХ ДВОВІСНОГО НАПРУЖЕНОГО
СТАНУ І КРІОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУР

10. Гришкевич О.Д., Гринюк С.І.

Інститут технічної механіки НАН України і Державного космічного агентства України
Гришин В.С., Анісімов В.М.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна
ІОННО-ПЛАЗМОВЕ ЗМІЦНЕННЯ ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОБОЧИХ
ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ

11. Девін Л.М., Ричев С.В., Нечипоренко В.М., Грязев О.В.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
Скрипник А.А.

НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЬОВОЇ СИЛИ ТА ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ФОРМУВАННІ
ОТВОРУ СВЕРДЛОМ ФОРСТНЕРА

12. Коваленко І.А.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЧАВУНІВ З УЩІЛЬНЕНЕМ
ГРАФІТОМ

13. Кривошея А.В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Ткач П.М. Інститут Електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Мельник В.Є. Державний науково-дослідний інститут МВС України
Позняк К.О.

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», Київ, Україна
КЕРУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ
ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ

14. Лавріненко В.І. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Островець Є.В. Національний технічний університет «ХПІ», Харків,
Солод В.Ю. Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське,
Проц Л.А. Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна
ПОРІВНЯЛЬНИЙ РІВЕНЬ ТЕМПЕРАТУР В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ СТАЛІ Р6М5
ПРИ ШЛІФУВАННІ БЕЗ ОХОЛОДЖЕННЯ КРУГАМИ З КНБ З РІЗНИМИ
ЗВ'ЯЗУЮЧИМИ У ЇХ РІЖУЧОМУ ШАРІ

15. Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Скрябін В.В., Петасюк Г.А. Інститут
надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В. Дніпровський державний технічний уні-
верситет, Кам'янське, Україна
СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ЗАХИСНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА
ЗЕРНА ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ

16. Логінова Ю.В. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна
ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ШЛЯХОМ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ АБО ПОСЛУГ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ
ВИРОБНИЦТВІ КОНСТРУКЦІЙ

17. Мановіцький О.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Копєйкіна М.Ю. Інститут
надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ПЛОЩІ КОНТАКТНОЇ ДІЛЯНКИ ПО ЗАДНІЙ
ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ

**18. Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О.,
Чумак А.О.** Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Столбовий В.О. ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут», Харків, Україна
МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ІЗ СВН З ПОКРИТТЯМ З
ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМ ВОРОНОГО

19. Манохін А.С., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun.
Center for Precision Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China
МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ РсVN-
ІНСТРУМЕНТОМ

20. Сороченко В.Г., Сохань С.В., Сороченко Т.А.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
ФІЗИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

21. Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
ДО ПИТАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ КЕРАМІЧНИХ ШАРИКІВ ПІДШИПНИКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

22. Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ ШАРИКІВ З КРУГОВОЮ ПОДАЧЕЮ НА ЗНОШУВАННЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО КРУГА

23. Tkach P.M. E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,

Nosko P.L. National Aviation University

Kryvosheya A.V. V. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine

Melnyk V.E. State Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Kyiv

Revyakina O.O. Luhans'k Taras Shevchenko National University, Poltava, Ukraine
SINUSOIDAL GEARING WITH CONVEX-CONVEX CONTACT OF TEETH

ПИТАННЯ ТРИБОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ

24. Волошин Д.І., Лемеш Р.С., Кушніренко І.В.

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна
ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ ЯК ЗНОСОСТІЙКОГО МАТЕРІАЛУ

25. Волошина Л.В., Гарбуз О.С., Щербина О.О.

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна
ДО ПИТАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ВИРОБАХ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

26. Дмитриченко М.Ф., Богданов І.М.

Національний транспортний університет, Київ, Україна
АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

27. Комарова Г.Л., Федченко І.І., Нестерчук О.М.

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ПОКРИТТІВ

28. Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І.

Національний транспортний університет, Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОРШНІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

29. Семковський К.В., Лавров О.С., Голякевич А.А.

ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК, Київ, Дніпро,

Котельчук О.С.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна

ПОРОШКОВИЙ ДРІТ НОВОГО ПОКОЛІННЯ МАРКИ ТМВ-8 ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ТА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ
СТАЛЕЙ

30. Тимофєєва Л.А., Козловська І.П., Ольховський В.В.

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ВПЛИВ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЧАВУННИХ
ВИРОБІВ

31. Тимофєєв С.С., Колесник М.А., Дробішевський М.В.

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРЯННЯ

32. Шейкін С.Є., Ростоцький І.Ю.

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

Погрелюк І.М., Лаврись С.М.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

ПРО ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРИ ТЕРТЯ «АЗОТОВАНИЙ ВТ6 /
РЕ-УНМВ»