



Асоціація технологів-машинобудівників України
Академія технологічних наук України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України

Український державний університет залізничного
транспорту
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»

ПАТ «Ільницький завод механічного зварювального
обладнання»

Машинобудівний факультет Белградського університету
Грузинський технічний університет

СУЧАСНІ ПИТАННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ В ПРОМИСЛОВОСТІ І НА ТРАНСПОРТІ

Матеріали

23-го Міжнародного науково-технічного семінару

15–16 березня 2023 р.

Київ – 2023

Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали 23-го Міжнародного науково-технічного семінару, 15–16 березня 2023 р. – Київ: АТМ України, 2023. – 149 с.

Тематика семінару:

- Сучасні тенденції розвитку технології машинобудування
- Підготовка виробництва як основа створення конкурентоспроможної продукції
- Стан і перспективи розвитку заготівельного виробництва
- Удосконалення технологій механічної та фізико-технічної обробки в машино- і приладобудуванні
- Ущільнюючі технології та покриття
- Сучасні технології та обладнання в складальному і зварювальному виробництві
- Ремонт і відновлення деталей машин у промисловості і на транспорті, обладнання для виготовлення, ремонту і відновлення
- Стандартизація, сертифікація, технологічне управління якістю та експлуатаційними властивостями виробів машино- та приладобудування
- Впровадження стандартів ДСТУ ISO 9001 у промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної влади
- Метрологія, технічний контроль та діагностика в машино- і приладобудуванні
- Екологічні проблеми та їх вирішення у сучасному виробництві

Матеріали представлені в авторській редакції

© АТМ України,
2023 р.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕКСТУРИ МЕХАНІЧНО ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ

Якість та функціональні властивості деталей та вузлів машин залежать від багатьох факторів, серед яких особливе місце займає мікрогеометрія поверхонь. Це пояснює значну увагу до формування та знаходження кількісних характеристик станів механічно оброблених поверхонь деталей на мікрорівні.

Структура механічної поверхні в Україні регламентується ДСТУ 2413-94 [1], який установлює терміни та визначення понять, що відносяться до шорсткості поверхні, та ДСТУ ISO 4287:2012 [2], який встановлює терміни, визначення та параметри структури (шорсткість, хвилястість і первинність профілю). Необхідно вказати, що згадані параметри визначаються за допомогою профільного методу, згідно якого аналізується лінійна (одновимірна) характеристика поверхні. При цьому для стандартизації шорсткості поверхні за основну прийнята система відліку, в якій як базова лінія використовується середня лінія профілю.

ДСТУ ISO 4287:2012 [2] визначено шість параметрів оцінки шорсткості поверхні за профільним методом: висотні (R_a – середнє арифметичне відхилення профілю, R_z – висота нерівностей профілю по 10 точках, R_{\max} – найбільша висота профілю), крокові (S – середній крок місцевих виступів профілю, S_m – середній крок нерівностей профілю по середній лінії), висотно-кроковий (tp – відносна опорна довжина профілю, де p – значення рівня перерізу профілю). Профільні методи вимірювання і оцінки мікрогеометрії поверхні характеризуються суттєвими обмеженнями, оскільки не беруть до уваги форму мікроелементів, їх відносне розташування тощо.

В той же час для ефективного використання та наступного розвитку сучасних технологій формування поверхневого профілю виробів, використання лише лінійних характеристик поверхні, є недостатнім. Безумовно, більш інформативними є методи описання просторової мікроструктури поверхні, які зумовлюють її особливі фізичні властивості, а отже і функціональні властивості виробів. Це питання частково вирішується в ISO 25178-2:2021 [3], де параметри текстури поверхні визначаються за допомогою аналізу її поверхне-

вих (площинних) характеристик. Варто відмітити, що профіль, отриманий із тривимірної структури поверхні не тотожний профілю, отриманому за допомогою профільних методів, оскільки мають місце тривимірна математична фільтрація або фільтрація профілю, яка перпендикулярна до напрямку нерівностей профілю.

Це зумовлює необхідність ширшого застосування ISO 25178-2:2021, як для наукових досліджень, так і в умовах сучасних виробництв. ISO 25178-2:2021 встановлює наступні параметри поля: параметри висоти; просторові параметри; гібридні параметри; функції і пов'язані з ними параметри та ін. В Україні досі не було прийнято відповідного ДСТУ, що, безумовно, стримує ширше застосування такого підходу і негативно впливає на якість виробів різних галузей промисловості та результати наукових досліджень.

Одним з просторових методів аналізу поверхонь виробів на мікрорівні є фрактальний аналіз, в основу котрого покладені поняття фрактальної симетрії та самоподібності [4]. В ISO 25178-2:2021 введені структурні функції, які дозволяють оцінити розмірність фрактальної поверхні згідно визначень Хаусдорфа–Безиковича або Мінковського–Булїганда. Отже даний стандарт використовує розмірності фрактального, а саме монофрактального аналізу. Однак для досягнення повного математичного опису складного профілю поверхні використання лише однієї фрактальної характеристики (розмірності Хаусдорфа) недостатньо. Цю проблему можна вирішити переходом до мультифрактального аналізу (МФА).

На сьогодні відомо про деякі роботи, присвячені розвитку та застосуванню МФА для описання поверхонь деталей після лезової обробки. У попередніх роботах авторів [5, 6] була показана перспектива застосування фрактального та мультифрактального аналізу для описання плоских поверхонь зразків зі сталі та алюмінієвого сплаву, сформованих торцевим фрезеруванням. Разом з тим, аналіз літератури свідчить про недостатність ґрунтовних та масштабних робіт в цьому напрямку.

МФА дозволяє описувати і аналізувати більш складні види фрактальної симетрії поверхні за допомогою набору показників. Найбільш інформативними серед них, на нашу думку, є узагальнені розмірності Реньї (хаусдорфова D_0 , інформаційна D_1 , кореляційна D_2 розмірності) та параметр порушення фрактальної симетрії Δ . Принципово важливою є можливість застосування мультифрактальних спектрів механічно оброблених поверхонь для інтерпретації фізичних явищ, які

зумовлюють формування текстури поверхні при конкретних умовах різання та функціональні властивості виробів.

Авторами на прикладі аналізу стану поверхні зразків із сталі 35 та алюмінієвого сплаву Д16Т, сформованих торцевим фрезеруванням, доводиться можливість описувати їх просторовий мікрорельєф параметрами мультифрактального спектру. Цей аналіз виконується на основі розробленого математичного та програмного забезпечення. Застосування розроблених програм дозволило, як отримати кількісні характеристики оброблених поверхонь, так і знайти їх взаємозв'язок з режимами різання.

Отримані результати МФА для опису текстури механічно оброблених поверхонь доводять перспективу застосування просторових характеристик складного фрактального рельєфу реальної механічної поверхні. Такі дані можуть бути корисними для виявлення перспектив застосування мультифрактальних параметрів поверхонь як у сучасних стандартах та технічних умовах, так і для подальшого розвитку фізичних уявлень про вплив текстури поверхонь виробів на їх функціональні властивості.

Література

1. ДСТУ 2413-94. Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.
2. ДСТУ ISO 4287:2012. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури.
3. ISO 25178-2:2021. Geometrical product specifications (GPS). – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.
4. Falconer, K.J. Fractal geometry mathematical foundation and application / K.J. Falconer. – Wiley, New York, 1990.
5. Moskvina, P. Special features in the application of fractal analysis for examining the surface microrelief formed at face milling / P. Moskvina, N. Balytska, P. Melnychuk et al. // EEJET. – 2017. – 2(1–85). – P. 9–15.
6. Москвін, П.П. Мультифрактальні параметри поверхневого мікрорельєфу, сформованого торцевим фрезеруванням / П.П. Москвін, Н.О. Балицька, В.Б. Крижанівський, П.П. Мельничук // Інженерія поверхні та реновація виробів : мат. 22-ї Міжнарод. наук.-техн. конф., 15–16 червня 2022 року. – К. : АТМ України, 2022. – С. 90–93.

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕНОГО ПКНБ, НА ВЕРСТАТІ ЧПК

Створення сучасних технологій веде до розвитку якісного підвищення ефективності промислового виробництва. Всі технології мають свої переваги та затребувані в металообробці, але в даний момент жодна з них не може бути повноцінною та економічно виправданою альтернативою обробці металу різанням. Незважаючи на те, що вже накопичено багатий досвід твердого точіння, як одного з популярних методів ріжучої обробки металів, багатьом інструментальним компаніям вдалося досягти якісного підвищення її ефективності та продуктивності за рахунок використання пластин спеціальної геометрії з великим радіусом та застосування багатофункціональних систем з програмним управлінням інструменту.

Аналіз сучасного промислового попиту показує, що найбільш ефективними різальними інструментами, що забезпечують обробку виробів з загартованих сталей та композиційних матеріалів (твердість 45–60 HRC) при швидкостях різання до 3,0 м/с із заданою якістю обробленої поверхні є інструменти, оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) [1]. Процес різання такими інструментами характеризується високими температурами та супроводжується протіканням складних механо-хімічних процесів на контактних поверхнях, що істотно впливає на якість обробленої поверхні, продуктивність обробки та стійкість різального інструменту. Збільшення в промисловості долі використання важкооброблюваних сталей та сплавів, а також відносно висока вартість інструментів обумовлюють актуальність проведення досліджень, направлених на підвищення продуктивності та якості лезової обробки інструментами із ПКНБ.

Створення інструментів з локалізованою системою управління, призначеною для повного або часткового усунення похибки обробки, що виникає через пружну деформацію технологічної оброблювальної системи, яка дозволить простою зміною координат руху інструменту при повному використанні периметра криволінійної ріжучої кромки забезпечити необхідну якість геометричної точності деталі з високою продуктивністю токарної обробки.

Метою цієї роботи є підвищення продуктивності та якості поверхні при точінні виробів із загартованої сталі і композиційних сплавів інструментами із ПКНБ за рахунок застосування на робочих ділянках інструменту криволінійної ріжучої кромки та системі його автоматичного керування.

Дослідження закономірностей процесу різання проводилось при точінні загартованої сталі ШХ15 (60–62 HRC) прохідним різцем з механічним кріпленням різальних пластин RNMN 090400T (ТУ2-037-636-89) на токарному верстаті с ЧПК. Інструменти оснащувалися різальними пластинами із ПКНБ марки «борсиніт» виробництва ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України (36–40 ГПа). Параметри обробки режиму були наступними: швидкість різання в діапазонах: $V = 2,5–3,0$ м/с, подача на оберт деталі $S = 0,2–0,5$ мм/об, глибина різання $t = 0,1–0,2$ мм. Обробку проводили за допомогою охолодження МОТС. Експерименти показали, що використання МОТС під час точіння деталей дозволяє обробляти з більш високою швидкістю різання при забезпеченні шорсткості обробленої поверхні $Ra 0,15–0,25$. Великий радіус ріжучої кромки забезпечує найкращу якість поверхні, оскільки існує пряма залежність між розміром радіуса ріжучої пластини та отриманою якістю поверхні.

Токарна обробка на верстаті ЧПУ з використанням осей, що одночасно переміщаються, дозволяє застосовувати ріжучий інструмент зі спеціальною геометрією пластини у вигляді криволінійного профілю (наприклад, кола, параболи, трикутника Рело та ін.) для обробки циліндричної або фасонної поверхні деталі. В результаті скорочується час обробки, мінімізуються витрати на інструмент та забезпечується висока якість поверхні. Токарна обробка виконується в 1,5 рази швидше, оскільки повний процес обробки тепер можливий лише з одним типом пластини, що робить багато змін інструменту зайвим.

Література

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. – Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – 316 с.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Підвищення довговічності та надійності деталей машин і механізмів, що працюють в умовах тертя і зношування, забезпечується: підбором пари тертя з мінімальним коефіцієнтом тертя, збільшенням твердості однієї або обох спряжених деталей, створенням на поверхні спеціальних захисних шарів з необхідними структурою і властивостями тощо. З цієї точки зору необхідно більш детально розглядати формування поверхневого шару триботехнічного призначення.

Найповнішу оцінку властивостей поверхневого шару, стосовно конкретних умов роботи пари тертя, дають експлуатаційні випробування. Отримання характеристик експлуатаційних випробувань являє собою тривалий процес. До недоліків цих випробувань належить їх висока вартість, складність вимірювань і необхідність великої кількості спостережень.

Тому для виявлення тенденцій впливу складу і структури поверхневого шару на тертя можуть використовуватися лабораторні випробування.

Під час лабораторних досліджень можна отримувати порівняльні виробничі характеристики матеріалів покриття на зношування в умовах, що імітують роботу деталей в експлуатації, до яких належать тиск, швидкість, температура, вид і характер тертя. Для проведення лабораторних випробувань можуть бути використані машини тертя типу СМЦ і М-22М.

Для випробувань було обрано контр тіла діаметром 40 мм і товщиною 12 мм, і зразки прямолінійної форми 16 мм з площею робочої поверхні 0,5 см². На машинах тертя важко зафіксувати момент настання задиру за станом поверхні тертя, тому за характеристику протизадирних властивостей поверхневих шарів було прийнято навантаження, за якого з'являються задири і відбувається різке зростання величини моменту тертя. Критерієм зносостійкості слугувала втрата ваги випробуваних зразків. Після кожного випробування визначали масовий знос контр тіла зразків зважуванням на аналітичних вагах з точністю до . Коефіцієнт тертя розраховували

за формулою, згідно з якою фіксували завантаження, за якого відбувається зміна моменту тертя. Відтворюваність експериментів перевіряли за критерієм Кохрена. Під час розроблення нового напрямку в галузі хіміко-термічної обробки поверхні залізобуглецевих сплавів за базовий метод обробки було взято процес парогазового насичення в атмосфері перегрітої водяної пари, тому порівняння запропонованого напрямку обробки проводили здебільшого з паротермічним оксидуванням залізобуглецевих сплавів, іншими традиційними методами поверхневого зміцнення.

Перевіряється припрацьовуваність, задиростійкість, зносостійкість, визначалися значення коефіцієнта тертя.

Результати дослідження застосування хіміко-термічної обробки з використанням насичувального середовища перегрітої пари водного розчину солей, що має у своєму складі такі елементи як сірка, молібден, кисень, фосфор, дали змогу зробити висновок про таке:

- у результаті застосування даної технології обробки, зменшилося значення коефіцієнта тертя оксидного шару заліза;
- збільшилася задиростійкість шару покриття, а як результат підвищилися експлуатаційні властивості деталей і вузлів машин і механізмів, що працюють в умовах тертя.

Отримані дані дають підставу для використання запропонованого методу зміцнення в процесі відновлення працездатності деталей і вузлів машин і механізмів, що працюють в умовах тертя.

Волошин Д.І., Мустіцов І. М., Роценко О.В.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЗГОДЖЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЯКОСТІ ІЗ ЗАГАЛЬНИМ УПРАВЛІННЯМ ПІДПРИЄМСТВОМ

Необхідною умовою забезпечення ефективності управління витратами в системі якості є наявність економічних інструментів, що забезпечують вимірювання витрат, пов'язаних з управлінням, та ефектів управління. Управління процесами і властивими їм невідповідностями може здійснюватися безпосередньо через загальну

систему управління підприємством і створювану на підприємстві систему якості.

Для ефективного управління якістю на підприємстві необхідне створення спеціального економічного механізму: системи управління витратами, пов'язаними з якістю.

Система має забезпечувати щодо цих витрат виконання всіх функцій управління, що перебувають у межах повноважень системи якості як суб'єкта управління, включно з обліком, аналізом, проведенням керуючих впливів. Як основний методичний підхід до управління витратами, пов'язаними з якістю, запропоновано фінансовий підхід, що дає змогу здійснити комплексне розв'язання завдань управління, включно з поточною та інвестиційну діяльність СЯ.

Структурно, система управління витратами повинна включати організаційне, інформаційне та методичне забезпечення.

Розроблена методика оцінки ефективності СЯ у сфері управління витратами включає 3 етапи аналізу: стратегічний, оперативний статичний і оперативний динамічний.

Стратегічний аналіз ефективності проводять на етапі прийняття рішення про доцільність впровадження на підприємстві спеціалізованої підсистеми управління якістю. Цей аналіз розглядає вплив діяльності у сфері якості в стратегічному аспекті та зачіпає всі фактори формування фінансових результатів, включно з витратами і виручкою підприємства.

Оперативний статичний аналіз є важливим елементом функції контролю СЯ. Елемент статичності цього рівня аналізу полягає в тому, що предметом оцінки є ефективність функціонування СЯ в конкретний момент (період) часу без розгляду ефективності можливих керуючих впливів, здатних змінити параметри функціонування СЯ. Результатом аналізу є констатація факту статичної ефективності СЯ в певний момент часу або її неефективності з виявленням області витрат, що вимагають здійснення керуючих впливів і формулювання альтернативних варіантів керуючих впливів на якісному рівні.

Оперативний динамічний аналіз передбачає опрацювання альтернативних варіантів керівних впливів, оцінку їх ефективності та побудову оптимальної програми керівних впливів і містить три етапи:

- оцінку керівних впливів відповідно до індивідуального критерію ефективності;

- оптимізацію програми керівних впливів відповідно до внутрішніх критеріїв ефективності СЯ;
- оптимізацію програми керівних впливів відповідно до загально-системних критеріїв ефективності.

Оптимізація програми управлінських впливів з погляду внутрішніх критеріїв ефективності СЯ полягає у формуванні набору альтернатив, що не виключають одна одну, які забезпечують максимізацію чистого наведеного ефекту реалізації заходів. При цьому не враховуються обмеження ліквідності (обсяги вільних ресурсів підприємства) і загальносистемні альтернативи використання ресурсів. Ці припущення робляться внаслідок того, що СЯ не контролює фінансові потоки підприємства, планування ліквідності та здійснення інвестиційної активності здійснюється на загальносистемному рівні.

Оптимізація програми управлінських впливів відповідно до загальносистемних критеріїв ефективності забезпечує врахування загальносистемних альтернатив вкладень і обмеження щодо ліквідності програми. Оптимізація програми керуючих впливів здійснюється на основі оригінальної моделі синхронного фінансового планування. Реалізація описаних процедур аналізу ефективності забезпечує узгодження діяльності у сфері якості із загальним управлінням підприємством і досягнення мети максимізації оперативного економічного ефекту у сфері якості.

Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А. Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

СУЧАСНЕ ВИРОБНИЦТВО ПРОДУКЦІЇ

В умовах ринкової економіки і глобалізації головними проблемами є якість та конкурентоспроможність продукції та ефективне виробництво, де вона виготовляється. Це складна багатопланова проблема, залежна від багатьох чинників. Підвищення ефективності виробництва неможливе без знання його суті та сучасних особливостей. Випуск якісної та конкурентоспроможної продукції включає широкий круг проблем від проектування продукції, вибору необхідних дешевих, але якісних матеріалів і сировини, необхідної

дешевої енергії, їх гарантованого постачання, технології виготовлення продукції, до створення потрібної матеріально-технічної бази виробництва, забезпечення мінімальних витрат виготовлення та достатньої кваліфікації виробничого персоналу, організації виробничих процесів, постачання та збуту продукції.

Об'єктивна необхідність підвищення рівня виробництва полягає в його здешевленні при забезпеченні якості та конкурентоспроможності продукції, що випускається. Ця проблема на виробництві вирішується в тісному взаємозв'язку з іншими загальними функціями підприємства, такими як маркетинг, інженерний супровід, кваліфікація персоналу і тому подібне. Проблема по своїй суті в першу чергу є технічно-організаційною та фінансовою, яка повинна вирішуватися інженерними методами. Чітко визначається схема раціональних вирішень проблем основ сучасного виробництва – вживання економного підприємництва, ефективного виробництва продукції за різних умов випуску, організації, технологічних процесів виготовлення, інновацій та інвестицій, економіки, організації впровадження вітчизняного досвіду підприємств ВПК, міжнародного досвіду та багатьох інших.

При удосконаленні виробництва на перше місце повинне висуватися впровадження бережливого виробництва (*Lean Production*), яке забезпечує виготовлення якісної та конкурентної продукції при мінімальних витратах. Сьогодні бережливе виробництво широко застосовуються на Заході та Сході, а в Україні використовується лише окремими компаніями, що свідчить про байдужість до нововведень і нерозуміння їх суті. Це укладається в цілісну комплексну систему: якість продукції – її конкурентоспроможність – мінімальна витратність – сучасне ефективне виробництво. Проблема витратності та забезпечення високої якості продукції вирішується в тісному зв'язку з іншими функціями підприємства та ринку. Передбачається постійний супровід роботи підприємства інжинірингом і економінгом, що приводить до підвищення ефективності виробництва і забезпечення зростання продуктивності праці.

При ринковій економіці виготовлення продукції виконується не централізовано, а по заявках ринку. Тому концепція виробництва полягає в тому, що покупці вважають за краще придбання якісної продукції завдяки широкій доступності та низьким цінам. Кращою формою виготовлення якісної та конкурентної продукції є підприємство, як особливий тип господарювання.

Продукція повинна виготовлятися по спеціальним процесам, наприклад, CALS-технологіям. Управління виробництвом має представляти реалізацію цілого набору планових, облікових і управлінських завдань. Комп'ютеризація виробництва забезпечує планування та облік практично всіх завдань. CALS-технології – це безперервна інформаційна підтримка життєвого циклу продукції на всіх її стадіях при використанні єдиного інформаційного простору. До основних компонентів CALS-технологій належать системи і засоби: CAD/CAM/CAE – системи, засоби реалізації технології паралельного проектування в режимі групового використання даних, засоби управління проектними і інженерними даними, методики візуалізації та розробки документації, засоби обміну даними і стандартні інтерфейси для спеціалізованих систем, засоби розробки прикладного програмного забезпечення, методики аналізу процесів підприємства в проектно-технологічній, виробничій та управлінській сферах.

Відоме нове виготовлення продукції, засноване на використанні пошарового створення за допомогою 3D-сканерів і 3D-принтерів. Відоме використання 3D-принтерів в архітектурі, машинобудуванні, медицині, харчовій, взуттєвій та швацькій промисловостях і багатьох інших галузях.

Відомий великий досвід передових зарубіжних країн Японії, США, Європи, який має різні відмінності, але може застосовуватися в промисловості України. На жаль, його використання незначне, що пояснюється цілим рядом причин, головна з яких – нерозуміння їх суті, байдужість і бажання миттєвого збагачення за будь-яку ціну.

Всі технологічні процеси представляються у формі стандартної технологічної документації: маршрутної та операційної карт, карт ескізів, контрольних карт, відомостей технологічного оснащення, що містять опис процесу з вказанням устаткування, оснащення, витрат часу, опису технологічних операцій з зазначенням переходів, режимів виготовлення тощо.

Суттєво зменшити витрати виробництва можна також застосуванням інтелектуальних систем прийняття рішень. Такі рішення особливо доцільні при виготовленні продукції за нечітких умов, коли застосування традиційних засобів вважається неефективним. У загальному в інтелектуальну підтримку прийняття рішень входять: аналіз і синтез необхідної інформації, методи ідентифікації побудови нечіткої системи, генерування її нечіткої бази за допомогою штучних засобів, методи і алгоритми підтримки прийняття виробничих рішень, інтерактивний алгоритм вирішення багатокрите-

ріальних завдань оптимізації з використанням генетичних алгоритмів, розробка пакета прикладних програм реалізації інтелектуальної системи прийняття рішення та багато іншого.

Системний підхід дозволяє виділити і описати чотири блоки: формування якості продукції, її конкурентоспроможності, супроводжуваних виробничих витрат, забезпечуючого сучасного виробництва, що дозволяють намітити основи маловитратного виробництва, вирішуваних як проблеми якості, так і конкурентоспроможності продукції, що випускається. Вперше вказані причини негативного впливу на якість, конкурентоспроможність і виробництво законодавства, дій державних і регіональних властей, бізнесу, взагалі доквілля.

Даниленко Ю.А. Інститут сцинтиляційних матеріалів
НАН України, Харків, Україна

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ТИПАМИ ІННОВАЦІЙ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЄЮ

Питання «коли стандартизувати нову ідею?» повинно бути неодмінною частиною планування і розроблення продукції.

Представлений підхід [1] встановлює взаємозв'язок між типами інновацій, винахідницьким рівнем та потребою у нормуванні параметрів та характеристик інноваційної продукції. Він дозволяє оцінити необхідність розробки нормативних документів для створеної інноваційної продукції.

Представлено 5 основних типів інновацій [2], де кожному типу відповідає свій винахідницький рівень. Так радикальні інновації сприяють появі нових типів продукції, які ще не мають аналогів. Наприклад, Олександр Белл запатентував свій перший телефонний апарат більш ніж 140 років тому.

Трансформаційні зміни – це інновації при яких відбуваються значні відмінності принципу дії нового об'єкту вже відомого призначення. Для прикладу, можливо привести появу мобільних телефонів. Для нормування характеристик мобільних телефонів потрібні нові стандарти.

Наступний тип інновацій – інновації, що поліпшують продуктивність, при яких продукція має суттєві відмінності принципу дії. Наприклад, це поява телефону – смартфона, який вже має функції не

тільки мобільного пристрою, але вміщає деякі функції персонального комп'ютера. У цьому випадку можуть бути потрібні нові стандарти, але в наявності вже є стандарти на мобільні телефони, характеристики яких вже нормовані, та які можливо використати для підтвердження характеристик подібної продукції. Але поява нових функцій буде сприяти появі нових стандартів.

Останні два типу інновацій, це – поступові, які відрізняються незначною кількістю відмінних ознак від прототипу. Як приклад можливо навести нові версії смартфона. Та псевдоіновації, де відмінності проходять на рівні окремих елементів та ці об'єкти мало відрізняються від тих, що пропонує ринок. Наприклад, це поліпшена камера, або інші не суттєві функції телефону. Для цих інновацій існують сучасні стандарти, відносно яких проводять нормування характеристик цієї продукції.

Відомо [1], що нормування характеристик може включати три різні підходи, а саме: розробку національних стандартів, гармонізацію міжнародних та розробку міжнародних стандартів.

Перший підхід – розробка національних стандартів є занадто кошторисним для українських підприємств. На сьогодні ця проблема може вирішуватися лише об'єднанням підприємств однієї галузі для розробки таких стандартів, які потрібні галузі на відповідний час. Це для таких галузей, як будівельна галузь. Але існують галузі, такі як техніка, яка вміщає одиничні підприємства в Україні. В цьому випадку розробка серії національних стандартів є дуже вартісною для одного підприємства. Також при цьому підході не враховуються всі сучасні світові вимоги до продукції, що може призводити до того, що підприємства починають безнадійно відставати від світових виробників, та становиться неконкурентоспроможними.

Другий – європейські та міжнародні нормативні документи приймаються в Україні, як національні стандарти України методом підтвердження. Це найдешевший спосіб, який не потребує від українських підприємств занадто великих зусиль, а лише коштів на переклад цих стандартів. Але з іншого боку, в такому випадку підприємства будуть працювати лише за правилами, які встановила світова спільнота. Відомо, що ці правила можуть відрізнятися від чинних українських правил та норм.

Третій підхід до стандартизації [2] це участь у міжнародній стандартизації, що:

- запобігає появі стандартів, що суперечать власним інтересам українських компаній;
- запобігає появі суперечливих стандартів для української промисловості, тобто розв'язує галузеві технічні проблеми;
- надає можливість слідкувати за технічними знаннями інших компаній, тобто дає вихід за межу непередбачених знань через нові знання, отриманні під час неофіційного обговорення на засіданнях, а значить дає перевагу над конкурентами;
- надає можливість відкриття нових ринків постачальників та покупців;
- сприяє сумісності та взаємозамінності з іншими виробниками компонентів частин продукції.

Участь у міжнародній стандартизації найбільш важлива для малих підприємств, тому, що їм приходится проявляти більшу активність на ринку, використовуючи свою гнучкість і здатність до швидкої переорієнтації.

Література

1. Даниленко, Ю.А. Уніфікація параметрів сцинтиляційної техніки з урахуванням інноваційного розвитку : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю.А. Даниленко. – Харків: Укр.інж.-пед. акад, 2019. – 24 с.
2. Danylenko, Yu.A. Characteristics and classification of innovation and innovation process / Yu.A. Danylenko // Sci. innov. – 2018. – 14(3). – P.14–26.

Девін Л.М., Беженар М.П., Нечипоренко В.М.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ЙМОВІРНІСТЬ РУЙНУВАННЯ РІЗЦІВ З КНБ ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

Полікристалічні надтверді матеріали інструментального призначення на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) мають високу твердість, термостійкість, теплопровідність і більшу хімічну інертність до залізовуглецевих сплавів, ніж алмазні полікристали. Такі

властивості ПКНБ, особливо групи ВН (з високим вмістом КНБ) зумовлюють їх ефективне застосування при обробці загартованих сталей, де вони ефективні [1, 2].

Високі швидкості різання призводять до додаткових коливань шпинделя станка, що при токарній обробці сприяє появі в зоні різання вібрацій і коливання механічних напруг в різальному клині, які в свою чергу призводять до прискореного механічного (абразивного) зносу або навіть до руйнування вершини різця [2, 3]. При цьому різальна пластина зазнає значних динамічних навантажень, які також потрібно враховувати при оцінці ймовірності руйнування різального клина [3–6].

Метою даної роботи було вивчення впливу швидкості різання на ймовірність руйнування різців при точінні загартованих сталей за рахунок зміни складових сили різання та їх розкиду, які в свою чергу, впливають на максимальні напруження та їх середньо - квадратичні відхилення (СКВ), які виникають на поверхнях різця.

В даній роботі були досліджені 5 партій полікристалів кубічного нітриду бору групи ВН, які відрізнялись питомою поверхнею вихідної шихти S (табл.1). Спикання проводили в сталевому апараті високого тиску “ковадло з заглибленням” з діаметром лунки 40 мм [4] при тиску 4,2 ГПа і температурі 1700 К. Вихідні порошки – кубічний нітрид бору марки КМ зернистістю 3/2 і 60/40 мкм виробництва концерну «АЛКОН» НАН України і порошок алюмінію марки АСД (фракція 40). Зміною зернистості порошків намагались впливати на питому поверхню вихідної шихти (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристики і фазовий склад композитів системи cBN-Al (спечених при $p = 4,2$ ГПа; $T = 1750$ К, $\tau = 4$ хв)

Номер партії	1–004	2–024	3–054	4–074	5–094
Питома поверхня вихідної шихти S , м ² /г	2,80	2,20	1,46	0,71	0,11
Фазовий склад композитів	87% cBN + 13%AlN	87% cBN + 13%AlN	87%cBN + 13%AlN	88%сBN + 10AlN + 1%AlB ₂ + 1%Al	86,7%сBN+10AlN+3%AlB ₂ +0,3%Al
Твердість по Кнупу, ГПа	25	26	27	27	28
Міцність під час розтягування, R_m , МПа	357	487	580,5	404	408
СКВ міцності	52	63	20	76	80

В якості вихідної шихти використовували 5 варіантів суміші: 1 – КМ 3/2 + АІ - 40 (9: 1); 2 – КМ 3/2 + КМ 60/40 + АІ - 40 (7: 2: 1); 3 – КМ 3/2 + КМ 60/40 + АІ – 40 (9: 9: 2); 4 – КМ 3/2 + КМ 60/40 + АІ – 40 (2: 7: 1), 5 – КМ 60/40 + АІ – 40 (9: 1). У табл. 1 наведені деякі характеристики спечених зразків ПНТМ.

Були досліджені зразки різного фазового складу і питомої поверхні вихідної шихти кубічного нітриду бору, які мали різну міцність під час розтягування та СКВ міцності.

Зі зразків були виготовлені квадратні (SNUN) різальні пластини, які механічно кріпилися в державці різця. Геометричні параметри різця: передній кут $\gamma = 10^\circ$; задній кут – 10° , кут в плані – 45° .

Режими різання: глибина $t = 0,1$ мм. Подача $S = 0,1$ мм/об. Швидкість v змінювали від 0,85 до 5,52 м/с. Оброблювальний матеріал – загартована сталь ХВГ твердістю 59–60 НРС.

Випробування різців з КНБ при точінні здійснювали на автоматизованому стенді на базі токарного верстата високої точності ТПК-125ВМ [6]. Складові сили різання вимірювали за допомогою універсального динамометра УДМ-100 із записом інформації на комп'ютер за допомогою АЦП АДА 1406 під керуванням пакету Power Graph [7].

Межу міцності під час розтягування зразків кнб визначали шляхом діаметрального стиску дискових зразків на вертикальному копрі з падаючим вантажем.

Результати вимірювання складових сил різання для зразка 1 – 004 наведені на рис. 1, а. Видно, що зі збільшенням швидкості різання v всі складові сили різання P зменшуються. Це пов'язано зі збільшенням температури зі збільшенням швидкості різання, в основному, за рахунок зменшення меж міцності і текучості оброблюваного матеріалу.

Аналогічне зниження складових сил різання мало місце для всіх досліджених зразків. Однак з малюнка 3а видно, що при цьому ймовірність руйнування різця J_{rez} збільшується, що начебто суперечить зменшенню навантаження на різець.

Таке протиріччя можна пояснити зміною напружень SR на поверхнях різця, наведене на рис. 2, б. Видно, що напруження на задній поверхні S_{Rz} є стискаючими і мало залежать від швидкості різання. Однак на передній поверхні напруження S_{Rp} є розтягуючими і вони зростають від 28.7 до 262.5 МПа зі збільшенням швидкості різання v . Це призводить до збільшення ймовірності руйнування J_{rez} від $10^{-2.36} = 0.0044$ до $10^{-0.67} = 0.21$.

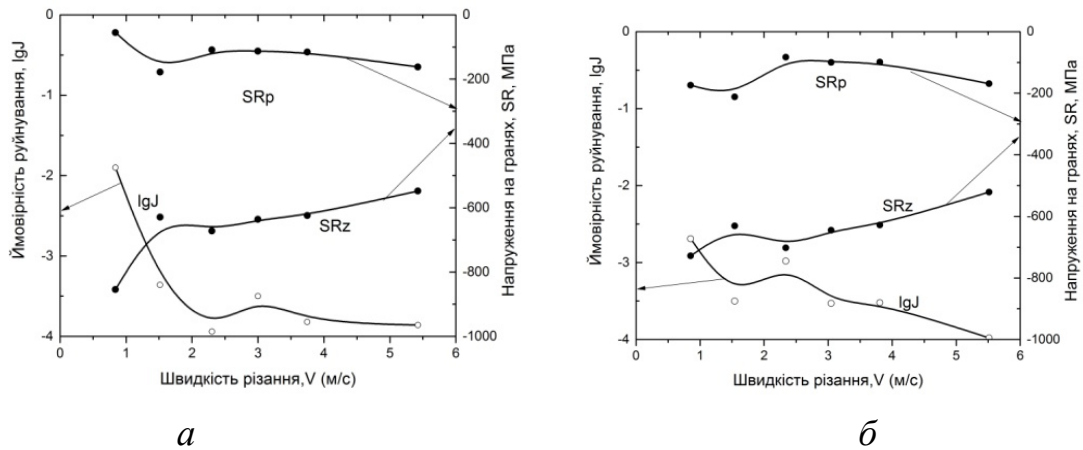


Рис. 1– Вплив швидкості різання v різцем 4 – 074 (а) різцем 5–094 (б) на напруження на передній (SRp) і задній (SRz) поверхнях і ймовірність їх руйнування ($Jrez$)

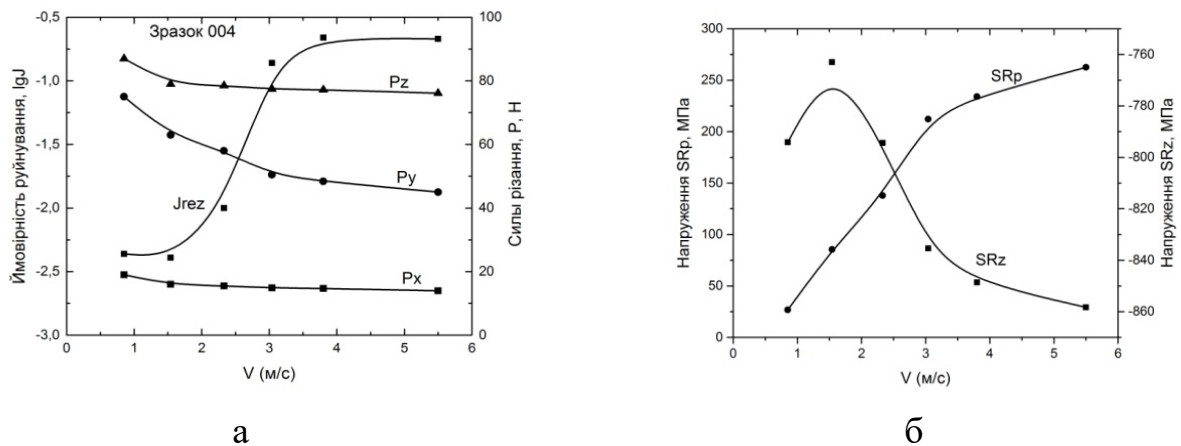


Рис. 2– Вплив швидкості різання v зразка 1 - 004 на сили (P) і на ймовірність руйнування (IgJ) (а) та на максимальні напруження на передній (SRp) і задній (SRz) поверхнях різця (б)

Аналогічне зниження складових сил різання мало місце і для зразків партій 2–024 та 3–54 (рис. 3). Однак для зразків партії 2–024 ймовірність руйнування різця $Jrez$ невисока і зменшується з ростом швидкості різання.

Це пов'язано з тим, що напруження розтягу SRp на передній поверхні різців 2–024 значно менше (від -124 до 82 МПа), ніж для різців 1–004 (від $26,7$ до $262,5$ МПа), а міцність пластин ($Rm = 487$ МПа), навпаки, більше, ніж для партії зразків 1 – 004 ($Rm = 356,5$ МПа).

Для різців партії 3–054 розтягуючи напруження SRp на передній поверхні різців менше, ніж у різців партії 1 – 004 (від $29,4$ до $190,1$ МПа) і мало залежать від швидкості різання. Крім того міцність різців партії 3–054 значно вище ($580,5$ МПа).

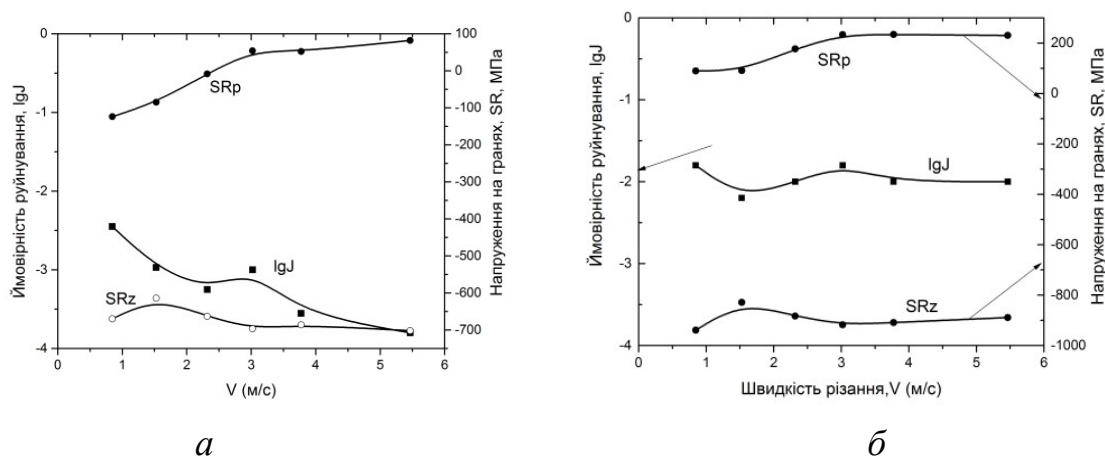


Рис. 3 – Вплив швидкості різання v різцем 2 - 024 (а) і різцем 3-054 (б) на напруги на передній (SRp) і задній (SRz) поверхнях і ймовірність їх руйнування (Jrez)

Для різців партій 4-074 та 5-094 напруження SRp на передній і задній поверхнях різців взагалі мають тільки негативне значення (тобто стиску) і при швидкості різання більше 2 м/с мало залежать від швидкості різання (див. рис. 1).

Міцність цих різців не дуже велика, але за рахунок негативних напруг (стиску) на всіх поверхнях різця, ймовірність їх руйнування залишається невисокою (менш 0,001). Виняток становлять різці партії 4–074, де при мінімальній швидкості різання (0.839 м/с) ймовірність руйнування більше за рахунок значних напруг і перевищує 0,01 (рис. 1, а). Цей режим не рекомендується використовувати при точінні загартованих сталей.

Встановлено, що зі збільшенням швидкості різання величини складових сил різання зменшуються, але при цьому на передній поверхні деяких різців з КНБ можуть з'являтися напруження розтягу, які для різців з КНБ з невисокою міцністю під час розтягу Rm (наприклад, для пластин ПНТМ з питомою поверхнею вихідної шихти $S = 2,80 \text{ м}^2/\text{г}$, для яких використовували в якості вихідних порошоків суміш КМ 3/2 + Al – 40 (9: 1), Rm менш, ніж 400 МПа) призводять до збільшення ймовірності руйнування різців з них до 0.21. Пластини такого складу не бажано застосовувати при обробці загартованої сталі ХВГ твердістю 59–60 HRC.

Різальні пластини з матеріалу з питомою поверхнею вихідної шихти $S=0,71 \text{ м}^2/\text{г}$ та $0,11 \text{ м}^2/\text{г}$ (відповідно з фазовим складом $88\% \text{cBN} + 10\text{AlN} + 1\% \text{AlB}_2 + 1\% \text{Al}$ та $86,7\% \text{cBN} + 10\text{AlN} + 3\% \text{AlB}_2 + 0,3\% \text{Al}$) у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей мали тільки негативне (стиску) значення напружень на передній і задній

поверхнях різців. Тому їх можна використовувати при швидкості різання більше 2 м/с, коли сили різання досить помірні.

Швидкість різання менше 1 м/с не бажано застосовувати при обробці загартованих сталей різцями з ПНТМ із питомою поверхнею вихідної шихти $S = 0,71 \text{ м}^2/\text{г}$ із фазовим складом $88\% \text{cBN} + 10\text{AlN} + 1\% \text{AlB}_2 + 1\% \text{Al}$, тому що ймовірність руйнування різців з них може перевищувати 0.01.

Найменшу ймовірність руйнування у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей мали пластини з КНБ, виготовленого з порошків з питомою поверхнею вихідної шихти $S = 1,46 \text{ м}^2/\text{г}$, для яких використовували в якості вихідних порошків суміш КМ 3/2 + КМ 60/40 та АІ – 40 (9:9:2). Цей матеріал має максимальну міцність під час розтягу при динамічному навантаженні та мінімальні значення середньоквадратичного відхилення.

Дослідження міцності під час розтягу та ймовірності руйнування різців дозволило більш обґрунтовано вибрати питому поверхню вихідної шихти для спікання полікристалів КНБ і обмежувати використання швидкостей різання, при яких ймовірність руйнування різців висока.

Література

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Barry, J. Application areas for PCBN materials / J. Barry, G. Akdogan, P. Smyth et al. // IDR. – 2006. – № 3.
3. Остафьев, В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента / В.А. Остафьев. – М. : Машиностроение, 1979. – 168 с.
4. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. – Т. 1. Синтез алмаза и подобных материалов / под ред. А.А. Шульженко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2003. – 319 с.
5. Хандожко, А.В. Анализ факторов, вызывающих хрупкое разрушение твердосплавного режущего инструмента / А.В. Хандожко, А.А. Тимощенко, Л.А. Петрусенко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – вип. № 38. – С. 175–183.
6. Девин, Л.Н. Прогнозирование работоспособности металло-режущего инструмента / Л.Н. Девин. К. : Наук. думка, 1992. – 131 с.
7. Девин, Л.Н. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / Л.Н. Девин, А.Г. Сулима // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика. – 2008. – №3. – С. 24–26.

*Девін Л.М., Беженар М.П., Ричев С.В.,
Нечипоренко В.М.* Інститут надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ КОМПОЗИТІВ З КНБ З ДОДАВАННЯМ АЛМАЗУ

Для оцінки надійності виробів з крихких матеріалів важливе значення має модуль пружності. Існує декілька основних методів визначення модуля пружності крихких матеріалів, які можна поділити на статичні та динамічні. Динамічні мають більшу точність і роздільну здатність, ніж статичні [1].

В роботі ми використовували вимушені коливання дискових зразків малих розмірів, в яких збуджували коливання змінної частоти і фіксували частоти, при яких в зразку має місце резонанс збуджуючої частоти з частотою власних коливань зразка. Використана методика дозволила не тільки визначити модуль пружності та швидкість звука, а також по ширині резонансної кривої оцінити показники внутрішнього тертя (дисипації енергії) 9 партій досліджуваних матеріалів, тобто логарифмічного декременту коливань. Показники внутрішнього тертя є чутливими до пористості та наявності дефектів на границях зерен. Особливо корисний цей метод для композитів, що складаються з дрібних спечених частинок, оскільки такі композити мають велику площу міжзеренних границь, вивчення яких проблематично оптичними методами.

Детальний розгляд методу визначення модуля пружності, швидкості звуку і логарифмічного декременту коливань (внутрішнього тертя) на зразках малих розмірів розглянуто в [2]. Невеликі розміри характерні для зразків з полікристалів надтвердих матеріалів, які отримують в апаратах високого тиску або для інших коштовних спечених матеріалів (карбід бору, нітрид кремнію, тверді сплави), що мають високі твердість та модуль пружності.

Для визначення резонансних частот власних коливань використовували стійку приладу "Звук-107" [1], між опорами якої (збудником та приймачем коливань) розміщували дослідні зразки (рис. 1, а). Схеми розміщення зразків між опорами показані на рис. 1, б. Приклади отримуваних резонансних піків власних коливань показані на рис. 1, в. Схема вимірювання ширини резонансного піку для визначення логарифмічного декременту коливань наведена на Рис. 1г. Для підсилення потужності сигналу синусоїдальної форми на виході генерато-

ра частоти, що коливається з аналізатора спектру використовували універсальний широкосмуговий підсилювач УЗ-32 з коефіцієнтом підсилення 20 dB. Сигнал від стійки Звук-107 через попередній підсилювач поступав на вхід аналізатору спектра СК4-59 для спостереження та вимірювання спектра частот і рівнів періодичних сигналів в діапазоні частот від 100 кГц до 500 кГц при рівні вхідного сигналу від 0,08 мВ до 0,80 мВ. Огинаюча (амплітудно-частотна характеристика) за допомогою аналогово-цифрового перетворювача ADA-1406 фірми «ХОЛІТ ДэйтаСістемс» з розрядністю 14 біт і частотою перетворення до 350 кГц за допомогою програми PowerGraph 3.3 Professional передавалась на персональний комп'ютер, де здійснювали його подальшу обробку і записували отримані резонансні піки (рис. 1, в).

На рис. 1, з показано схему вимірювання ширини резонансного піку, по якій можна оцінити добротність коливальної системи, та вчислити логарифмічний декремент коливань δ . Якщо визначати ширину смуги резонансного максимуму B , вимірюючи її на висоті 70% від максимального значення, то при не дуже сильному демпфуванні, тобто при значеннях добротності, що перевищують 10, ми отримуємо формулу $Q = f_0/B$, де $B = F_v - F_n$, а f_0 – частота, що відповідає максимальній амплітуді сигналу (резонансна частота) (рис. 1, з). Тоді логарифмічний декремент коливань буде визначатись за формулою:

$$\delta = \frac{\pi}{Q} = \pi / (f_0 / (F_v - F_n))$$

Для дослідження були виготовлені 9 партій зразків з кубічного нітриду бора с алмазом, технологія отримання яких описані в [3, 4]. Введення в шихту дисперсних алмазних порошків дозволило отримати великий спектр продуктів їх взаємодії. Кінетика взаємодії визначалась реакціями в рідкій фазі з кристалізацією продуктів реакцій. В залежності від складу, кількості і морфології, переважного розташування по границях зерен та інших факторів, деякі з таких продуктів реакцій є структурними елементами, що забезпечили дисперсійне зміцнення композиту.

Всі розглянуті варіанти фізико-хімічної взаємодії в шихті за критерієм переваги в продуктах реакцій тих, чи інших фаз, можна розділити на три групи. Кожної з цих груп притаманні певні властивості – твердість, абразивний знос, модуль пружності, декремент коливань та інші.

Першу групу складають зразки з шихти зі вмістом алмазу від 0 до 15 мас.%. В процесі спікання тут переважали реакції в системі

cBN—Al, а в продуктах реакції відносно високий вміст AlN і AlB₂ [3, 4]. Зразки цієї групи доречно співставити з базовим зразками, бо за продуктами реакцій вони подібні, але твердість їх зростає зі збільшенням вмісту алмазу, що безумовно свідчить про вплив саме цього фактору. При цьому зростають модуль пружності E, швидкість звуку та логарифмічний декремент коливань δ (рис. 2, а, в, г).

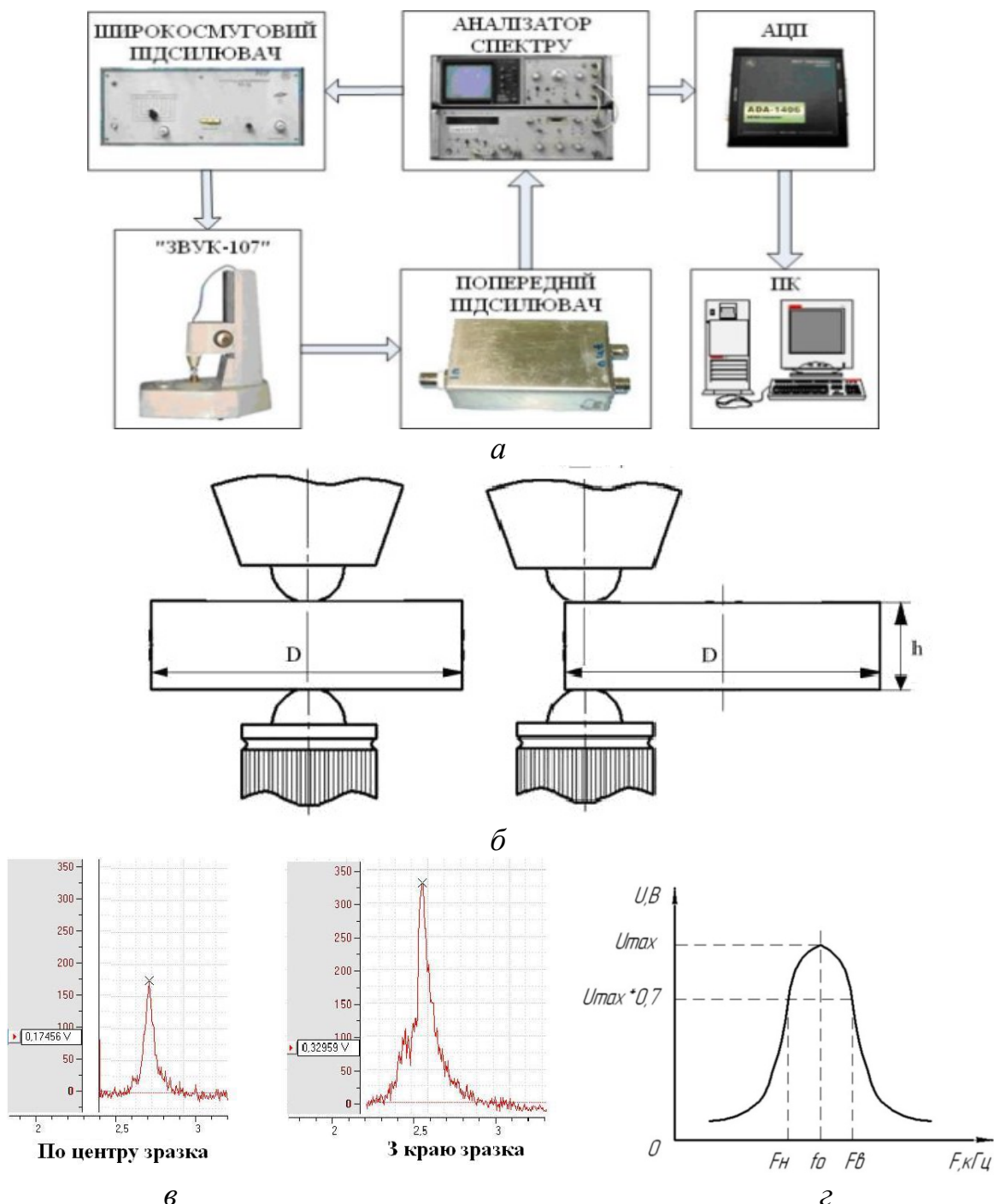


Рис. 1 – Блок-схема системи вимірювання логарифмічного декременту коливань δ та модуля пружності E (а), схеми розміщення зразків між опорами (б), піки резонансу на частотах власних коливань зразку (в), схема вимірювання ширини резонансного піку для визначення логарифмічного декременту коливань (г)

Подальше падіння модуля пружності E та логарифмічного декременту коливаль δ підтверджує, що діє не адитивна залежність цих характеристик від вмісту фази з більш високим модулем пружності, а ефект дисперсного зміцнення.

В другій групі зразків, де значно менше AlN, а основним продуктом реакції є Al_3BC , ефект дисперсного зміцнення алмазом, як сказано вище, не діє. Тому слід звернути увагу на зниження добротності та декременту коливаль (рис. 2, б). Це можна пояснити високою пластичністю Al_3BC , релаксацією тріщин в локальних об'ємах структури, якими є міжфазні границі cBN- Al_3BC -алмаз. Подальше зростання вмісту в шихті алмазу до 25–30% і зростання вмісту Al_3BC разом обумовлюють зниження модуля пружності і добротності.

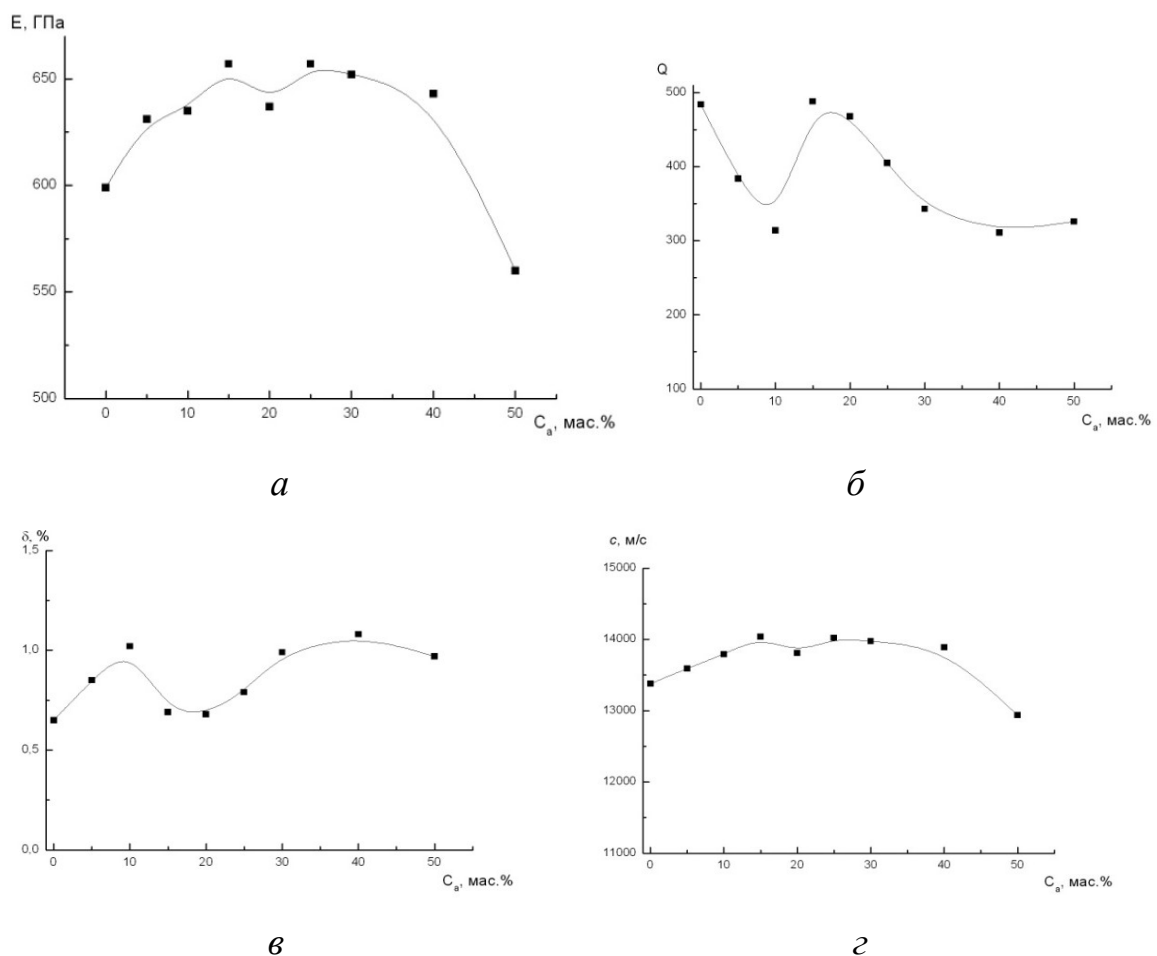


Рис. 2 – Залежності модуля пружності E (а), добротності Q (б), логарифмічного декременту коливаль δ (в) та швидкості звуку c (г) від вмісту алмазу в шихті

До третьої групи віднесено зразки, в яких реакційна взаємодія майже виключно йде між алмазом і алюмінієм, а основними фазовими складовими є алмаз, кубічний нітрид бору і карбід алюмінію, який

найбільш ймовірно розташований між зернами алмазу. Модуль пружності для зразків третьої групи різко зменшується (рис. 2, а).

Встановлено, що введення в шихту разом з порошком КНБ дисперсних алмазних порошоків дозволило отримати великий спектр продуктів їх взаємодії. Всі розглянуті варіанти можна розділити на три групи в залежності від вмісту алмазного порошку: 1 група – 0–15%, 2 – 15–30% та 3 – 30–50%. Кожній з цих груп притаманні певні властивості — модуль пружності, декремент коливань, швидкість звука, добротність.

Література

1. Глаговский, Б.А. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении / Б.А. Глаговский, И.Б. Московенко. – Л. : Машиностроение, 1997. – 208 с.

2. 2. Devin, L.N. Peculiarities of Determining the Physico-Mechanical Characteristics of Brittle Materials on Small-Sized Specimens / L.N. Devin // Strength of Materials. – 2018. – 50. – P. 909–917.

3. Беженар, М.П. Фазовий склад композитів, отриманих реакційним спіканням в системі кубічний нітрид бору-алмаз-алюміній при високому тиску / М.П. Беженар, С.А. Божко, Н.М. Білявина та ін. // Сверхтв. мат. – 2007. – № 6. – С. 27–37.

4. Беженар, М.П. Твердость и абразивная стойкость керамики на основе кубического нитрида бора и возможности их повышения / М.П. Беженар, П.А. Нагорный, В.Н. Боженко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2004. вып. 7 – С. 164–168.

*Іваненко Р.О. УНДІ спеціальної техніки
та судових експертиз,
Волошко О.В. КПІ імені Ігоря Сікорського»,
Київ, Україна*

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОЗМІРНЕ НАЛАШТУВАННЯ І КОНТРОЛЬ СТАНУ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЛЕННІ

Сучасна промисловість дедалі більше відчуває потребу у гнучкому автоматизованому виробництві. Системи ЧПК вимагають присутності людини-оператора при базуванні, корекції на розміри інструменту у процесі обробки деталей, а найчастіше контролю

аварійних ситуацій, якості механообробки тощо. Тому оснащення систем ЧПК ланцюгами зворотнього зв'язку за перерахованими параметрами є першочерговим завданням.

Низька надійність процесу обробки через поломки та знос різального інструменту, його заміни та налаштування на необхідні розміри, не дають можливості ефективно використовувати верстати з ЧПК. Найбільш перспективним способом вирішення проблеми підвищення надійності та продуктивності процесу різання металів є створення та впровадження систем автоматичної установки інструменту на необхідний розмір та контролю його стану.

Розроблена система автоматизованого розмірного налаштування та контролю стану інструменту для токарних верстатів з ЧПК типу CNC на основі віброакустичного сигналу, який генерується зоною різання. Система включає стандартний п'єзоакселерометр, що встановлюється на верстаті, і спеціальний електричний блок контролю процесу різання (БКПР), що вбудовується в CNC систему ЧПК. БКПР спільно з акселерометром призначений для точного визначення – моменту торкання інструменту поверхні оброблюваної деталі, початку і припинення процесу різання.

Дана система здатна контролювати граничний знос інструменту та аварійні стани. На основі сигналів БКПР система ЧПК типу CNC визначає поточні координати вузлів верстата, які відповідають моменту торкання, що дозволить знаходити координати вершин інструменту та його різальних кромок. Обробку деталей з автоматизацією розмірного налаштування інструменту можна робити за двома принципами: керування у відносних координатах; керування в абсолютних координатах. У першому випадку відлік переміщень супорта ведеться відносно поверхні заготовки зафіксованої в момент торкання інструменту і заготовки. Такий принцип легко реалізується при свердлінні отворів, проточці канавок, торцевій підрізці тощо.

У другому випадку для визначення координат вершин інструменту використовується еталонна заготовка з відомими координатами поверхні торкання. Точність розмірного налаштування 7–10 мкм. При обробці деталей групою однотипних інструментів можна за допомогою одного попередньо налаштованого або еталонного інструменту здійснювати розмірне налаштування інших. Це економить час та підвищує продуктивність.

Порівнюючи координати робочого інструменту з координатами «еталонного» інструменту на початку і наприкінці різання, можна

визначити розмірний знос інструменту та виконати його підналаштування на заданий розмір на стадії обробки виробів.

Випробування системи автоматизованого розмірного налаштування та контролю стану інструментів показали, що її застосування значно збільшить надійність роботи верстатів з ЧПК, їх продуктивність та точність обробки виробів, знизить відсоток браку та підвищити продуктивність виробництва.

Література

1. Глоба, О.В. Комплексна оптимізація процесу фрезерування на верстатах з ЧПК / О.В. Глоба, С.П. Вислоух, Р.О. Іваненко // Розвиток транспорту. – 20212. – № 2(9). – С. 7–19.

2. Вислоух, С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва / С.П. Вислоух. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 480 с.

*Льницька Г.Д., Лавріненко В. І., Смоквина В.В.,
Зайцева І.М., Тимошенко В.В. Котинська Л.Й.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

АЛМАЗНІ ШЛІФПОРОШКИ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Для розвитку машинобудівної галузі важливим напрямком є застосування ефективних абразивних інструментів на основі порошків синтетичного алмазу. При алмазно-абразивній обробці поверхні деталей на зносостійкість та ефективність роботи шліфувального інструменту впливають характеристики алмазних порошків, які формуються в процесі синтезу алмазу, сортування та класифікації. У промисловості при обробці виробів із твердого сплаву, кераміки, скла та інших крихких матеріалів широко застосовуються шліфувальні інструменти з використанням порошків синтетичного алмазу марок АС6-АС32 від 160/125 до 80/63 згідно ДСТУ 3292.

Як правило, такі шліфпорошки алмазу створюються під час синтезу при великих швидкостях зростання кристалів алмазу. У процесі росту кристалів алмазу, при їх зростанні відбувається захоплення всі

побічних фаз, що присутні в реакційній камері. При цьому включення та домішки стають об'ємними дефектами кристалів алмазу, та мають різні розміри, починаючи від атома і до макроскопічних розмірів і впливають на властивості міцності порошків алмазу.

Вихідним матеріалом для отримання шліфпорошків спеціального призначення з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок та включень, що різняться між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості, є алмазні шліфпорошки синтетичних алмазів марок АС6, АС15, АС20, АС32 за ДСТУ 3292, синтезованих у різних ростових системах.

Для оцінки якості алмазних шліфпорошків були розроблені технічні умови ТУ У 23.9-05417377-384:2023 «Алмазні шліфпорошки синтетичного алмаза спеціального призначення для шліфувального інструменту».

Дані технічні умови поширюються на алмазні шліфувальні порошки з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень, що різняться між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості. Шліфпорошки залежно від величини питомої магнітної сприйнятливості ($\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг) поділяються на чотири категорії.

Приклад умовного позначення під час замовлення та в документації іншої технологічної продукції алмазного шліфпорошку марки АС6 магнітної категорії М-1 зернистістю 160/125 буде виглядати як алмазний шліфпорошок АС6-М1 160/125 при необхідності вказуються ТУ У 23.9-05417377-384:2023.

Зерновий склад, показник міцності при статичному стисканні зерен шліфпорошків визначаються за ДСТУ 3292 та повинні відповідати нормам, зазначеним у цьому документі.

Згідно розроблених технічних умов, категорія алмазних шліфпорошків та величина їх питомої магнітної сприйнятливості повинні відповідати зазначеним характеристикам відповідно до табл. 1.

Фізико-механічна характеристика зерен шліфпорошків алмазу у вигляді їх абразивної здатності повинна відповідати нормам, зазначеним у табл. 2.

Алмазні шліфпорошки спеціального призначення різних категорій з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок та включень, що різняться між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості, рекомендується використовувати в шліфувальному інструменті залежно від їх категорії: М-1 для електроерозійного шліфування; М-2 для електроіскрового шліфування; М-3 для елект-

рохімічного шліфування (допускається використання для шліфування з охолодженням); М-4 для електрохімічного шліфування (без охолодження).

Таблиця 1 – Питома магнітна сприйнятливність алмазних шліфпорошків різних зернистостей 160/125 – 80/63

Зернистість, мкм	Питома магнітна сприйнятливність, $\chi, 10^8 \text{ м}^3/\text{кг}$			
	категорії			
	М-I	М-II	М-III	М-IV
160/125	понад 1000 до 500 вкл.	від 500 до 100 вкл.	від 100 до 10 вкл.	не менше 10,0
125/100	"- 800 "- 400	"- 400 "- 100	"- 100 "- 7	"- 7,0
100/80	"- 700 "- 350	"- 350 "- 50	"- 50 "- 5	"- 5,0
80/63	"- 600 "- 300	"- 300 "- 50	"- 50 "- 3	"- 3,0

Таблиця 2 – Абразивна здатність алмазних шліфпорошків різних зернистостей 160/125 – 80/63

Зернистість, мкм	Абразивна здатність, А, мг не менше			
	категорії			
	М-I	М-II	М-III	М-IV
160/125	10,0	9,5	9,0	8,5
125/100	9,5	8,5	8,0	7,5
100/80	9,0	8,5	8,0	7,5
80/63	8,7	8,0	7,5	7,0

*Клименко С.Ан., Клименко С.А., Копецькіна М.Ю.,
Мельничук Ю.О., Чумак А.О., Манохін А.С.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ЕФЕКТИВНА МЕХАНІЧНА ОБРОБКА НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

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

ництва. У зв'язку з цим величезне значення має розвиток технологій підвищення експлуатаційних властивостей деталей методами модифікування поверхонь і нанесення покриттів, коли на їхніх поверхнях формується шар матеріалу з відмінними від властивостей основного матеріалу хімічними властивостями, структурою, властивостями. До таких матеріалів, зокрема, належать наплавлені покриття.

Нині наплавлення – один із найефективніших, найекономніших і таких, що активно розвиваються, технологічних методів управління експлуатаційними властивостями деталей машин. Однак застосування покриттів за рахунок низки специфічних властивостей, стримується у зв'язку з нестачею науково обґрунтованих рекомендацій щодо їхньої продуктивної та якісної механічної обробки.

На відміну від монолітних матеріалів, покриття, як правило, мають: – підвищену крихкість; – різну твердість за поверхнею і за глибиною; – неоднорідний хімічний склад за перерізом; – велику кількість складових мікроструктури (карбіди, боріди, інтерметаліди та інші частинки високої твердості); – значну пористість. Це призводить до того, що сили різання мають змінний характер, а температура різання покриттів перевищує температуру під час оброблення монолітних матеріалів ідентичного складу, що зумовлює інтенсифікацію зношування різального інструменту.

Перспективними методами обробки зносостійких покриттів є точіння і фрезерування інструментом із твердих сплавів (ТС) і з полікристалічними надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору (PcBN): – твердосплавні інструменти ефективні під час обробки матеріалів твердістю до 35–40 HRC; – сферою застосування інструментів, оснащених PcBN, є обробка наплавлених покриттів твердістю 40–60 HRC (рис. 1).

З огляду на особливості структури та властивостей наплавлених матеріалів, специфічну топографію наплавлених поверхонь, пов'язану з використанням кожного окремого методу наплавлення, ефективна обробка наплавлених деталей повинна базуватися на системних уявленнях, що включають результати вивчення будови наплавленого матеріалу, нестационарної контактної взаємодії в зоні різання, стану, а саме жорсткості, обладнання, що застосовується, та ін.

Матеріал покриття розглядається як неоднорідна композиція з комплексом структурних складових, що характеризуються складною сукупністю фізико-механічних властивостей, що зумовлює нестационарність процесу різання, появу вібрацій у системі «верстат-прис-

тосування-інструмент-деталь», ускладнює ефективну механічну обробку та досягнення необхідної якості оброблених наплавлених деталей.

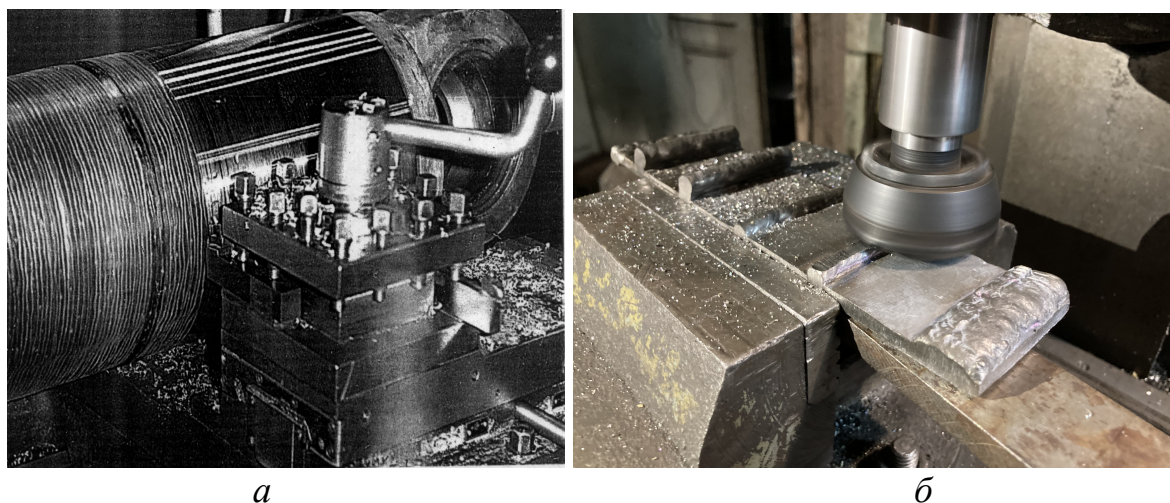


Рис. 1 – Продольне точіння вала з наплавленим покриттям ПП АН40 (а), торцеве фрезерування зразка із наплавленим покриттям ЖСБК (б), інструментами, оснащеними РсВN

Широкий комплекс наукових досліджень дав змогу розробити науково-обґрунтовані рекомендації щодо вибору матеріалів і геометричних параметрів різальних інструментів, елементів режиму різання, вибору технологічного середовища і технологічних способів поліпшення оброблюваності різанням низки наплавлених покриттів з різним ступенем і характеристиками неоднорідності, різноманітними фізико-механічними властивостями, що використовуються у виробництві, як під час виготовлення нових, так і під час відновлення працездатності деталей, які вийшли з ладу в результаті інтенсивної експлуатації.

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

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ РсВN ПРИ ПЕРЕРИВЧАСТОМУ РІЗАННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

Відповідно до стандарту ISO 513-2012 композити на основі сBN поділяються: – композити з керамічною матрицею на основі сполук Ti, C, N, B, Al, O із вмістом 45–65% сBN (група BL); – ком-

позити переважно у металевій матриці на основі Co та Ni із вмістом 70–95% cBN (група ВН).

Багаточисельними дослідженнями встановлено, що інструмент з композитами першої групи мають підвищене зношування по задній поверхні при переривчастому різанні, в той час як інструменти з матеріалами групи ВН менш чутливі до динамічного навантаження, але інтенсивніше зношується при високих швидкостях різання [1, 2].

Підвищенню ефективності обробки інструментами із PcBN сприяє: – вибір композиту потрібного хімічного складу, що має механічні показники, які відповідають умовам термобаричного навантаження в зоні різання і забезпечують підвищену міцності та зменшену вірогідність крихкого руйнування інструменту; – оптимізація геометричних параметрів інструменту та умов його застосування в умовах як неперервного, так і переривчастого різання, що дозволить підвищити продуктивність та забезпечити збільшення стійкості різального інструменту.

З метою визначення працездатності в умовах переривчастого різання виготовлені інструменти із PcBN груп ВL (cBN-35% TiC-5% Al; cBN-7% TiCN-5% Al), ВН (cBN-3,6 Si₃N₄) і проведено їх випробування під час обробки загартованої сталі марки ХВГ (50–55 HRC) (заготовка мала поздовжні пази шириною 10 мм, глибиною 10 мм).

Аналіз отриманих результатів показує, що при швидкості різання $v = 100$ м/хв. інструменти з композитами групи ВL фактично не працездатні і зі збільшенням глибини різання до 0,4 мм має місце руйнування на контактної ділянці вже на початковому етапі обробки (20 с різання). При зростанні швидкості різання до 170 м/хв. інструменти з такими PcBN характеризуються стабільною роботою при невеликому навантаженні ($t = 0,2$), при цьому для $t = 0,4$ мм спостерігається руйнування різальної кромки інструменту.

В наведеному діапазоні глибин та швидкостей різання різальна кромка інструменту, оснащеного композитом групи ВН, зберігається не ушкодженою. На задній поверхні інструменту спостерігається формування фаски зносу, величина якої є функцією від часу обробки.

Навіть при швидкості 210 м/хв застосування інструментів з досліджуваними PcBN залишається можливим (рис. 1). Для інструменту, оснащеного композитом групи ВН, характерним є більш інтенсивне зношування по передній поверхні і лункоутворення із «заниженням» різальної кромки. Лункоутворення на передній поверхні також спостерігається і для інструменту з композитом із вмістом

TiC 35%, але, в даному випадку, це пов'язане з порівняно меншою міцністю цього композиту.

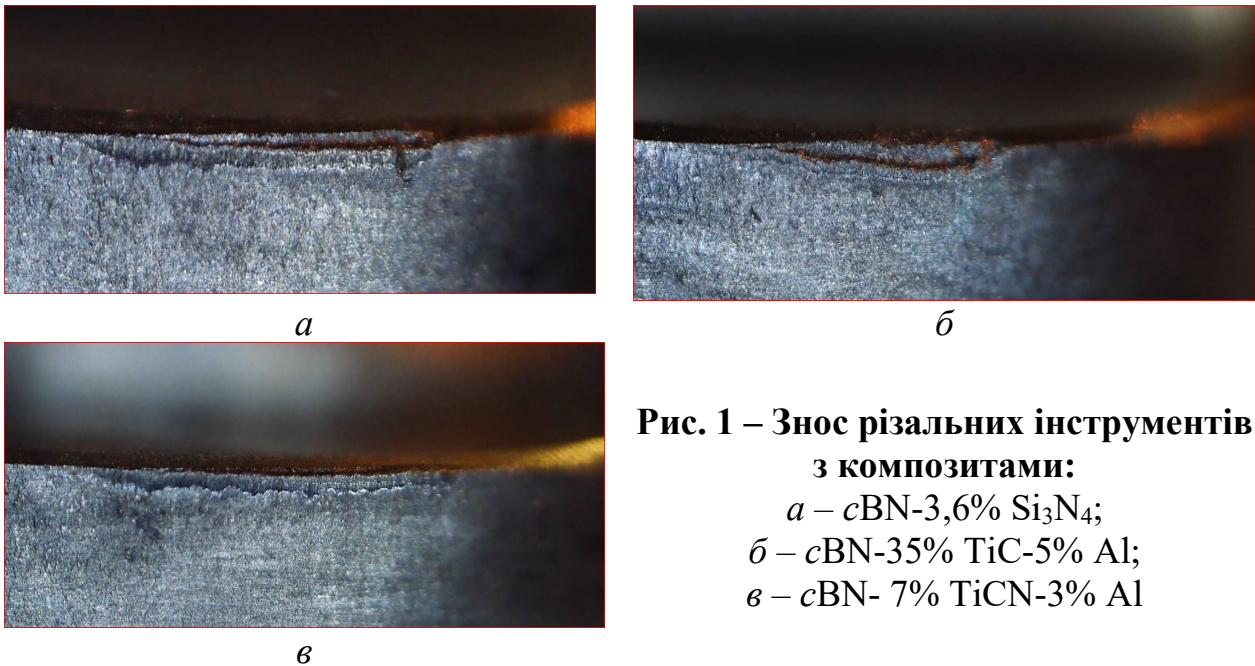


Рис. 1 – Знос різальних інструментів з композитами:

- a* – cBN-3,6% Si₃N₄;
- б* – cBN-35% TiC-5% Al;
- в* – cBN- 7% TiCN-3% Al

Найменше зношування по задній поверхні при збереженні прямолінійності різальної кромки характерне для інструменту з композиту складу cBN-7% TiCN-5% Al.

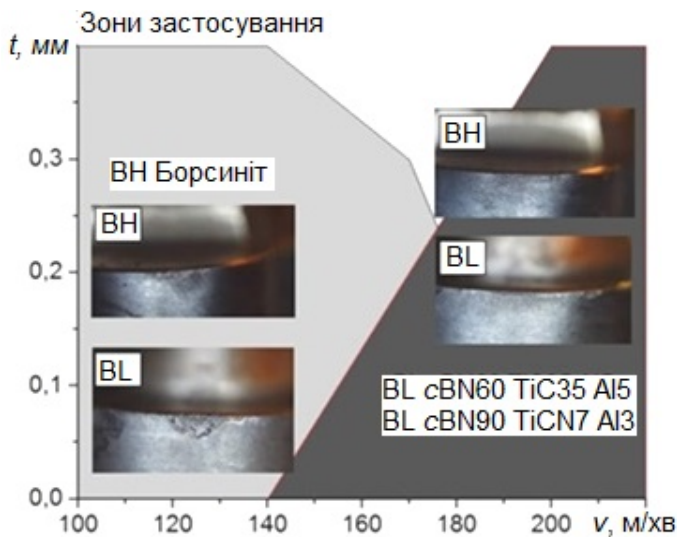


Рис. 2 – Діаграма умов ефективного використання інструментів із PcBN груп VL і VH

Отримані результати демонструють, що зношування інструментів із PcBN груп VH і VL в умовах переривчастого різання має істотні відмінності від визначених уявлень до їх зношування в умовах неперервного різання з високими швидкостями – ймовірно, у зв'язку з інтенсивним знеміцненням оброблюваного матеріалу при високій температурі в зоні

контакту, має місце менші контактні навантаження на інструменті, при яких не спостерігається крихке руйнування PcBN.

Узагальнення даних, що характеризують умови, за яких спостерігалось руйнування PcBN, дозволяє скласти діаграму (рис. 2), яка відображає діапазони режимів різання (в координатах швид-

кість різання-глибина різання), при яких можливе ефективно застосування інструментів, оснащених досліджуваними PсBN груп VL і ВН, в умовах переривчастого різання загартованої сталі.

Література

1. Клименко, С.А. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина и др.; под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.

2. Беженар, Н.П. Синтез и спекание сверхтвердых материалов для производства инструментов / Н.П. Беженарь, А.А. Бочечка, Г.Д. Ильницкая и др. ; под общ. ред. П.А. Витязя, В.З. Туркевича – Мн. : Беларуська навука, 2021. – 337 с.

Коваленко Я.П. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ІНСТРУМЕНТОМ З ПЛАСТИНАМИ ІЗ ПКНБ ГРУПИ VL

Забезпеченню високої ефективності процесу обробки плоских поверхонь торцевого фрезерування при обробці загартованих сталей інструментом із кубічного нітриду бору (КНБ) передує обґрунтований вибір схем різання, режимів різання тощо. На сьогодні в науковій літературі [1, 3] є значна кількість результатів відповідних досліджень та рекомендацій щодо вибору схем різання, інструментального матеріалу, геометричних параметрів ріжучих елементів тощо. Однак всі ці матеріали не завжди можуть бути раціонально використані при обробці сталей з високою твердістю та іншими фізико-механічними характеристиками. Варто відмітити, що до найбільш поширених у використанні інструментів із КНБ відносяться інструменти, наприклад, виробництва Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України та фірми Sandvik Coromant.

З огляду на найбільш ефективну схему різання при торцевому фрезеруванні [1] варто розглядати конструкцію інструменту після моделювання самого процесу з обґрунтованими параметрами геометрії, режимів різання та фізико-механічних параметрів оброблюваного матеріалу. Найбільш ґрунтовно моделювання процесу фре-

зерування торцевими фрезами були розглянуті Мазуром М.П. [3], де викладені результати які використовуються і на сьогодні. При великій наявності конструктивних рішень для пластин із НТМ, якими оснащуються торцеві фрези, та широкого спектру загартованих сталей, площини яких оброблюються торцевим фрезеруванням, в науковій літературі були враховані не всі фактори для повного висвітлення явищ в контактній зоні різання. Адже термобаричні та трибологічні чинники мають бути результатом цього моделювання. Із відомих програм, які використовуються на сьогодні для моделювання процесу різання, варто відміти наступні: Ansys, Deform, Python та інші. Однак потужність окремого програмного забезпечення не дозволяє отримати точні рішення. Для моделювання процесу торцевого фрезерування автором розроблено план експерименту з наповненням порядку 20 параметрів. Це є пріоритетним завданням для забезпечення повноцінного використання всіх факторів задля підвищення ефективності обробки плоских поверхонь в лабораторних та виробничих умовах.

Використання математичного моделювання дозволяє побудувати математичну модель, на основі якої можна детально досліджувати процеси формоутворення при різанні [3]. Майже вся робота при торцевому фрезеруванні переходить в теплоту, яка розподіляється між заготовкою, стружкою, інструментом та навколишнім середовищем. Таким чином рівняння теплового балансу можна представити у вигляді:

$$Q = Q_d + Q_{IT} + Q_{2T} = Q_c + Q_i + Q_z + Q_{cp}, \quad (1)$$

де Q_c , Q_i , Q_z , Q_{cp} – кількість теплоти, що переходить відповідно у стружку, інструмент, заготовку і навколишнє середовище;

Поширення теплоти у зоні різання відбувається за рахунок теплопровідності. Унаслідок цього у зоні різання встановлюється температурне поле, що описується диференціальним рівнянням теплопровідності [3]:

$$c_p \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right], \quad (2)$$

де θ – температура у точці з координатами x , y , z ; τ – час із моменту початку поширення тепла; λ – коефіцієнт теплопровідності, що залежить у загальному випадку від температури тіла; c_p – об'ємна теплоємність тіла.

Математичний вираз, що описує температурне поле, яке виникає під дією миттєвого локального теплового джерела, має вид:

$$T(x, y, z, t) = \frac{Q}{\lambda \sqrt{\omega} (4\pi t)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{R^2}{4\omega t}} \quad (3)$$

Загальна потужність тепловиділення в процесі фрезерування еквівалентна механічній роботі деформування матеріалу та роботі сил тертя на контактних поверхнях інструменту та розраховується за відомою залежністю:

$$W = P_z v \quad (4)$$

де P_z – тангенційна складова сили різання; v – швидкість різання

Головна складова сили різання P_z визначається рівнянням:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} v^{z_{P_z}} k_1 k_2 k_3 \quad (5)$$

де C_{P_z} – коефіцієнт, який залежить від умов обробки та виду оброблюваного матеріалу; $k_1 k_2 k_3$ – коефіцієнти, що враховують вплив умов обробки;

Стійкість різального інструменту залежить від швидкості різання, товщини зрізу, ширини зрізу. Ця залежність має вигляд [3]:

$$T = \frac{C_T}{v_1^m} a_1^x b_1^y \quad (6)$$

Для подальшого дослідження процесу фрезерування інструментами із ПКНБ групи VL автором передбачається застосування математичних моделей процесу торцевого фрезерування для пошуку шляхів зменшення зношування інструмента, підвищення продуктивності процесів різання та покращення якості поверхні деталі.

Література

1. Струтинський, В.Б. Математичне моделювання металорізальних верстатів / В.Б. Струтинський, П.П. Мельничук. – Житомир : ЖІТІ, 2002. – 570 с.
2. Roth, R.N. The effect of positive and negative strain hardening rates on stress distributions in orthogonal machining / R.N. Roth // Int. J. Mach. Tool Des. and Res. – 1977. – 17, № 1. – Р. 39–46.
3. Мазур, М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок та ін. ; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 285 с.

*Ковальов В.Д., Клименко Г.П., Васильченко Я.В.,
Шаповалов М.В., Бородай Р.А., Корчма Д.О.*
Донбаська державна машинобудівна академія,
Краматорськ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ ЗА РАХУНОК РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР ТА ПЕРЕДАЧ

В сучасних умовах виникає необхідність розроблення, удосконалення та впровадження у виробництво комплексу заходів для відновлення працездатності, підвищення ефективності та точності важкого обладнання для виготовлення деталей оборонного та енергетичного призначення. Виготовлення деталей вагою в десятки і сотні тон вимагає застосування унікальних верстатів, інструментів та технологій, що представляють характерну особливість важкого машинобудування. На основі аналізу шляхів підвищення працездатності та надійності верстатного устаткування, визначені найбільш ефективні засоби збільшення геометричної і кінематичної точності, жорсткості, вібростійкості, теплостійкості, зносостійкості.

Підвищення якості технологічної системи дозволяє підвищити як точність, так і продуктивність обробки деталей, причому одним із найефективніших і економічно виправданих шляхів є підвищення якості опорних вузлів верстата, зокрема заміна змішаного тертя і тертя кочення рідинним тертям, тобто застосування гідравлічних опор і передач в шпіндельних вузлах, направляючих, люнетах та інших вузлах верстатів (рис. 1).

У надважких верстатах у якості напрямних поздовжніх і поперечних подач знайшли застосування гідростатичні напрямні, що дозволяють одержувати як високу точність переміщення, так і високу жорсткість за рахунок використання автоматичних регуляторів товщини мастильного шару. Останнім часом значно підвищилися вимоги до некруглості деталей, що обточують на верстаті. Некруглість обточених поверхонь викликається зміною положення осі обертання шпинделя верстата в процесі обробки, а також зміною положення несучих поверхонь. Для важких токарних верстатів високої точності використовуються гідростатичні шпіндельні опори, гідростатичні підтримки планшайби, гідростатичні люнети.

Розглянуто області та особливості застосування гідравлічних опор у вузлах верстатів. Розроблено класифікацію гідравлічних опор

за 4 ознаками – за принципом утворення шару мастильного матеріалу, що розділяє поверхні деталей рухомих сполучень; за відносним напрямком сумарного вектору зовнішніх сил; за геометричною формою поверхонь, що сполучаються; за конструктивним виконанням.

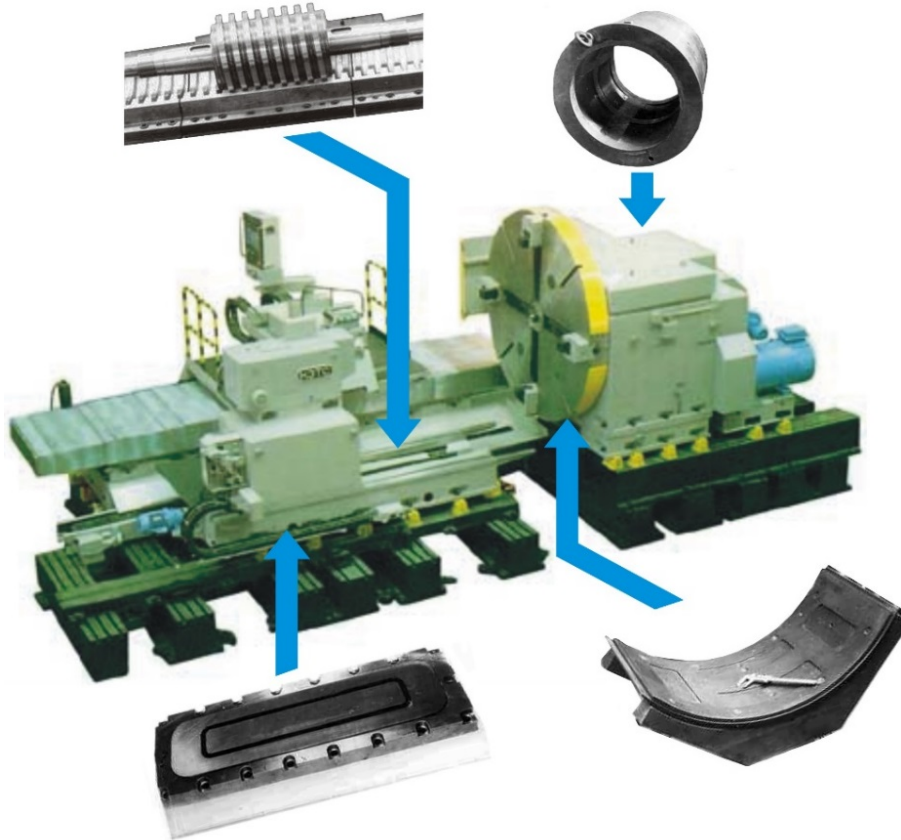


Рис. 1 – Опори та передачі рідинного тертя для важкого верстата

Розроблено класифікацію систем живлення верстатних гідравлічних опор і розглянуто їхній вплив на працездатність верстатного устаткування. Виділено 5 класів систем живлення: із постійною витратою мастильного матеріалу через кожен камеру; із дросельним регулюванням через постійні опори від мережі з постійним тиском; від мережі постійного тиску із саморегулюючими характеристиками; від мережі постійного тиску з автоматичним регулюванням із зворотнім зв'язком; системи, що використовують комбіновані методи регулювання.

Проаналізовано проблеми, що супроводжують дослідження та використання опор з рідинним режимом тертя у верстатному устаткуванні. Розроблено загальний підхід до досліджень верстатних гідравлічних опор, загальну теорію та методика розрахунку опор різних форм і типів що дало можливість їх застосування в конструкціях нових верстатів.

Методи досліджень і розрахунків верстатних гідравлічних опор враховують деформації опорних поверхонь, їх відносний рух, нелінійність діючих на них розподілених навантажень. Це дозволяє визначати конструктивні параметри опор і систем їх живлення, аналізувати працездатність опорних вузлів в аварійних режимах, підвищити точність обробки, надійність і безпеку верстатів. Розроблені методи дослідження і розрахунку опор верстатів, засновані на спільному рішенні задач теорії пружності і задач течії рідини для дослідження деформацій поверхонь опори і впливу деформацій на експлуатаційні характеристики. Вивчене і обґрунтоване питання визначення раціональних конструктивних параметрів опор.

Конструкції опор і передач удосконалені в напрямках забезпечення рідинного режиму тертя у всіх режимах експлуатації верстатів, керування точністю переміщень та жорсткістю верстатних вузлів, компенсації деформацій, розробки опор спеціальних форм, адаптивних опор та ін.

*Козяр Я.А., Балицька Н.О. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир, Україна*

ТЕХНОЛОГІЇ РІЗАННЯ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Сучасна металургійна промисловість випускає широку номенклатуру марок жароміцних сплавів. Їх застосовують для виготовлення деталей авіаційних двигунів, лопаток газових турбін, в енергетичному машинобудуванні, медицині тощо. Згідно ISO 513:2012 усі жароміцні сплави відносять до групи S, яка, в свою чергу, поділяється на чотири підгрупи: сплави на основі заліза, нікелю, кобальту, титану.

Висока теплостійкість, твердість та низька теплопровідність усіх сплавів групи S, окрім переваг для експлуатації виробів із них, викликають труднощі при їх виготовленні. Найпоширенішими проблемами, які виникають в процесі механічної обробки жароміцних сплавів, є: високі температури в зоні різання, утворення сегментної стружки та високі питомі сили різання 1300–3100 Н/мм². Такі умови здійснюють негативний вплив на стійкість інструменту і зумо-

влюють застосування низьких швидкостей різання (20–150 м/хв), які для сплавів цієї групи є у більш ніж чотири рази меншими у порівнянні із звичайними конструкційними сталями.

Для підвищення продуктивності оброблення жароміцних сплавів, а також забезпечення достатньої стійкості різального інструменту, науковцями та практиками розглядається багато підходів, одним із яких є застосування різних технологій різання жароміцних сплавів із використанням мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ (МОТС). На сьогодні найбільш перспективними технологіями застосування МОТС є MQL (мінімальна кількість мастила), НРС (подача МОТС під високим тиском) та криогенне охолодження.

Неефективність застосування сухої обробки Inconel 718 доведена авторами [1] при розгляді питання цілісності оброблених поверхонь, що пояснюється високими температурами в зоні різання.

У роботі [2] показані переваги застосування МОТС за технологією MQL, яка забезпечує значне зростання стійкості інструменту у порівнянні із сухою обробкою. Також перевагами є екологічність та економічність, які зумовлені низькими витратами рідин, і відповідно малою кількістю відходів.

Прогресивним і досить ефективним вважають застосування криогенного охолодження. Автори роботи [3], порівнюючи різні технології застосування МОТС, доводять ефективність криогенного охолодження при обробці жароміцних сплавів на високих швидкостях різання (до 120 м/хв), при цьому забезпечується висока якість поверхневого шару ($R_a=0.336$ мкм). Разом із тим технічна реалізація цього методу пов'язана із значними труднощами.

Більшість авторів рекомендують проводити обробку жароміцних сплавів із застосуванням технології НРС. У роботах [4–6] показано, що застосування НРС дозволяє збільшити термін служби твердосплавного інструменту у сім разів порівняно із сухою обробкою. При цьому за рахунок зниження температури в зоні різання можна підвищити продуктивність обробки інтенсифікацією режимів різання. Але, окрім переваг, також мають місце певні обмеження та недоліки. Насамперед спосіб НРС обмежують через економічну складову та негативний екологічний вплив.

Таким чином, тема використання МОТС при механічній обробці на сьогоднішній день є актуальною для сучасного машинобудування, але пов'язана із певними обмеженнями. Тому на сьогодні не

визначено єдиного підходу щодо застосування різних способів використання МОТС при обробці жароміцних сплавів.

Отже підбір технологій різання із використанням МОТС варто проводити для конкретних умов обробки, зважаючи на вимоги до необхідної якості поверхонь деталей, продуктивності процесу, стійкості інструменту, економічної ефективності та екологічності.

Література

1. Devillez, A. Dry machining of Inconel 718, workpiece surface integrity / A. Devillez, G. Le Coz, S. Dominiak, D. Dudzinski / J. Mat. Process Technol. – 2011. – vol. 211. – P. 1590–1598.

2. Zhang, S. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions / S. Zhang, J. Li, Y. Wang / J. of Cleaner Product. – 2012. – vol. 32. – P. 81–87.

3. Kaynak, Y. Evaluation of machining performance in cryogenic machining of Inconel 718 and comparison with dry and MQL machining / Y. Kaynak. – Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2014. – vol. 72. – P. 919–933.

4. Ezugwu, E. Effect of high-pressure coolant supply when machining nickel-base, Inconel 718, alloy with coated carbide tools / E. Ezugwu, J. Bonney / J. Mat. Process Technol. – 2004. – vol. 154. – P. 1045–1050.

5. Hoier, P. Characterization of tool wear when machining alloy 718 with high-pressure cooling using conventional and surface-modified WC–Co tools / P. Hoier, U. Klement, N. Tamil Alagan / J. Superhard Mat. – 2017. – vol. 39. – P. 178–185.

6. Kramator, D. High pressure cooling in the machining of hard-to-machine materials / D. Kramator, J. Копас // J. of Mech. Eng. – 2009. – vol. 55. – P. 685–694.

*Комарова Г.Л., Бондаренко К.С. Український
державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна*

РОЛЬ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЯКОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Ефективність роботи промислового підприємства залежить від багатьох факторів, серед яких важливе місце займає підвищення якості продукції та забезпечення її відповідності вимогам вітчизня-

них та міжнародних стандартів. В умовах жорсткої конкуренції в єдиній системі міжнародних економічних відносин основними умовами конкурентоспроможності підприємства є якість продукції, що виробляється, її ціна і здатність підприємства виконати вимоги замовника у встановлені терміни.

Якість продукції розглядається як спосіб задоволення споживача, і засіб зменшення витрат виробництва. Як показує практика, втрати підприємства через низьку якість продукції, спричинені виявленнями та усуненнями дефектів, можуть досягати до 30% від поточних витрат на виробництво продукції. Ця обставина призводить до необхідності розробки системи управління якістю підприємства, здатної при раціональному поєднанні матеріальних, тимчасових та вартісних витрат на підвищення якості продукції, забезпечити виробництво продукції, що задовольняє вимогам замовника.

В даний час питання підвищення якості продукції вирішуються на основі систем управління якістю підприємства, що відповідають вимогам міжнародних стандартів ISO серії 9000. Найважливішим елементом системи управління (менеджменту) якості підприємства є система його метрологічного забезпечення, що грає у СМЯ роль інформаційно-аналітичної основи управління (покращення) процесами та об'єктами, тобто. результативністю СУЯ підприємства.

Метрологічне забезпечення відрізняє найбільший обсяг вимог у рамках систем менеджменту якості, що включають не тільки безпосередні виміри в сукупності видів діяльності підприємства, а й повсюдна присутність вимірювань при моніторингу та аналізі інших видів діяльності, починаючи з контролю точності технологічних процесів підприємства і закінчуючи моніторингом продукції, що випускається, аудитом та адекватними коригувальними (керуючими) діями.

Відповідно до ДСТУ ISO 9001:2015 оцінка результативності СУЯ, тобто. правильності та повноти здійснення процесів, необхідних для СУЯ, управлінська діяльність керівництва підприємства, забезпечення ресурсами повинні проводитися на основі достовірної об'єктивної інформації, яку можна отримати тільки на основі вимірювань, що володіють необхідними точними показниками, повнотою та своєчасністю.

Оцінка відповідності метрологічного забезпечення підприємства вимогам, що пред'являються до СМЯ, передбачає контроль відповідності засобів вимірювань (наявність сертифіката про затвердження типу, первинної та періодичної повірки, працездатності, наявність документації), методик вимірювань, випробувального обладнання,

засобів контролю, планів проведення метрологічної експертизи вимогам, встановленим у обов'язкових нормативних документах.

Краснюк І.І. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир, Україна

СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЦІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Титан і титанові сплави використовуються у багатьох областях машинобудування завдяки їх унікальним механічним, фізичним та хімічним властивостям.

Існують різноманітні види титанових сплавів, які мають свої особливості. Сплав ВТ5-1 має добру зварюваність, жароміцність, та пластичність; сплав ВТ6 характеризується оптимальним поєднанням технологічних і механічних властивостей та його можна термічно зміцнити; жароміцний сплав ВТ8 призначений для довготривалої роботи при 450–500 °С під навантаженням. Всі вищезгадані сплави виготовляються широкою номенклатурою прокатних, профільних та ливарних матеріалів та використовуються літако- та ракетобудуванні, хімічній та інших галузях промисловості.

Висока міцність, низька теплопровідність, висока хімічна активність та інші властивості матеріалів зумовлюють його низьку оброблюваність. Постає проблема обробки титанових сплавів та отримання необхідної якості поверхні.

Через специфічні властивості титану та його сплавів фінішна обробка шліфуванням є обмежено можливою через побічні ефекти, такі як припали, надлишкові напруги та дефектні структури, які впливають на міцність виробів. У таких випадках віддають перевагу фінішній лезовій обробці.

Для лезової обробки деталей з титану та інших матеріалів високої твердості ефективно застосування різців, оснащених надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Така технологія отримала назву «тверде точіння». Тверде точіння є альтернативою шліфування та забезпечує у 3–4 рази більшу продуктивність обробки. Різальний інструмент на основі КНБ має стійкість інструменту у 2–3 рази вищу порівняно з використанням твердосплавного інструменту.

При обробці титану та титанових сплавів важливим фактором ефективною та продуктивною обробки матеріалами з КНБ є стійкість інструменту. Відомо, що ряд попередніх досліджень були направлені на забезпечення вибору раціональних режимів різання при мінімальному зношуванні ріжучого інструменту. За допомогою математичного моделювання враховуючи відповідні параметри матеріалу та інструмента обраховуються залежності стійкості інструмента від швидкості, подачі та товщини різання.

Одним із важливих факторів у процесі обробки є хімічний склад та властивості оброблюваного матеріалу. Наявність металів, хімічно активних до кубічного нітриду бору (наприклад, хром) має позитивний вплив на зношування пластин з КНБ.

Підвищення стійкості інструмента при обробці титанових сплавів лягає в основу мого дисертаційного дослідження.

Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Смоквина В.В.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ,
Федорович В.О., Островець Є.В.
НТУ «ХП», Харків, Україна

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В ПИТАННЯХ, ПРИСВЯЧЕНИХ ПРИРОДНІЙ ЧИ НАБУТІЙ ДЕФЕКТНОСТІ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ

При розгляді питань алмазно-абразивної обробки, коли мова йде про зерна шліфпорошків алмазів в алмазному інструменті, то зазвичай їх розглядають як суцільний матеріал. Це в певній мірі справедливо для зерен алмазів високої міцності АС160–АС400, а ось для зерен невеликої міцності АС6–АС20, характерних для застосування в шліфувальному інструменті, звичайною є їх певна природна дефектність у вигляді певної поруватості та наявності домішок і включень, що нами більш детально викладено у монографії [1].

В даній роботі ми основну увагу приділяємо питанням сучасних розробок (за останні 4 роки), пов'язаних із виявленням особливостей природної або спрямованої набутої дефектності зерен синтетичних алмазів, які є у науковій літературі [2–8].

В статті [2] показано, що пористі алмази мають унікальні перспективи застосування завдяки розвиненій поверхні, великому співвідношенню площі поверхні до об'єму і високій здатності до самозаточування. Повідомляється про досить простий та ефективний, за твердженням авторів, метод вирощування великих пористих монокристалічних алмазів міліметрового масштабу із застосуванням методів високого тиску і високої температури (HP-HT). Ріст пористих кристалів алмазу обумовлений мінімізацією поверхневої енергії за рахунок прикріплення маленьких кристалів до великої поверхні затравочного кристалу у металічному розчиннику.

В статті [3] доведено позитивні ефекти від застосування пористих алмазів. Звичайний алмаз має такий недолік, як погане самозаточування при шліфуванні. Крім того, він погано змочується керамічною зв'язкою, що призводить до меншого зчеплення зв'язуючого з алмазом. Для вирішення цих проблем в даній роботі методом термохімічної корозії був отриманий новий тип пористого алмаза з високими властивостями до самозаточування. Виявлено значне збільшення об'єму пор та питомої поверхні пористого алмаза, а також були поліпшені сила утримання та змочування пористих зерен керамічною зв'язкою. Пористі алмази значно збільшили ефективність і точність шліфування. Так, у порівнянні із звичайними алмазними інструментами пористі показали підвищення ефективності шліфування на 29,6%, зниження величини коефіцієнта шліфування на 15,5% та шорсткості оброблюваної поверхні на 27,5%, а також зменшення кількості подряпин на поверхні оброблюваної кремнієвої пластини [3].

В роботі [4] звернена увага на збільшення величини міжфазної теплопередачі на таких шорстких (пористих) алмазах. Розуміння механізму міжфазної теплопередачі є ключем до поліпшення теплопровідності алмазно-мідних композитів. Алмазні частинки травилися розчином солі для отримання різної шорсткої поверхні, а надалі покривалися подвійними шарами вольфраму і міді. Надалі спіканням при гарячому пресуванні отримували композити алмаз/мідь. При шорсткості поверхні алмаза у 11,1 мкм, отримана максимальна теплопровідність 602 Вт/(м·К), що на 12% вище, аніж у непротравлених композитів алмаз/мідь. Шорсткість значно збільшує площу контакту між алмазом і мідною матрицею, забезпечуючи більше каналів теплопередачі і вторичний процес теплопередачі на границі поділу алмаз/матриця. Таким чином, отримання композитів з високою теплопро-

відністю поліпшується за рахунок збільшеної шорсткості поверхні алмазних частинок.

В статті [5] надається приклад іншого впливу на поверхню алмазів для зміни шорсткості їх поверхні. Тут шляхом контактного травлення металом сферичного порошку титану на поверхні синтетичного алмазу були створені рівномірно розподілені мікрорисунки. Результати засвідчили, що частка узорчатої області на поверхні алмаза зменшується із збільшенням розміру частинок сферичного порошку Ti. Але розмір і глибина мікровізерунків збільшується. Крім того, як частка площі рисунку на поверхні алмаза, так і розмір та глибина візерунків збільшується із підвищенням температури травлення. Звернена увага на те, що травлення алмаза було досягнуто із застосуванням порошку Ti без появи графітизації алмаза. Це дозволяє досягти утворення необхідних мікрорисунків на поверхні алмаза [5].

В статті [6] наведений ще один варіант досягнення розвиненої поверхні алмазного абразиву. Агломеровані алмазні (AD) абразиви з декількома ріжучими кромками виготовляються з алмазу і кераміки (рис. 1). Стабільна велика висота виступу і наявність гострих кромок абразивів AD забезпечують гарну продуктивність притирки сапфіру. Стабільна висота виступання абразивів AD пояснюється двома моментами: по-перше, шорстка поверхня абразиву AD з декількома гострими ріжучими кромками покращує зчеплення між абразивами і матрицею і, по-друге, алмазні частинки, що відшарувалися, з-за мікроруйнування абразивів AD прискорюють зношування матриці [6].

В роботі [7] вивчена морфологічна і структурна еволюція, яка відбувається при графітизації кристалів синтетичного алмазу кубооктаедричної форми при температурі 1600 °C у процесі вакуумного відпалу (рис. 2). Найбільш розвиненими гранями вихідних кристалів алмазу є октаедричні {111} і кубічні {100} грані. Встановлено, що графітизація починається з вершин і ребер кристалів. Грані {111} більш схильні до графітизації, ніж грані {100}. Відпал кристалів частково графітизованого алмаза в повітрі допоміг виявити зв'язок графітових структур з вихідним алмазом. Графітові структури, що утворюються при повній графітизації кристалів алмаза, зберігали форму вихідних кристалів [7].

В роботі [8] наведені особливості спрямованого отримання пор у вуглєці. Продемонстрована нова каталітична поведінка при свердлінні, при якій каталітичні наночастинки металів (Ru, Ni, Au, Pt та

ін.), за допомогою хімічного травлення, термодинамічно каталізують руйнування поверхневого бар'єрного шару і динамічно прискорюють швидкість травлення анізотропного вуглецю.

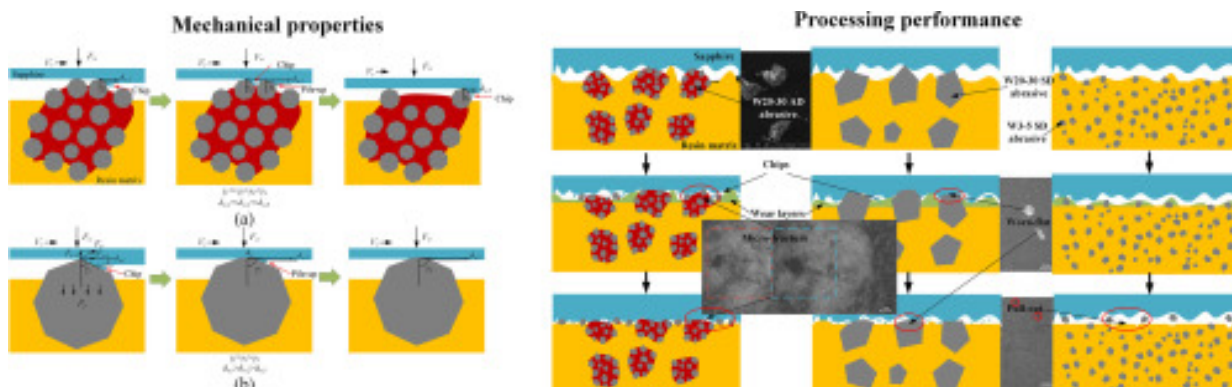


Рис. 1 – Приклади агломерованих алмазних абразивів і їх розташування в робочому шарі круга [6]

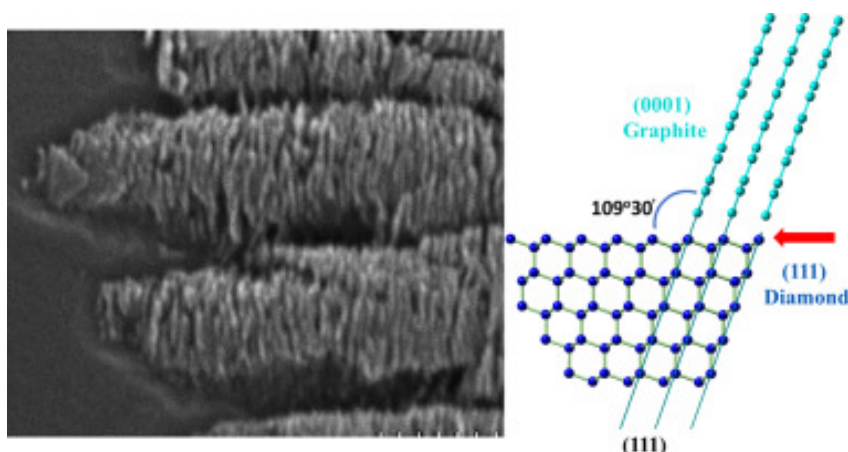


Рис. 2 – Морфологічна і структурна еволюція на поверхні кристалів алмазу при графітизації [7]

Свердла з благородних і неблагородних металів можливо розташовувати на будь-якій глибині вуглецю. Розроблені металічні наносвердла, такі як Ru, Ni, Pt та Au, за допомогою яких можливо раціонально спроектувати контрольований розмір пор і регульовану глибину отвору в матеріалі гібридизованого карбону sp^2-sp^3 .

Література

1. Ільницька, Г.Д. Алмази для шліфувального інструменту, отримані в різних системах / Г.Д. Ільницька, В.І. Лаврінченко, В.В. Смоквіна; за ред. В.І. Лаврінченка. – К. : Наук. думка, 2021. – 167 с.
2. Wang, Junpu. Porous single-crystal diamond / Junpu Wang, Yuzhu Su, Yi Tian et al. // Carbon. – 2021. – vol. 183. – 15. – P. 259–266.

3. Li, Jian-wei. Research on the bonding properties of vitrified bonds with porous diamonds and the grinding performance of porous diamond abrasive tools / Jian-wei Li, Wen-jun Fang, Long Wan et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – vol. 123. – 108841.
4. Wu, Xinzhi. Effect of surface roughening on the interfacial thermal conductance of diamond/copper composites / Xinzhi Wu, Liyang Li, Wei Zhang et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2018. – vol. 98. – 107467.
5. Liu, Di. Micropatterning of synthetic diamond by metal contact etching with Ti powder / Di Liu, Jian Zhao, Yuzhen Lei et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – vol. 129. – 109299.
6. Chen, Jiapeng. Relationship between mechanical properties and processing performance of agglomerated diamond abrasive compared with single diamond abrasive / Jiapeng Chen, Yongwei Zhu, Jianbin Wang et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2019. – vol. 100. – 107595.
7. Bokhonov, Boris B. Sharafutdinov. Graphitization of synthetic diamond crystals: A morphological study / Boris B. Bokhonov, Dina V. Dudina, Marat R. Sharafutdinov // *Diamond and Related Mat.* 2021. – vol. 118. – 108563.
8. Yang, Chu-Shu. Metal nano-drills directionally regulate pore structure in carbon / Chu-Shu Yang, Zhuang Sun, Cheng-Hao Cui et al. // *Carbon.* – 2021. – vol. 175. – 30. – P. 60–68.

*Лавріненко В.І., Пасічний О.О., Скрябін В.О.,
Ситник Б.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Кашинський І.С., Тищенко В.А.
Дніпровський державний технічний університет,
Кам'янське, Україна*

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В ОТРИМАННІ CVD-АЛМАЗІВ ТА ОСОБЛИВОСТЯХ ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЮ АЛМАЗІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЇХ ОБРОБКИ

CVD-алмази нині отримують певне застосування в алмазному інструменті, що відображено в огляді [1]. На момент його складання він максимально був обмежений 2020 роком, тому в даній роботі нами зупинена увага саме на сучасних (останні 3 роки) розробках в

отриманні CVD-алмазів та особливостях впливу на поверхню алмазів для поліпшення їх обробки.

А роботі [2] CVD-алмазні плівки (від нанокристалічних до полікристалічних) були синтезовані методом хімічного осадження з парової фази, де гаряча графітова пластина застосовувалася для термічної активації метану і водню. Застосовували тиск від 40 до 100 Тор, концентрацію метану у водні від 0,5 до 2 об.%, температуру підкладки від 1020 до 1140 °С. Була отримана максимальна швидкість росту 0,8 мкм/ч, а якість порівняна із алмазними плівками, синтезованими методом хімічного осадження з газової фази на гарячій металічній нитці. Отримані алмазні плівки не містять металічних домішок і можуть застосовуватися у електронних та біомедицинських пристроях [2].

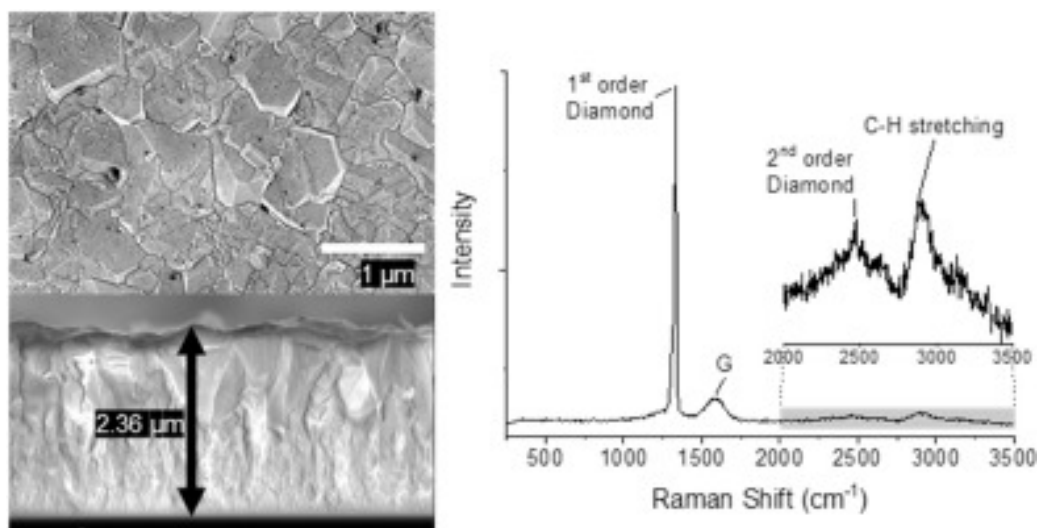


Рис. 1 – Алмазна плівка, синтезована CVD методом із застосуванням гарячої графітової пластини [2]

В роботі [3] досліджено вплив дифузії карбону на ранній стадії на мікроструктури карбідів хрому, утворених у твердотільній (S/S) реакції розділу між площиною (100) CVD алмазу та напиленим Cr. Доведено, що каталітично перетворений неупорядкований вуглець (DC) був першою фазою, що утворилася на ранній стадії реакції S/S. Аномальна дифузія карбону у розпиленому Cr спостерігалася вперше, що пов'язано з ефектом закріплення поверхні Cr на дифузії карбону і, отже, впливає на міжфазові мікроструктури. Тобто дифузія карбону впливає на мікроструктуру розділу в шарі Cr. Досліджено поведінку утворення карбідів Cr_7C_3 і Cr_{23}C_6 , і було виявлено, що останній є домінуючою фазою, що утворюється в реакції на межі розділу S/S при 500 і 600 °С. Виявлено, що концентрація вну-

трішньої деформації на межі розділу алмазу та карбідів у процесі утворення значною мірою зменшилася, коли між алмазом і карбідами хрому утворилася когерентна межа розділу.

Робота [4] є продовженням раніше опублікованих досліджень впливу обробки воднем на структурні властивості полікристалічних CVD алмазних шарів з різним розміром зерна. Досліджено гідрогенізовані алмазні шари, які були окислені в два етапи: спочатку УФ-опроміненням в повітрі, а надалі відпалом при 300 °С в повітрі. Встановлено, що мікрокристалічні та нанокристалічні шари алмаза по-різному поведуть себе при окисленні. Ефективність окислення залежить від морфології поверхні алмаза і форми аморфної карбонової фази. В цілому мікрокристалічні зразки легше окислювалися при УФ-обробці. Це може бути пов'язане як з розмірами алмазних зерен, так і з менш впорядкованою формою аморфної карбонової фази, присутньої в цих зразках. Крім того, дослідження засвідчили, що в мікрокристалічному зразку з найбільш крупними зернами алмаза спостерігається невелике впорядкування фази аморфного карбону в обох процесах окислення, що свідчить про графітизацію sp^2/sp^3 . Окислення озоном приводить до адсорбції окисленого вуглецю на поверхні гідрогенізованого нанокристалічного алмаза. Відпал в повітрі приводить до десорбції груп СО з поверхні алмаза і зменшенню концентрації зв'язків СНх [4].

В статті [5] мікротекстура алмазного покриття CVD має функцію утримання частинок зносу і може в певній мірі знизити коефіцієнт тертя за рахунок графітизації. Встановлено, що степінь графітизації мікротекстури алмазного покриття знижується на порядок в межах концентричних кіл. В тей же час вона корелює з щільністю мікротекстури. Глибина текстури спричиняє слабкий позитивний вплив на степінь графітизації. Графітизація текстурованої поверхні дозволяє швидко знизити і стабілізувати коефіцієнт тертя на початковому етапі тертя (рис. 2). Після стабілізації коефіцієнт тертя алмазного покриття знижується із підвищенням степені графітизації. Шар графіту на мікротекстурованій поверхні з алмазним покриттям може поліпшити характеристики сухого тертя фрикційної поверхні. Це має велике значення для розширення області застосування алмазних покриттів, і підвищення точності обробки інструментів з алмазним покриттям.

Монокристалічний алмаз SCD нині набуває поширення завдяки своїм оптоелектронним властивостям [6]. Але його низька оброблюваність обумовлена надзвичайно високою твердістю і хімічною

інертністю. Результати засвідчили, що реакція Фентона може викликати окислення на поверхні SCD і покращити видалення матеріалу. Реакція Фентона між Fe^{2+} і електрогенерованою H_2O_2 утворює гідроксильні радикали ($\bullet\text{OH}$) як потужний окислювач. Додавання алмазного абразиву до реакційного розчину Фентона привело до максимального видалення поверхневого шару. Тобто, ефект від хімічної реакції і механічного видалення підвищує ефективність обробки SCD.

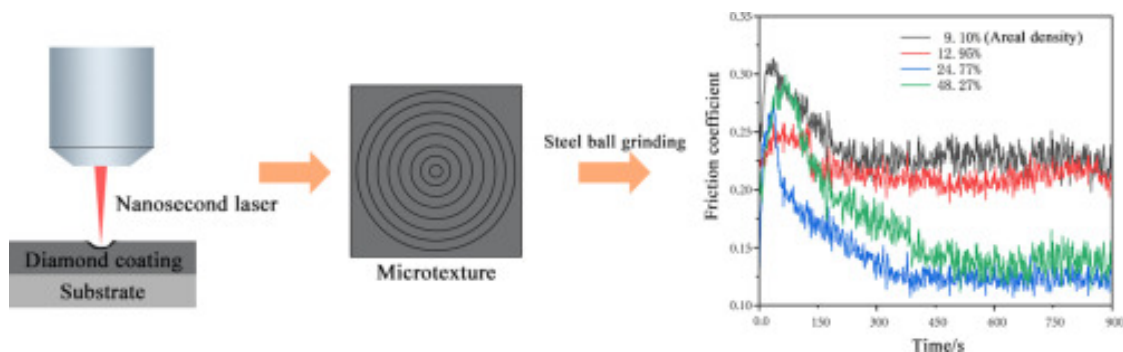


Рис. 2 – Вплив мікротекстури алмазного CVD покриття на коефіцієнт тертя [5]

Як бачимо, важливим для обробки алмазів є вплив на їх поверхню. В статті [7] досліджувалося питання плавлення алмаза. Запропонований метод розрахунку верхньої межі температури плавлення алмаза, заснований на вивченні в ньому планарних дефектів.

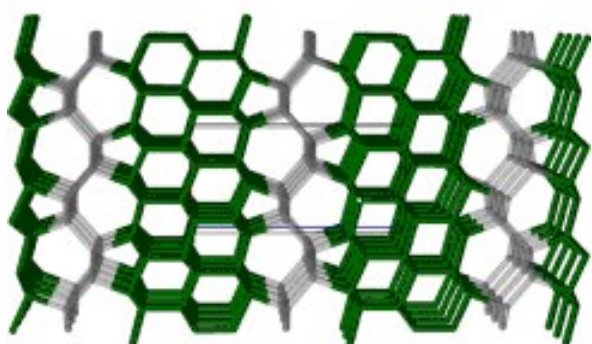


Рис. 3 – Ілюстрація до втрати жорсткості алмазу до зрушення [7]

Накопичення певного типу планарних дефектів призводить до розм'ягчення міжатомних зв'язків і, у підсумку, до втрати жорсткості алмазу і впорядкованості кристалу (рис. 3). Верхня межа температури плавлення, визначена в даній роботі, складає біля 4750 К при атмосферному тиску і збільшується з тиском зі швидкістю 35 К/ГПа.

Виявилось, що експериментально встановлені температури плавлення алмаза в низькобаричній частині фазової діаграми (біля 15 ГПа) є близькими до передбачуваної верхньої межі температури плавлення.

На закінчення даного огляду звернемо увагу на розробку з шліфувального круга діаметром 3,2 мм який був виготовлений з нанополікристалічного алмаза (NPD), отриманого шляхом прямого конверсійного спікання під високим тиском і температурою [8]. Оскільки NPD має надзвичайно високу твердість (біля 130 ГПа), то це дає можливість належним чином оцінити абразивні властивості різних природних і синтетичних монокристалічних алмазів, твердість яких зазвичай складає від 70 до 125 ГПа. Крім того, оскільки діаметр круга є малим, то це також дає можливість виміряти стійкість до стирання в найдрібнішій області в декілька десятків мкм в кристалі алмазу. Показано, що можливо дослідити, як змінюються абразивні властивості синтетичних алмазів типу Ib та природних алмазів типу Ia в залежності від розподілу домішок чи кристалічних дефектів в кристалах. Встановлено, що синтетичний алмаз типу Ia має дуже стабільну стійкість до стирання. Стійкість до стирання синтетичного алмазу типу Ib варіюється в залежності від розподілу домішок. Опір стиранню природного алмазу типу Ia коливається в залежності від полос росту [8].

Література

1. Lavrinenko, V.I. CVD diamonds in diamond tools: features and properties, peculiarities of processing, and application in modern diamond tools (Review) / V.I. Lavrinenko // *J. Superhard Mat.* – 2022. – vol. 44. – № 6. – P. 65–87.
2. Han, Lee Kee. CVD diamond growth: Replacing the hot metallic filament with a hot graphite plate / Kee Han Lee, Won Kyung Seong, Rodney S. Ruoff // *Carbon.* – 2022. – vol. 187. – P. 396–403.
3. Liu, Zhuo. Influences of early-stage C diffusion on growth microstructures in solid-state interface reaction between CVD diamond and sputtered Cr / Zhuo Liu, Wei Cheng, Dekui Mu et al. // *Mat. Characterization.* – 2023. – vol. 196. – 112603.
4. Dychalska, Anna. The effect of UV and thermally induced oxidation on the surface and structural properties of CVD diamond layers with different grain sizes / Anna Dychalska, Marek Trzcinski, Kazimierz Fabisiak et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – vol. 121. – 108739.
5. Wu, Fan. Research on the influence of diamond coating microtexture on graphitization law and friction coefficient / Fan Wu, Niu Liu, Yuping Ma et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – vol. 127. – 109153.

6. Wang, Xinhao. Characterization of Fenton reaction-based material removal on single crystal diamond surface / Xinhao Wang, Qiang Xiong, Jiabin Lu et al. // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – vol. 129. – 109320.

7. Kondrin, M.V. Intrinsic planar defects in diamond and the upper limit on its melting temperature / M.V. Kondrin, Y.B. Lebed, V.V. Brazhkin // *Diamond and Related Mat.* – 2020. – vol. 110. – 108114.

8. Sumiya, H. Micro-scale abrasion investigations of single-crystal diamonds using nano-polycrystalline diamond wheels / H. Sumiya, K. Harano // *Diamond and Related Mat.* – 2023. – vol. 126. – 109108.

Лаврінєнко В.І., Скрябін В.В., Скрябін В.О. 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 ПИТАННЯХ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ПЕРЕХОДОМ РЕЖИМУ КРИХКОГО РІЗАННЯ В ПЛАСТИЧНИЙ ДЛЯ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ

Високотверді керамічні матеріали, особливо інструментальні, нині широко застосовуються у промисловості. Їх ефективна алмазна обробка є важливою для сучасного виробництва. Це відноситься як до металокерамічних твердих сплавів, так і до мінералокераміки. Останнім часом набуває практичного застосування пластичний режим обробки крихких матеріалів, що нами для інструментальної кераміки частково викладено в статті [1].

В даній роботі ми основну увагу приділяємо питанням сучасних розробок (за останні 7 років), пов'язаних із переходом до пластичного режиму різання для крихких матеріалів, які є у науковій літературі [2–9].

В роботі [2] з-за труднощів безпосереднього спостереження за зоною різання під час переходу від крихкого до пластичного режиму різання за допомогою експериментальних методів було проведено дослідження молекулярної динаміки (MD) для вивчення явищ на атомному рівні, наприклад, фазового перетворення, розподілу напружень і зародження тріщин у наномасштабі недеформованої стружки. Критичну товщину недеформованої стружки, змодельова-

ну за допомогою MD, підтверджено експериментом із врізним різанням. MD-моделювання показує, що напруження розтягування існує навколо зони різання та збільшується разом із недеформованою товщиною стружки, що зрештою викликає крихкі руйнування.

В статті [3] розглянутий сучасний стан в'язкого шліфування крихких матеріалів і викладаються наукові принципи, покладені в основу відповідних процесів механічної обробки, насамперед шліфування в пластичній області (рис. 1). Розглянуті технічні аспекти процесу шліфування з урахуванням вимог до кругу і таких змінних, як характеристики зернистості, швидкість деформації і температура. Увагу приділено фундаментальній ролі процесів видалення матеріалу застосуванням механіки наноподряпин у якості основи для аналізу. Звернена увага на вплив різних мікроструктур матеріалу у визначенні механізмів локальної деформації і наступного видалення матеріалу.

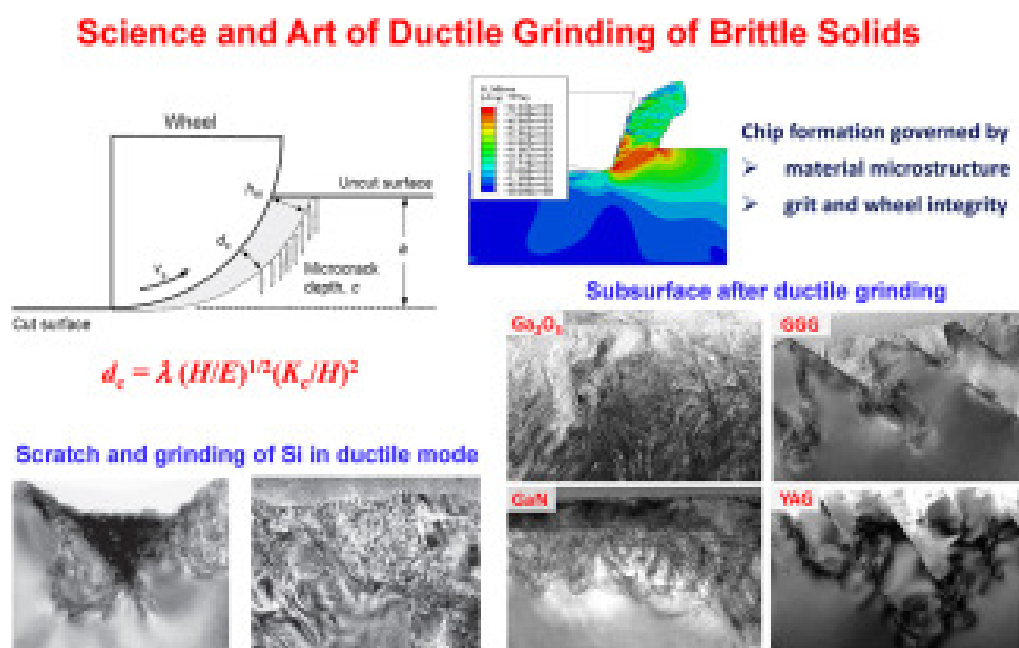


Рис. 1 – Наукові принципи, покладені у основу відповідних процесів механічної обробки крихких матеріалів [3]

В статті [4] показано, що з-за стохастичного характеру топографії абразивного інструменту абразивні процеси важко моделювати і якісно оцінювати. Для вирішення цього, нова об'єднувальна модель моделювання визначається через так звану теорію агресивності, що охоплює довільну геометрію і кінематику переміщення заготовки відносно абразивної поверхні. Ключовим параметром є точкова агресивність, що уявляє собою безрозмірну скалярну величину на основі векторного поля відносної швидкості і векторного

поля нормалей до абразивної поверхні. Звернемо увагу на те, що у статті [4] цей фундаментальний параметр процесу напряму пов'язаний із типовими вихідними даними процесу, такими як питома енергія, знос абразивного інструменту та шорсткість поверхні. Саме на зв'язок між цими показниками абразивного процесу також зверталася увага і в статті [5]. Теорія агресивності експериментально підтверджується її застосуванням до різних абразивних процесів: шліфівка та алмазна правка, де число агресивності корелює із вищезгаданими вихідними даними процесу [4].

В статті [6] розроблена методологія визначення поведінки пластичної деформації на основі високошвидкісної кінозйомки і індукційного попереднього нагріву під час різання. Пластична деформація та підвищення температури в зоні первинного зсуву визначалися технікою кореляції дрібномасштабного цифрового зображення та рівнянням теплоконвекції–провідності відповідно, таким чином перетворюючи випробування механічної обробки на високодинамічний метод випробування матеріалів. Демонструється розм'якшення матеріалу при деформації в первинній зоні зсуву та зниження ефекту термічного розм'якшення в умовах швидкого нагрівання. Це дозволяє поглибити розуміння поведінки матеріалу під час процесу різання [6].

Тепер розглянемо наведені вище підходи з переходу до пластичного режиму різання стосовно до конкретних матеріалів.

Незважаючи на те, що монокристали нітриду галію (GaN) є найперспективнішими напівпровідниковими матеріалами третього покоління, механізми деформації та видалення монокристалів нітриду галію (GaN), які беруть участь у процесі надточної обробки, недостатньо розкриті [7]. Були проведені випробування на самообертання кристалів GaN, і результати показали, що розмір абразиву мав значний вплив на морфологію поверхні та шорсткість у порівнянні зі швидкістю обертання круга та швидкістю подачі. У міру того, як розмір абразиву зменшився з 18 мкм до 1,6 мкм, крихка поверхня з переважанням руйнування поступово змінилася на повністю пластичну поверхню без крихких руйнувань і тріщин. Ультратгладеньку поверхню з шорсткістю 1 нм було отримано за допомогою шліфувальних кругів № 8000, що вказує на те, що технологія обробки «шліфування замість полірування» кристалів GaN була досягнута. Механізм пластичної деформації кристалів GaN, викликаній надточною механічною обробкою, досліджувався за допомогою методу поперечного перерізу та моделювання MD. Як експеримен-

тальні результати, так і результати моделювання показали, що пластична деформація, яка бере участь у процесі дряпання, була викликана утворенням полікристалічних нанокристалів. У зоні пластичної деформації спостерігалось очевидне явище розшарування. Це дослідження покращує розуміння механізмів деформації та пошкодження кристалів GaN, які беруть участь у процесі надточної обробки, і має важливе значення для досягнення високої ефективності та високої точності виготовлення компонентів GaN [7].

Інший приклад ми бачимо для м'яко-крихких кристалів, таких як дигідрофосфат калію ($\text{K}_2\text{HPO}_4/\text{KDP}$) та фторид кальцію (CaF_2), які широко застосовуються в лазерних установках інерційного термоядерного синтезу (ICF). З-за їх низьких твердості та в'язкості руйнування, а також крайньої анізотропії цих механічних властивостей на різних площинах кристалу, цей тип матеріалу важко піддається обробці. Пластичний режим різання був запропонований для отримання поверхні без тріщин при їх обробці, і в цьому випадку практична незрізаема товщина стружки (UCT) повинна бути меншою за критичне значення незрізаної товщини стружки при переході з крихкого стану в пластичний (BDT) [8]. Для кристалів KDP було встановлено, що критична UCT складає менше 340 нм, а це означає, що тільки коли практична UCT нижче цього значення, матеріал може бути видалений у пластичному режимі. Фактично критичний UCT переважно визначається механічними властивостями (твердістю, модулем пружності, тріщиностійкістю) оброблюваних матеріалів, а в тей же час ці властивості тісно пов'язані з температурою. Наприклад, твердість і модуль пружності реакційно-зв'язаного карбіду кремнію (RB-SiC) можуть зменшитися на 46,1% і 41,8% відповідно при 1200 °C у порівнянні із значеннями при кімнатній температурі. Тобто, припускається, що температура спричиняє основний вплив на критичні UCT (наприклад, BDT режимів різання), впливаючи на механічні властивості. Якщо це так, то це може змінити розуміння механізму видалення матеріалу для кристалів KDP, що приведе і до подальшої фундаментальної еволюції методів різання і, в підсумку, до поліпшення оброблюваності і ефективності обробки цієї групи м'якокрихких матеріалів [8].

Оскільки нами вище була згадана кераміка (RB-SiC), то завершимо цей огляд саме на ній [9]. Реакційно-зв'язана кераміка з карбіду кремнію (RB-SiC), яка є одним з кращих кандидатів для виготовлення великих оптичних дзеркал, важко піддається механічній обробці з-за її високої твердості і крихкості. Гібридний процес електроерозійного

алмазного шліфування (EDDG) якраз демонструє потенціал для покращення оброблюваності RB-SiC шляхом поєднання електроерозійної обробки (EDM) і алмазного шліфування. Однак цей гібридний процес призводить до пошкоджень, які відрізняються від пошкоджень у звичайних процесах через одночасну дію EDM та алмазного шліфування. У дослідженні [9] було вивчено пошкодження (поверхневі та підповерхневі), спричинені взаємодією між EDM та алмазним шліфуванням під час EDDG RB-SiC. Встановлено, що зони електроерозійної обробки і шліфовки мають відмінну топографію поверхні і різні домінуючі механізми видалення матеріалу (рис. 2). Збільшення енергії розряду сприяло пластичному видаленню матеріалу та розкладу SiC. Таким чином, було отримано більш тонкий підповерхневий шар пошкодження порівняно з таким, що є у зоні меншого термічного впливу [9].

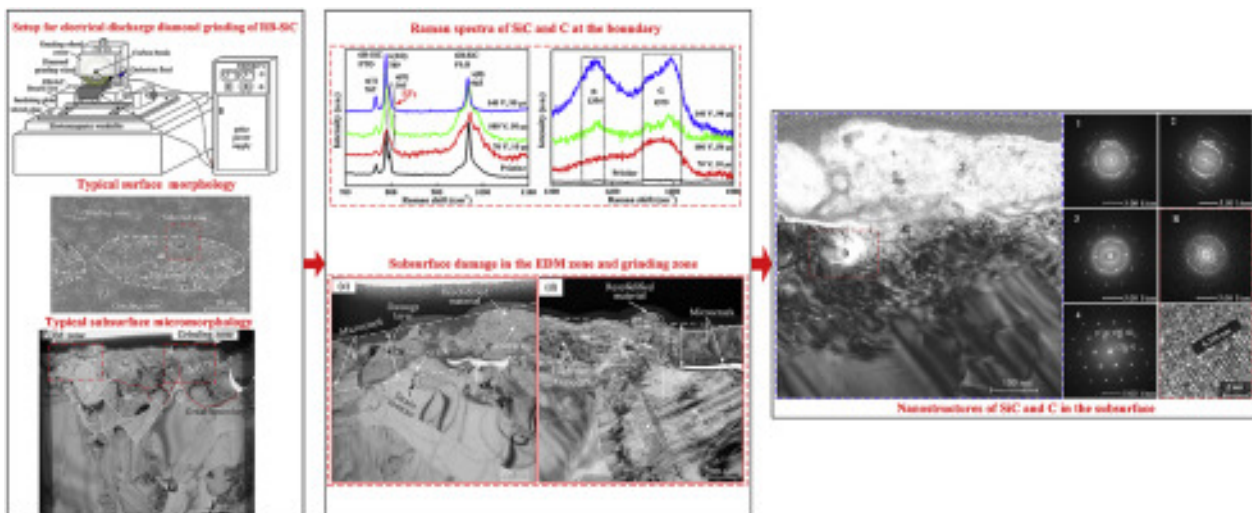


Рис. 2 – Особливості впливу EDM на поверхню реакційно-зв’язаної кераміки з карбиду кремнію (RB-SiC) [9]

Література

1. Лавріненко, В.І. Визначення умов досягнення пластичного режиму алмазного шліфування керамічних матеріалів з позиції оцінки енергетичних витрат під час обробки / В.І. Лавріненко, В.Ю. Солад // Надтверді мат. – 2023. – № 1. – С. 81–90.
2. Xiao, Gaobo. Molecular dynamics modelling of brittle–ductile cutting mode transition : Case study on silicon carbide / Gaobo Xiao, Suet To, Guoqing Zhang // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2015. – vol. 88. – P. 214–222.
3. Huang, Han. Science and art of ductile grinding of brittle solids / Han Huang, Xuliang Li, Dekui Mu, Brian R. Lawn // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2021. – vol.161. – 103675.

4. Dražumerič, Radovan. On geometry and kinematics of abrasive processes: The theory of aggressiveness / Radovan Dražumerič, Jeffrey Badger, Roope Roininen, Peter Krajnik // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2020. – vol. 154. – 103567.

5. Lavrinenko, V.I. To the analysis of the estimate of energy expenditures in the diamond abrasive treatment by wheels from superhard materials / V.I. Lavrinenko // J. Superhard Mat. – 2022. – vol. 44. – № 4. – P. 285–291.

6. Zhang, Dong. Characterization of material strain and thermal softening effects in the cutting process / Dong Zhang, Xiao-Ming Zhang, Guang-Chao Nie et al. // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2021. – vol. 160. – 103672.

7. Li, Chen. Phase transition and plastic deformation mechanisms induced by self-rotating grinding of GaN single crystals / Chen Li, Yinchuan Piao, Binbin Meng et al. // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2022. – vol. 172. – 103827.

8. Lium, Qi. Temperature effect on the material removal mechanism of soft-brittle crystals at nano/micron scale / Qi Lium, Zhirong Liao, Dragos Axinte // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2020. – vol. 159, Part B. – 103620.

9. Rao, Xiaoshuang. Surface and subsurface damage of reaction-bonded silicon carbide induced by electrical discharge diamond grinding / Xiaoshuang Rao, Feihu Zhang, Yanjun Lu et al. // Int. J. of Machine Tools and Manuf. – 2020. – vol. 154. – 103564.

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

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ НА ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ В УМОВАХ ВХОДЖЕННЯ УКРАЇНИ В ЄС

Спад виробництва та зниження економічного потенціалу України негативно вплинули на якість і конкурентоспроможність зварювальної продукції, робіт, послуг, впровадження сучасних методів управління якістю. На сучасному етапі важливою умовою успішного функціонування зварювального підприємства є випуск високоя-

кісної продукції, що сприяє підвищенню її конкурентоспроможності на вітчизняних та зарубіжних ринках збуту.

Інтеграція в європейське співтовариство обумовлює формування дієвої політики щодо забезпечення якості продукції зварювальних підприємств в напрямках впровадження сучасних методів управління якістю та діловою досконалістю, розроблення і впровадження систем управління якістю, екологічного управління, інших систем управління, принципів всеохоплюючого управління якістю, визнаних у Європі та в світі.

Проблема управління якістю продукції зварювальних підприємств може бути вирішена за допомогою обґрунтування нових методологічних підходів з побудови ефективної системи якості продукції.

Динамічність вимог до якості зварювальної продукції зумовлюють необхідність застосування системного підходу до управління якістю продукції як такого, що дозволяє враховувати взаємозв'язки між суб'єктами та об'єктами управління якістю, досліджувати закономірності їх зміни, забезпечувати комплексний вплив на характеристики та рівень якості. У зв'язку з цим актуальним завданням є обґрунтування структури системи управління якістю зварювальної продукції на підприємстві для забезпечення виконання нею функціонального призначення.

Використання в практиці вітчизняних підприємств інтегрованих систем управління якістю дозволяє підвищити якість зварювальної продукції, конкурентоспроможність підприємств за рахунок застосування системного і процесного підходів до управління підприємством, інвестицій в інтелектуальний капітал.

Концептуально інтегровану систему управління якістю зварювальної продукції слід розглядати як сукупність основних підсистем, що знаходяться у постійній взаємодії та взаємозв'язку, впливають на загальну ефективність системи і спрямовані на підвищення якості продукції.

Інтегрована система управління якістю продукції (ІСУЯП) представляє собою соціально-економічну систему, яка об'єднує в собі взаємопов'язані підсистеми управління якістю, підґрунтям якої виступають методи вимірювання якості праці та принципи управління якістю продукції, які є базовими згідно міжнародних стандартів ISO 9000.

Кожна підсистема, що охоплює ту чи іншу сферу управління якістю продукції, покликана вирішувати певні задачі щодо формування якості праці та підвищення якості продукції. Доцільно виді-

ляти такі підсистеми управління якістю, як: управління трудовим потенціалом підприємства, планування якості, стимулювання якості праці, технічного оснащення виробничого процесу виготовлення продукції, контролю якості продукції, інформації, аналізу якості праці та продукції, оцінки якості праці.

Інтегрована система управління якістю зварювальної продукції має низку внутрішніх і зовнішніх обмежень, тісно пов'язана з іншими підсистемами загальної системи управління підприємством – цільовою, функціональною, організаційною, мотиваційною, соціальною, економічною, науково-технічною і технологічною.

Запропонована інтегрована система управління якістю продукції є інструментом забезпечення високої якості праці на основі максимальної реалізації трудового потенціалу та досягнення цілей в області якості. Її особливістю є методологічний підхід до інтеграції процесів управління трудовим потенціалом, що дозволить активізувати розвиток інтелектуального капіталу зварювального підприємства з метою підвищення якості продукції.

Слід акцентувати увагу на тому, що активний розвиток процесів глобалізації вимагає зміни систем управління якістю, які існують на вітчизняних зварювальних підприємствах. Одним з прогресивних напрямів таких змін є впровадження інтегрованих систем управління якістю, які відповідають вимогам декількох міжнародних стандартів на системи якості. На жаль, в українській практиці лише на провідних підприємствах розроблені, сертифіковані і функціонують інтегровані системи управління якістю продукції, хоча переваги їх впровадження очевидні. Серед цілей створення інтегрованих систем управління якістю продукції є: забезпечення стійкого розвитку підприємства і розширення експортного потенціалу; покращення екологічних і техніко-економічних показників зварювального виробництва, його безпеки; забезпечення взаємозв'язків усіх підрозділів підприємства. Впровадження інтегрованих систем управління якістю зварювальної продукції є стратегічним рішенням щодо розвитку підприємства і має відбуватися із врахуванням його економічних, екологічних, технологічних, соціальних та інших показників та характеристик.

Основними перешкодами на шляху впровадження інтегрованих систем управління якістю зварювальної продукції є те, що більшість промислових об'єктів України не володіють сертифікованими відповідно до вимог міжнародних стандартів системами якості, а їх впровадження вимагає додаткових виробничих витрат. Ускладнюється

ситуація негативним впливом економічної кризи, яка не дозволяє вітчизняним зварювальним підприємствам приділяти належну увагу питанням удосконалення якості праці і продукції, використання нових підходів до технології управління якістю, методам її оцінки тощо. Тому вважаємо доцільним обирати поетапну стратегію управлінської перебудови зварювального підприємства, за якої поступово впроваджуються різні міжнародні стандарти на системи якості.

Лопата В.М. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України, Київ,
Солових Є.К., Катеринич С.Є., Солових А.Є.
Центральноукраїнський національний технічний
університет, Кропивницький, Україна

ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ

У процесі експлуатації транспортних засобів першими з усіх його агрегатів виходять з ладу двигуни. Це пояснюється тим, що деталі двигуна піддаються активному хімічному і механічному впливу та навантажені значними зусиллями. Термін служби двигунів залежить від довговічності його відповідальних деталей.

Найбільш швидко зношуються поршневі кільця, канавки поршнів, циліндри, шийки колінчастого валу. Колінчасті вали можуть мати такі дефекти: овальність; конусність та пошкодження шатунних та корінних шийок (вм'ятини, сліди корозії або значна хвилястість поверхні); знос гнізда в торці колінчастого валу під шарикопідшипник валу муфти зчеплення; пошкодження або зношування отворів під болти кріплення маховика; знос шпонкової канавки; прогин; знос маслозгінного різьблення; знос посадкових місць під шестірні та шків вентилятора. Шийки валів та його підшипники зношуються внаслідок впливу на них фізичних, хімічних та інших чинників.

В результаті пружних деформацій у валах виникають внутрішні напруження. Основна частина роботи тертя між шатунами та шатунними шийками валу припадає на частини шийок, які спрямовані у бік вісі колінчастого валу. Крім сил тертя, на знос шийок великий вплив мають конструкція валу та його жорсткість. Знос шатунних

шийок на конус визначається головним чином перекосом шатунів на шийках. Зношування корінних шийок значною мірою залежить від неспіввісності корінних підшипників і шийок, неспіввісності колінчастого валу і валу муфти зчеплення, а також від незбалансованості колінчастого валу, маховика і муфти зчеплення. Співвісність корінних підшипників порушується внаслідок зносу поверхонь під вкладиші, неправильного збирання, тощо.

Несправності та дефекти інших вузлів та деталей впливають на технічний стан двигуна, але їх ремонт не викликає необхідності повного його розбирання, і ці дефекти можуть бути усунені шляхом заміни несправних вузлів та деталей новими чи відремонтованими.

Термін служби деталей двигунів в першу чергу залежить від якості матеріалу, з якого вони виготовлені, їх термічної та механічної обробки, точності складання та інших конструктивних і виробничих чинників. Практика показує, що при одних і тих самих конструктивних даних і однакових виробничих умовах виготовлення вирішальний вплив на термін служби деталей двигунів не впливають умови експлуатації.

Так, під час роботи двигуна найважливіші чинники, які впливають на зношування його відповідальних деталей, — це абразивне середовище, кількість пусків і зупинок, температурний режим, вібрації і деформація деталей. Різка відмінність режимів роботи обумовлює часту зміну швидкостей і тривале застосування передач з високим ступенем використання великого моменту, що крутить, що призводить до різкої зміни температурного режиму роботи двигуна.

Темп зношування багатьох деталей двигуна не знаходиться у прямій залежності від його напруження, а обумовлений переважно конкретними умовами експлуатації. Швидкість зношування деталей безперервно змінюється залежно від таких факторів, як: кількість запусків та їх тривалість, температури навколишнього повітря, нерівномірність режимів навантаження та температурних режимів. Якість і властивості мастила сильно впливають на знос колінчастого валу та підшипників. Практика показує, що незадовільний стан олива та вузлів системи мастила, особливо фільтруючих пристроїв, значно посилює зношування шийок колінчастих валів. Абразивні частинки та продукти зносу, потрапляючи з мастилом у підшипники валу, осідають в антифрикційному шарі та зношують шийки валу. Поява несправностей деталей двигунів призводить до необхідності розбирання двигуна з подальшим складним ремонтом. Розвиток та впровадження ремонтних технологій транспортних засобів стримується

відсутністю спеціалізованого обладнання та матеріалів для ремонтних робіт, низькою їх якістю. Відомі способи відновлення із застосуванням наплавлення або плазмового напилення трудомісткі, не забезпечують необхідної якості деталей, енергоємні та економічно нецільні. Тому особливу увагу слід приділяти оснащенню ремонтного виробництва низьковартісними та низькоенергоємними методами та матеріалами, технологіями та обладнанням для відновлення та зміцнення деталей.

Тобто, розробка низькоенергоємної та дешевої технології підвищення ресурсу деталей двигунів транспортних засобів – мета цієї роботи. Розроблено технологію відновлення деталей двигунів і ходової частини транспортних засобів електродуговим (ЕДН) та газополуменевим напиленням (ГПН), що дозволяє отримувати робочі поверхні відповідальних деталей двигунів транспортних засобів (розподільчих і колінчастих валів, поршневих пальців, котків) підвищеної зносостійкості (рис. 1). В основі методів ЕДН і ГПН лежить процес плавлення та розпилення металу матеріалу покриття високошвидкісним струменем пропано-повітряної суміші. Використання в якості газу, який розпилює, продукти згоряння пропано-повітряної суміші, що дозволяє значно знизити окислення напилюємого матеріалу і вигорання легуючих елементів.

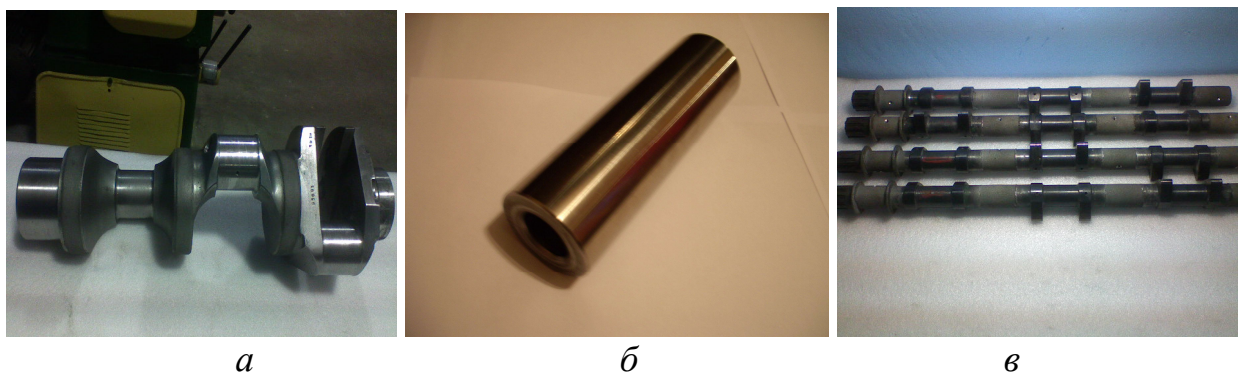


Рис. 1 – Відновлені деталі: *a* – колінчастий вал; *б* – палець поршневий; *в* – вал розподільний

Відсутність кисню як окислювача палива значно знижує собівартість нанесених покриттів і підвищує надійність і безпеку робіт, що проводяться. Використання ефективного каталізатора горіння та відсутність водяного охолодження суттєво підвищує надійність обладнання та полегшує роботу обслуговуючого персоналу. До переваг обладнання слід віднести: високу електро-термозахищеність; відсутність регулювань; швидкий доступ до всіх вузлів апарата для

напилення; прості та швидкозамінні струмознімальні елементи; блочно-вузлове складання – швидке техобслуговування та ремонт. Стабільність ведення процесу, великий час безперервної роботи гарантовані конструкцією та застосуванням високоякісних комплектуючих.

Висновки. Пропонується розробка технологічних процесів зміцнення та відновлення деталей двигунів транспортних засобів, надання допомоги в організації ділянок під ключ, постачання та авторський нагляд за роботою обладнання. Можливе нанесення покриттів на великогабаритні деталі.

*Лопата О.В., Смирнов І.В. КПІ імені
Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ ПІСЛЯ ЇХ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЇ ОБРОБКИ

У практиці нанесення зміцнюючих покриттів прагнуть забезпечити якомога вищу міцність зчеплення, вважаючи це гарантією високої працездатності покриття [1–4]. Міцність зчеплення в теорії, технології та практиці покриттів визнана проблемою № 1 [1, 2]. Незалежно від сфери застосування системи «покриття – зміцнюєма поверхня» міцність зчеплення є основним чинником, що визначає її придатність [1, 2]. Міцність зчеплення приймається в якості основного параметра оптимізації технологічних процесів нанесення покриття [1, 2].

Огляд досліджень в області теорії і практики отримання порошкових покриттів [5–7] дозволив виділити основні напрями досліджень їх міцності зчеплення:

- перший з них пов'язаний з дослідженням мікромеханіки контактної взаємодії порошкових шарів між собою і зміцнюємою поверхнею та отриманням закономірностей залежності міцності зчеплення порошкових покриттів від особливостей їх формування;
- в другому напрямі знайшли своє віддзеркалення питання отримання закономірностей забезпечення міцності зчеплення за рахунок

формування контакту між порошковим шаром та основою в процесі їх формування та визначення міцності зчеплення.

Мета цієї роботи – це отримання закономірностей залежності міцності зчеплення порошкових покриттів, отриманих газотермічним напиленням з послідуною їх електроконтактною обробкою, від площі контакту між напиленим шаром та зміцнюємою поверхнею.

Якщо площа контакту не змінюється в часі, то міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ пов'язана із міцністю з'єднання матеріалів покриття та основи в зоні контакту $\sigma_{з'єд}$ співвідношенням:

$$\sigma_{зч} = \sigma_{з'єд} \cdot S_{від} \quad (1)$$

Однак, оскільки $S_{від}$ і $\sigma_{з'єд}$ в процесі обробки напиленого покриття електроконтактним методом збільшуються, то для нашого випадку воно не придатне. При збільшенні площі контакту поступово в моменти $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ міцність зчеплення в момент t і τ_k визначається з виразу

$$\sigma_{зч}(t) = \Delta S_{від}(\tau_1) \cdot \sigma_c(t-\tau_1) + \Delta S_{від}(\tau_2) \cdot \sigma_c(t-\tau_2) + \dots + \Delta S_{від}(\tau_k) \cdot \sigma_c(t-\tau_k). \quad (2)$$

тобто кожна з експериментальних площ контакту, що сформувалися в момент τ_n ($\tau_n = 1, 2, 3, \dots, k$), робить свій внесок у величину міцності зчеплення покриття з основою, що спостерігається в момент t і τ_k . Цей вклад визначається відповідним підсумовуванням цієї суми. У разі не ступінчастого, а плавного збільшення площі контакту підсумовування можна замінити інтегруванням:

$$\sigma_{зч}(t) = \int_0^t \sigma_c(t-\tau) dS_{від}(\tau) \quad (3)$$

Інтегрувавши праву частину рівняння (3) частинами, отримаємо формулу для розрахунку кінетики зростання міцності зчеплення

$$\sigma_{зч}(t) = \int_0^t \sigma_c(t-\tau) S_{від}(\tau) dt \quad (4)$$

де $S_{від}(\tau)$ – відносна площа контакту напиленого шару з основою (зміцнюємою поверхнею). Швидкість зростання міцності зчеплення матеріалів напиленого покриття та основи в зоні контакту може бути знайдена за методикою, запропонованою Е.С. Каракозовим [8].

Т.ч., отримано рівняння (1), що зв'язує кінетику формування контакту з кінетикою зростання зчеплення між покриттям та основою. Із співвідношення (4) кінетика зростання адгезійної міцності та кінетика зростання площі контакту пов'язані між собою нелінійною залежністю. У свою чергу з'єднання матеріалів покриття та основи у зоні контакту обумовлено контактними явищами на межі розділу.

Для дослідження механічних властивостей конструктивних елементів деталей з покриттям, зокрема міцності зчеплення його з

основою (зміцнюємою поверхнею), широко застосовуються експериментальні методи. Особливу групу методів випробувань систем із покриттям представляють штифтові [4]. Методика конічного штифта забезпечує визначення адгезійної міцності при зсуві і відриві. Результати визначення міцності зчеплення газотермічних покриттів після їх електроконтактної обробки в залежності від тиску електроконтактного процесу, отримані штифтовим методом [4], представлені на рис. 1.

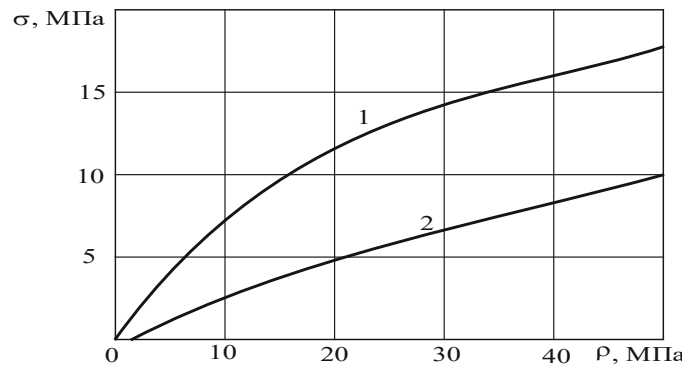


Рис. 1 – Залежність міцності зчеплення газотермічних покриттів від тиску електроконтактної обробки: 1 – при відриві; 2 – при зсуві

Висновки. При дослідженні були розглянуті закономірності формування напиленого порошкового шару в процесі його електроконтактної обробки, отримано рівняння, яке пов'язує кінетику формування контакту з кінетикою росту зчеплення між покриттям та основою. Теоретичний розрахунок міцності зчеплення викликало певні труднощі і не гарантує необхідної точності одержуваних результатів. У зв'язку з цим використовували експериментальні методи оцінки міцності зчеплення. Поєднання теоретичного та експериментального підходу при аналізі процесів формування адгезійного зв'язку між газотермічним покриттям та основою при його електроконтактній обробці відкриває нові можливості на шляху удосконалення процесу отримання зміцнюючих покриттів та підвищення фізико-механічних та експлуатаційних характеристик конструктивних елементів деталей машин із покриттями.

Література

1. Прочность материалов и конструкций / под ред. В.Т. Троценко. – К. : Академперіодика, 2006. – 1074 с.
2. Ляшенко, Б.А. Механические характеристики композиций металл-напыляемое покрытие / Б.А. Ляшенко. – Проблемы прочности. – 1989. – № 8. – С. 47–49.

3. Сорока, Е.Б. Обеспечение адгезионной прочности в системе «основа-покрытие» в условиях контактного нагружения структуры / Е.Б. Сорока, В.С. Антонюк, В.И. Калиниченко // Сверхтв. мат. – 2008. – № 2. – С. 81–88.

4. Медведева, Н.А.. Повышение прочности сцепления и снижение пористости напыленных покрытий из порошковых материалов электроконтактным припеканием : дис...канд. техн. наук / Н.А. Медведева. – Кировоград : КНТУ, 2006.

5. Lopata, A. Improvement of properties coatings by electrocontact treatment / A. Lopata, I. Smirnov, A. Zinkovskii, L. Lopata // Інженерія поверхні та реновація виробів : мат. 21-ї Міжнарод. наук.-техн. конф., 07–11 червня 2021 р., м. Свалява. – К. : АТМ України, 2021. – С. 81–84.

6. Лопата, Л.А. Адгезионная прочность и остаточные напряжения при электроконтактном припекании порошковых покрытий / Л.А. Лопата // Проблемы прочности. – 2010. – № 4. – С. 71–76.

7. Лопата, Л.А. Условие адгезионно-когезионной равнопрочности покрытий при упрочнении деталей машин электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, Н.А. Долгов, Е.Е. Кожевникова // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: зб. наук. праць. – Кировоград : КДТУ, 2010. – вип. № 40. – ч. 2. – С. 117–124.

8. Гафо, Ю.Н. Кинетика формирования контакта между напыленным покрытием и основой при электроконтактном припекании / Ю.Н. Гафо, Л.А. Лопата, Н.А. Медведева и др. // Проблеми трибології. – 2006. – № 1. – С. 148–152.

Людвіченко О.П., Гордєєв С.О., Лещук О.О.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ТЕПЛОВИЙ СТАН КОМІРКИ АВТ ТИПУ «ТОРОЇД» ПРИ ВИРОЩУВАННІ КРИСТАЛІВ НІТРИДУ ГАЛІЮ

Нітрид галію, який слугує сировиною для виробництва напівпровідників, завдяки своїм властивостям (ширина забороненої зони 3,4 eV), має зростаюче технологічне застосування. Існуючі методи не дозволяють отримати кристали GaN належної якості або є еко-

номічно витратними. Таким чином, задача отримання кристалів GaN з кондиціями, що дозволяють використання їх в якості напівпровідників за умови прийнятної вартості виробництва, є актуальною. Проведені в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України розрахунки [1] дозволили побудувати діаграму плавкості потрійної системи Fe-Ga-N за умов атмосферного і високого тисків і довели принципову можливість отримання кристалів GaN в системі Fe-Ga-N в умовах високих тисків і температур.

Успішне застосування метода Т-градієнта передбачає попереднє отримання даних з розподілу температури в комірці АВТ. З причин складності геометрії досліджуваної конструкції АВТ для розв'язання цієї задачі використали метод скінченних елементів. Розроблена методика моделювання резистивного нагрівання АВТ враховує: граничні умови; залежність провідних властивостей елементів АВТ і ефективних значень композиційних матеріалів від температури; взаємний вплив полів електропотенціалу, густини джерел джоулевого тепла і температури [2]. Для проведення експериментів по вирощуванню кристалів GaN була сконструйована комірка (рис. 1).

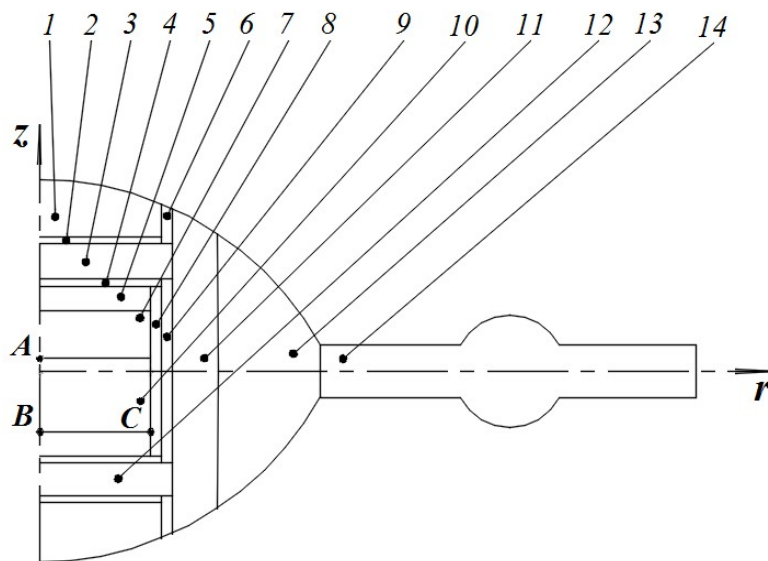


Рис. 1 – Комірка для проведення експериментів з вирощування кристалів нітриду галію методом Т-градієнта (половина осьового перерізу):

- 1 – теплоізоляційний диск ($ZrCl + \text{графіт}$); 2, 4 – струмопровідні диски (терморозширений графіт); 3, 12 – торцеві нагрівачі ($ZrO_2 + \text{графіт}$);
- 5, 8 – елементи ізоляції ($ZrCl + ZrO_2$); 6 – струмопідвід (графіт); 7 – джерело GaN; 9 – трубчастий нагрівач (графіт); 10 – ростовий об'єм ($Fe + GaN$); 11 – зовнішній теплоізоляційний елемент ($ZrCl + \text{графіт}$); 13 – контейнер (літографський камінь); 14 – заусенець (пресований кальцит);

A, B, C – характеристичні точки

Результати розрахунків теплового стану комірки представлено у вигляді стаціонарних температурних полів на рис. 2 (розрахунки зроблено за таких граничних умов: перепад напруги на підкладних плитах АВТ становив 3,18 В, концентрація графіту в нижньому нагрівачі 12 (див. рис. 1) – 14% за масою, у верхньому – 7% за масою). Для визначення впливу концентрації складових композитних матеріалів комірки на її тепловий стан змінювали вміст графіту у нижньому торцевому нагрівачі 12 від 7 до 14% за масою (з кроком 1%) при незмінному значенні концентрації графіту у верхньому нагрівачі (7% за масою). На рис. 3 – зміна перепаду температури в ростовому об'ємі Fe + GaN: максимальний перепад, осьовий (між характеристичними точками А і В) і радіальний (між точками В і С).

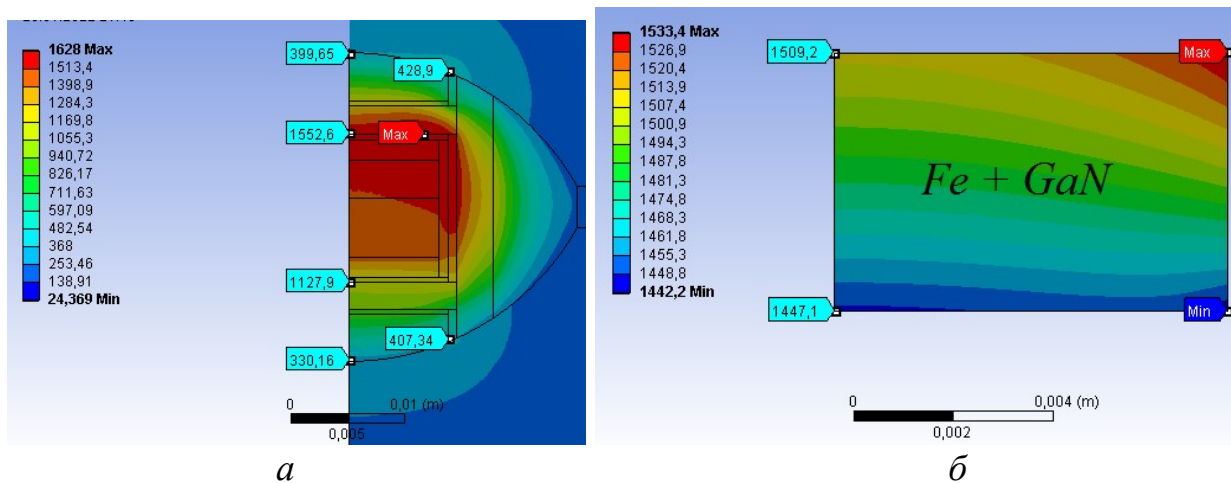


Рис. 2 – Поля температури (°C) в комірни (а) і ростовому об'ємі Fe + GaN (б)

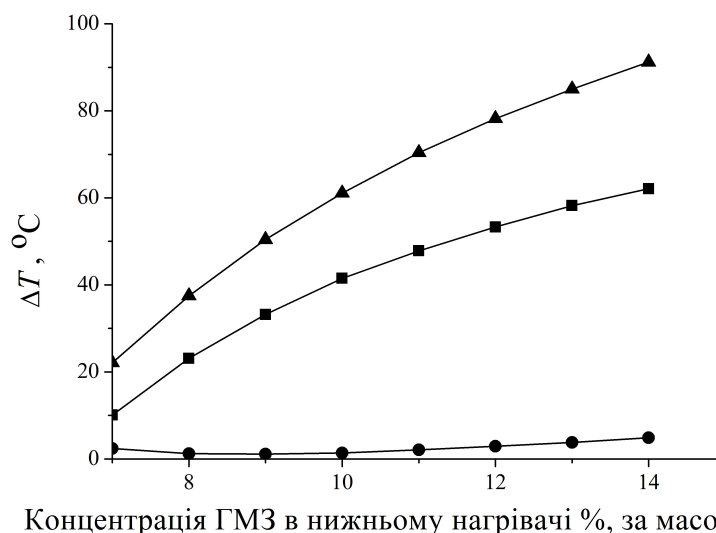


Рис. 3 – Зміна перепаду температури в ростовому об'ємі Fe + GaN в залежності від концент-рації графіту в нижньому торцевому нагрівачі: ▲ – максимальний перепад; ■, ● – перепади в осьовому і в радіальному напрямках відповідно

Визначено, що збільшення концентрації графіту в нижньому торцевому нагрівачі (при незмінній концентрації у верхньому) призводить до суттєвого зростання максимального перепаду температури в ростовому об'ємі Fe + GaN до 90 °С, (див. рис 3). За умови, коли нижній і верхній нагрівачі мають однакову концентрацію, температурний перепад у ростовому об'ємі є мінімальним, але не виконується умова горизонтальної орієнтації ізоліній. При концентрації графіту в нижньому нагрівачі 11 % за масою топологія температурних ізоліній є прийнятною для проведення експерименту, при цьому осьовий температурний градієнт становить 9,2 °С/мм (висота ростового об'єму – 5,2 мм) і максимальний перепад температури становить 70 °С. Завдяки особливостям конструкції комірки, досягнуто незначного радіального перепаду температури, який несуттєво залежить від зміни концентрації графіту в нижньому торцевому нагрівачі.

Таким чином, отримано значення концентрації графіту у верхньому і нижньому торцевих нагрівачах, які здатні забезпечити необхідні умови (Т-градієнт і топологію температурного поля) для успішного проведення експериментальних досліджень з вирощування кристалів GaN в умовах високих тисків і температур в АВТ типу «тороїд».

Література

1. Туркевич, В.З. Термодинамічні розрахунки діаграми плавкості системи Fe–Ga–N в контексті кристалізації нітриду галію в умовах високих температур і тисків / В.З. Туркевич, Ю.Ю Румянцева., Ю.І. Садова та ін. // Надтверді мат. – 2022. – № 2. – С. 3–9.

2. Людвіченко, О.М. Моделювання теплового стану апарата високого тиску при дослідженні розчинності нітриду галію в залізі / О.П. Людвіченко, О.М. Анісін, О.О. Лещук, І.А. Петруша // Інструментальне матеріалознавство : зб. наук. праць. – 2021. – Вип. 24. – С. 325–334.

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

СПЕЦІАЛЬНИЙ ШЛІФУВАЛЬНИЙ КРУГ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОЇ ТА ЗОВНІШНЬОЇ ОБРОБКИ

Процес шліфування крупногабаритних деталей не завжди може бути здійснений з використанням стандартизованого шліфува-

льного інструменту. Різномаїття шліфувального обладнання також вимагає пристосування інструмента до можливостей конкретного станка, пристосування та особливостей специфічних деталей.

Зокрема, це стосується деталей, наприклад, металургійного та гірничо-видобувного устаткування, залізобетонні трубопроводи тощо. Особливо застосування спеціального інструмента має місце в ремонтному виробництві.

З розвитком машинобудівних та інструментальних технологій навіть спеціальні інструменти підлягають еволюційному перетворенню, залежно від методів утримання абразивного матеріала у зв'язці круга, конструкції виконавчого органу, форми контактування робочої поверхні інструмента з поверхнею заготовки залежно від вимог до точності обробки і якості обробленої поверхні.

Розглянемо це явище на прикладі еволюції шліфувального круга для обробки внутрішніх отворів раструбів залізобетонних труб і тьюбінгів. Брак точності формоутворення залізобетонних труб на спеціалізованих виробництвах вимагає застосування операцій механічної обробки для виправлення форми і забезпечення герметичності стиків таких труб при укладанні трубопроводів. Для шліфування внутрішніх циліндричних і торцевих поверхонь з метою підвищення точності розмірів і забезпечення щільності стиків попередньо був розроблений шліфувальний барабан зовнішнім діаметром 420 мм, який оснащався твердосплавними вставками, наповненими порошками спочатку природних, а потім – штучних алмазів

На рис. 1 показано ескіз корпусу такого барабана, виробництво якого також вимагало застосування або станків з ЧПК, або при універсальному устаткуванні – ділильних головок з дуже ретельною розміткою і наступним свердлінням, яке вимагало великої уваги, високої кваліфікації операторів і нерідко мало наслідками значні похибки, що вимагали виправлення і додаткових витрат.

Отвори в корпусі барабана здебільшого виконувалися на станках з ЧПК, приклад такого свердління за допомогою оброблюючого центра зображений на рис. 2.

Сама вставка теж вимагала великих трудовитрат на її виробництво, бо також являла собою складний виріб, що складався зі сталевого корпусу та впаяного в нього абразивного елемента, спеченого методом гарячого пресування порошку алмазу в матриці твердого сплаву, а потім прошліфованого по зовнішній циліндричній поверхні і по торцях.

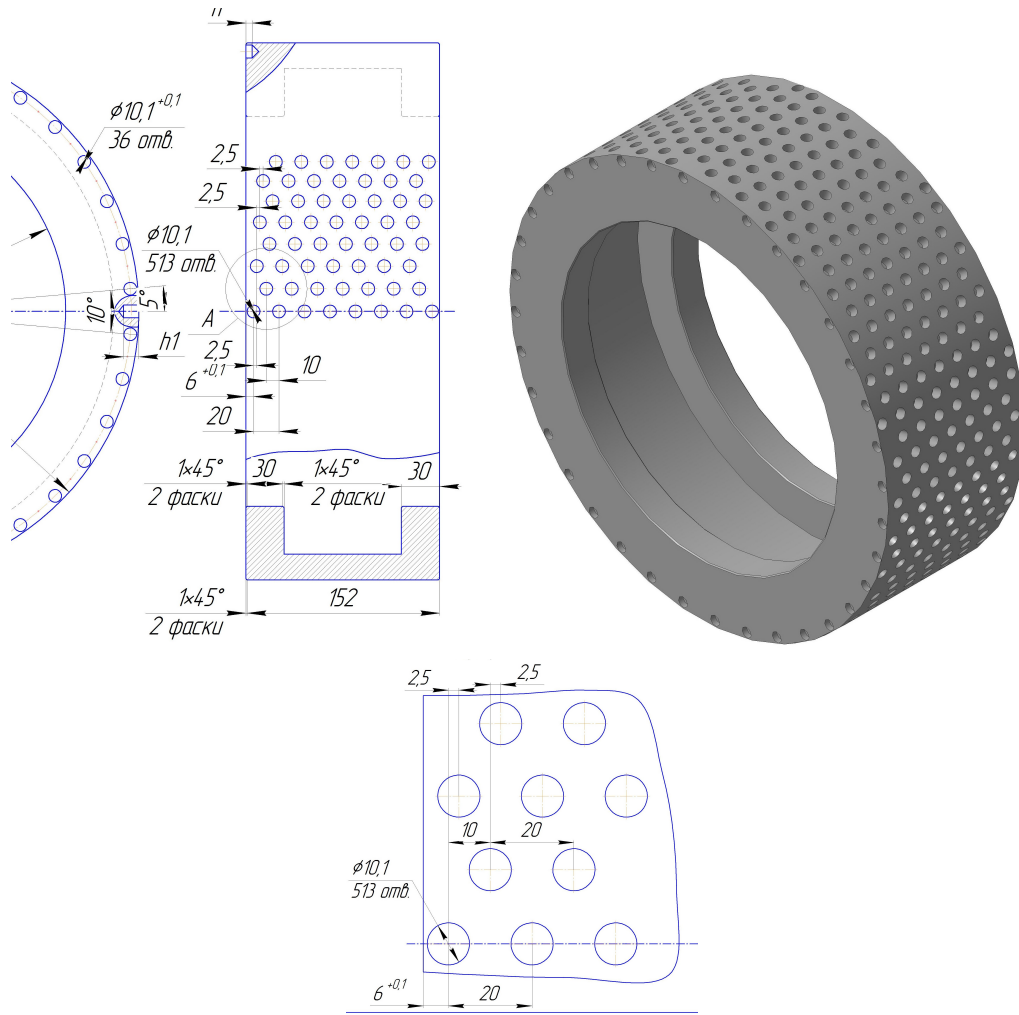


Рис. 1 – Ескіз корпусу шліфувального барабана

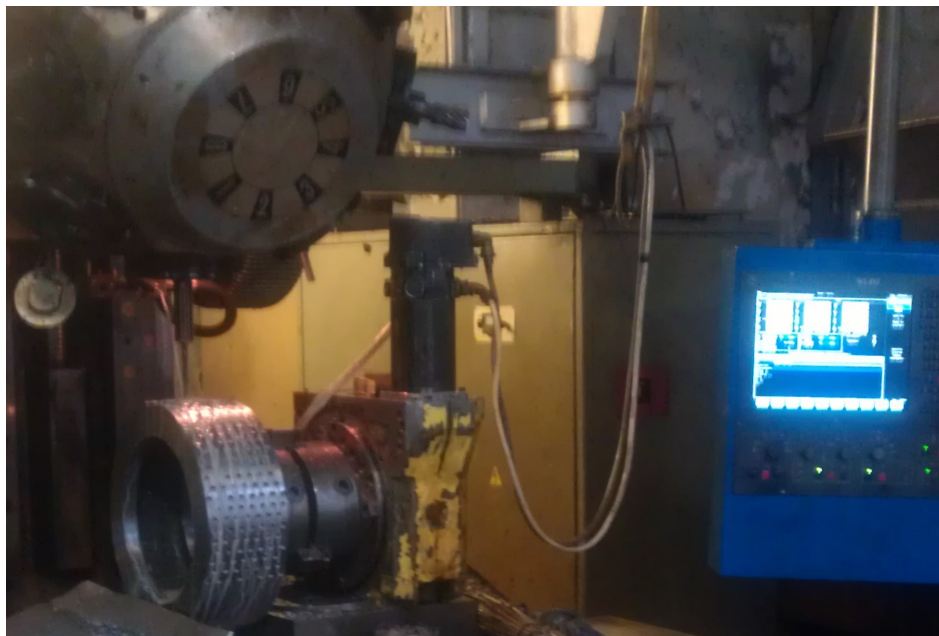


Рис. 2 – Формування отворів під заповнення алмазно-твердосплавних вставок свердлінням на оброблюючому центрі

Механообробникам дуже добре відомо, як непросто обробляються вольфрамо-кобальтові тверді сплави, а напавнені алмазами –

тим паче. Шліфування таких елементів вимагало витрат великої кількості алмазних шліфувальних кругів і було надзвичайно дорогим і трудомістким.

Ці вставки у кількості 1800 шт. запаювалися в корпус барабана методом трудомісткої ручної пайки з підігрівом на установках ТВЧ з використанням також недешевих мідно-залізо-фосфорних припоїв, флюсів, що вирізнялося великими енергозатратами та низькою продуктивністю (рис. 3).



Рис. 3 – Зображення барабану шліфувального на операції ручного запаювання алмазовмісних твердосплавних вставок з підігрівом на установці ТВЧ

В процесі запаювання вставок в корпус барабана виникали високі термічні напруження, що призводило до розтріскування вставок і втрати ними працездатності. Так само могло відбуватися і з прихованими дефектами самої пайки, які могли проявитися тільки при експлуатації такого барабана в основному виробництві, що, звичайно ж, призводило до зупинення процесу шліфування і відновлення інструмента. Рис 3 Зображення барабану шліфувального на операції ручного запаювання алмазовмісних твердосплавних вставок з підігрівом на установці ТВЧ.

На рис. 4 зображено фрагмент шліфувального барабана з викришеними або випавшими вставками, що вийшли з ладу в процесі експлуатації інструмента внаслідок дефектів, які виникли на етапі пайки.

Виникнення зображених на рис. 4 дефектів інструмента призводило до утворення на обробленій поверхні деталі бугрів і западин, що, звичайно ж, було неприпустимим з огляду вимог до деталі.

Висока собівартість та низька технологічність такого виробу, як описаний вище шліфувальний барабан, призвели до його неконкурентоспроможності і було прийняте спільне рішення науковців Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля та дирекцією Асоціації технологів-машинобудівників України про подальшу недоцільність виробництва і постачання замовникам такого інструмента. Натомість була розроблена і досліджена у виробничих умовах інша, більш технологічна і ефективніша конструкція шліфувального круга з механічним закріпленням шліфувальних брусків у сталевому корпусі круга. Ескіз такого круга зображений на рис 5.



Рис. 4 – Фрагмент дефектної частини шліфувального барабана

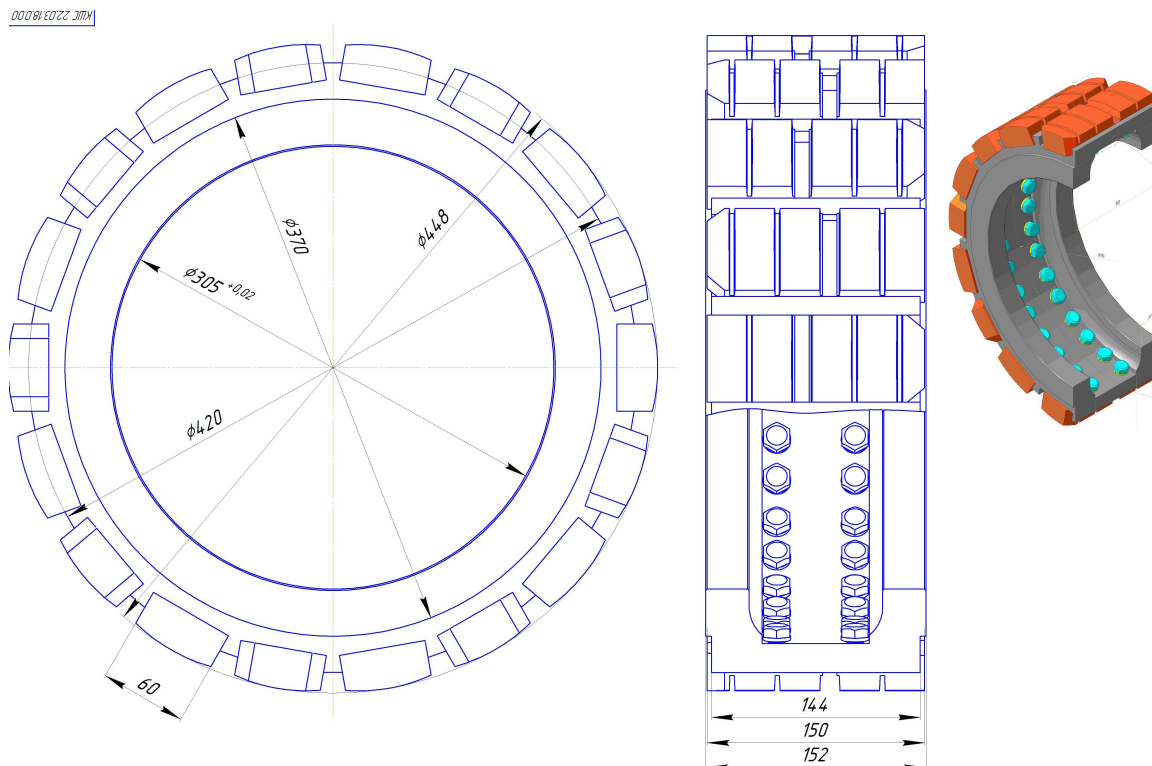


Рис. 5 – Ескіз шліфувального круга 14A1RS 450×305×150×10×152 AC80 400/315 M6-14 100%

Розташовані у шаховому порядку на периферії круга шліфувальні бруски перекривають технологічні пази на самих брусках суцільним алмазовмістким робочим шаром наступних брусків та формують на шліфованій поверхні деталі сталій рівний циліндричний профіль з мінімальними відхиленнями по точності і шорсткості обробленій поверхні, а механічне закріплення шліфувальних брусків дозволяє вибірково їх заміну та, можливо, навіть переорієнтацію їхнього розташування на поверхні круга залежно від ступеня зношеності. Запропонована конструкція також дозволяє провадити багаторазове використання корпусу круга.

Відповідно такій конструкції були виготовлені дослідні зразки шліфувальних кругів 14A1RS 450×305×150×10×152 AC80 400/315 M6-14 100%. Дослідні зразки були спочатку випробувані, а потім знайшли і своє промислове використання при виготовленні залізобетонних труб великого діаметру.

*Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан.,
Копейкіна М.Ю.* Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Береснев В.М., Литовченко С.Л. Харківський
національний університет ім. В.Н. Каразіна,
Столбовой В.О. Інститут фізики твердого тіла,
матеріалознавства і технологій ННЦ «ХФТІ», Харків, Україна

РІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ З КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ З ПОКРИТТЯМ

З метою вдосконалення різальних інструментів із PсVN актуальним є створення і використання захисних покриттів, принцип роботи яких ґрунтується на комплексі трибологічних і механохімічних ефектів, що зумовлюють здатність покриттів зберігати свою цілісність і високу здатність до опору зношуванню під час дії високих температур і контактних навантажень.

Однією із основних тенденцій з розроблення таких покриттів є забезпечення нанорозмірності як структурних елементів, так і окремих шарів у багатошарових композиціях. Формування нанорозмірної структури матеріалів покриттів пов'язано з вибором зернис-

тості, оптимальної за критерієм міцності, згідно з балансом між залежністю за Холлом-Петчем і виразом, що визначає швидкість зернограничної повзучості зі зменшенням розміру зерен.

Ефективність застосування таких покриттів зумовлена поєднанням їхніх високих фізико-механічних властивостей, стійкості до окиснення і дисоціації хімічних сполук, що входять до їх складу, внаслідок особливостей структури нанокompозитних плівкових утворюють. Висока твердість запропонованих покриттів зумовлена тим, що, через мали розміри нанозерен, зародження і ковзання дислокацій пригнічуються, в той час як висока когезійна міцність тонкої межзеренної фази блокує зернограничне ковзання.

Термостійкість є важливою вимогою, що висувають до покриттів, які використовуються на інструментах із PсVN. Значній термостійкістю характеризуються покриття, що містять алюміній і хром – оксидна плівка, яка утворюється на поверхні, захищає основний масив покриття від окиснення аж до температури 850 °С.

Як підхід до підвищення термостійкості покриття запропоновано використовувати інтергранулярну склоподібну фазу, формування якої можна забезпечити в нанокompозитах, наприклад, збільшенням (>40 %) вмісту кремнію і, відповідно, фази α -Si₃N₄. За концентрацією кремнію понад 50% структура покриття аморфна і аж до температури 1300 °С окислюється лише тонкий поверхневий шар покриття без будь-яких змін у його об'ємі

Подібно механічним властивостям, на термостійкість покриття також істотно впливає не лише його хімічний склад, а й структура. Прикладом може бути нанокompозит системи типу nMeN/ α -фаза, що характеризується підвищеною термостійкістю.

Оцінювання контактних навантажень на різальних інструментах із PсVN показало, що середні нормальні та дотичні контактні напруження під час оброблення сталей та сплавів високої твердості досягають 2500 і 1100 МПа відповідно. Знизити навантаження можна, якщо конструкція покриття матиме верхній шар, що виконує функцію прироблення. Матеріал шару прироблення повинен мати аморфно-кристалічну низькомодульну структуру (наприклад, α -BN, α -Si₃N₄ або α -TiB₂), що дасть змогу йому виконувати роль твердого мастила.

Інший механізм підвищення стійкості інструментів із PсVN реалізується з використанням самоадаптивних покриттів. Подібні покриття в процесі різання окислюються і утворюють поліоксидну вторинну структуру (трибоплівку), що відіграє роль твердого мас-

тила. Розвиток такого підходу може бути пов'язаний зі створенням систем, які є хімічно стабільними за температур понад 1300 °С.

Запропоновано концепцію підвищення стійкості різальних інструментів із PсBN яка базується на зменшенні температури в контактної зоні різання з нанесенням на робочі поверхні інструменту покриття, що зменшує коефіцієнт тертя. Таким покриттям може бути плівка з BN – його основними відмінностями є аморфно-кристалічний структурний стан і близькість за хімічним складом до матеріалу основи. Ефект досягається за рахунок:

- зниження твердості порівняно з інструментальною основою, що зменшує внутрішні залишкові напруження в покритті та знижує крихкість його матеріалу;
- зменшення модуля Юнга, що підвищує пружні властивості покриття і стійкість до абразивного стирання;
- зниження коефіцієнта тертя, що сприяє зменшенню термобаричного навантаження на робочих ділянках інструменту.

Ще одним підходом до підвищення стійкості інструменту, в якому явно проявляється функція покриття як проміжного середовища, що безпосередньо впливає на параметри процесу різання, є введення до складу покриття компонентів, які є інгібіторами перебігу хімічних реакцій у зоні контактної взаємодії між складовими інструментального композиту та оброблюваного матеріалу. Тим самим, покриття пригнічують хімічно зумовлений механізм зношування різальних ін-

струментів із PсBN і збільшують їхню стійкість під час високошвидкісного різання конструкційних матеріалів, компоненти яких виявляють високу хімічну активність у парі з нітридом бору.

Зазначимо, що вибір ефективного покриття для різального інструменту пов'язаний з умовами контактної взаємодії між інструментом, виробом та стружкою для кожного конкретного випадку. Такий вибір має базуватися на обґрунтованих уявленнях щодо превалюючого механізму контактної взаємодії на робочих ділянках інструменту.



Наведене вище комплексно розглянуто в монографії – Різальні інструменти з композитів на основі кубічного нітриду бору з покриттям / А.С. Манохін, С.А. Клименко, В.М. Береснєв, С.А. Клименко, М.Ю. Копейкіна, В.О. Столбовий, С.В. Литовченко. – К. : Наук. думка, 2022. – 176 с.

Мельник Т.В., Ругаленко Т.В. НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ПИТАННЯ РЕФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ МИЙНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ

Актуальність теми визначена тим, що синтетичні мийні засоби є товарами першої необхідності. В той же час вони є найнебезпечнішими для здоров'я людини і навколишнього середовища хімічними речовинами, з якими людина контактує не тільки у побуті. Технічний регламент, як нормативно–правовий акт, прийнятий органом державної влади, встановлює обов'язкові вимоги щодо усунення загрози здоров'ю та майну людини, захисту навколишнього середовища тощо.

Вимоги до мийних засобів і поверхнево-активних речовин, що входять до їх складу встановлює Технічний регламент мийних засобів, який було затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2008 р. № 717 (зі змінами від 12 червня 2013 р. № 408). Цей Технічний регламент розроблено з урахуванням Регламенту N 648/2004 Європейського Парламенту та Ради ЄС від 31 березня 2004 р. про мийні засоби.

Ефективне реформування технічного регулювання, складовими якого є стандартизація, оцінка відповідності, акредитація органів з оцінки відповідності, метрологія, ринковий нагляд є однією з основних умов на етапі розгортання необхідних процесів підвищення конкурентоспроможності українських товарів, зокрема і мийних засобів. Перед Україною стоїть задача приведення сфер технічного регулювання у відповідність до європейських та міжнародних вимог.

Постановою від 12.06.2019 р. № 498 Кабмін України вніс зміни до Технічного регламенту мийних засобів. Уточнено, що випробування мийних засобів та поверхнево-активних речовин, які входять до їх складу, проводяться згідно з національними стандартами та

затверджується Мінекономрозвитку. Підкреслено, що для проведення оцінки відповідності мийних засобів на вибір виробника або його уповноваженого представника застосовується модуль А1 (внутрішній контроль виробництва з проведенням випробувань продукції під наглядом) або модуль F1 (відповідність на основі перевірки продукції). У модулях визначені оцінки відповідності, які використовуються для розроблення цієї процедури, затвердженої постановою Кабміну від 13.01.2016 р. № 95.

На сьогодні до переліку стандартів для Технічного регламенту мийних засобів включені стандарти безпосередньо на мийні засоби, необхідно включити стандарти на методи випробувань окремих мийних засобів згідно Регламенту N 648/2004 Європейського Парламенту та Ради ЄС, на основі якого розроблено цей Технічний регламент. Відповідність цим стандартам розглядалася б як автоматичне дотримання вимог Технічного регламенту мийних засобів вимогам європейських гармонізованих стандартів.

Постановою Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Технічного регламенту мийних засобів» від 2 червня 2021 р. № 575, було внесено зміни до Технічного регламенту мийних засобів, спрямовані на приведення у відповідність додатку 1 Технічного регламенту з додатком VIa Регламенту (ЄС) 648/2004 Європейського Парламенту та Ради, що передбачає поетапне (до кінця 2026 року) введення обмежень на вміст фосфатів, фосфонатів і інших сполук фосфору в мийних засобах, які використовуються для промислового прання та (або) миття. Постановою зобов'язано Мінекономрозвитку оновити Перелік національних стандартів щодо визначення методів проведення випробування мийних засобів на відповідність вимогам Технічного регламенту мийних засобів.

Але сьогодні через вторгнення військ РФ Україна змушена адаптувати роботу з синхронізації технічного регулювання мийних засобів до нових реалій. Навіть у регіонах, віддалених від зони активних бойових дій, призупинена діяльність більшості хімічних підприємств через порушені логістичні ланцюги, зокрема, поставки сировини морським транспортом ускладнилися і стали неможливими, частина виробництв релокована до безпечніших регіонів України. Для роботи українських підприємств необхідна неперервність функціонування акредитованих органів з оцінки відповідності, яка є важливим елементом забезпечення якості і надійності товарів та послуг, що виходять на ринок.

Отже, Кабінетом Міністрів України було ухвалено низку законодавчих змін з метою швидкої адаптації держави до життя в умовах повномасштабної війни, підтримки роботи підприємств. Задля вирішення питань оцінки відповідності Національне агентство з акредитації надало перелік органів, які мають атестат про акредитацію, термін дії яких закінчився або закінчується у період воєнного стану, про продовження дії атестатів про акредитацію з оцінки відповідності впродовж року. Для вирішення цієї проблеми Кабінетом Міністрів було розроблено законопроект № 7324 від 27 квітня 2022 р. «Про внесення змін до деяких законів України щодо визнання в Україні результатів оцінки відповідності, проведеної в державах – членах Європейського Союзу». Проект передбачав, що під час воєнного стану та протягом тримісячного строку після його скасування в Україні можна буде вводити в обіг продукцію, що підлягає під дію прийнятих в Україні технічних регламентів без додаткової оцінки відповідності та маркування за умови, якщо ця продукція відповідає вимогам актів законодавства ЄС, на основі яких і розроблені українські ТР. Пізніше законопроект було відкликано. Розпорядженням № 678-р від 02.08.2022 р. «Про затвердження плану заходів щодо державного ринкового нагляду та державного контролю продукції щодо відповідності мийних засобів вимогам Технічного регламенту мийних засобів» запроваджено державний ринковий нагляд у частині встановлення обмеження вмісту фосфору в мийних засобах та щоквартальне інформування про вміст ортофосфатів у воді водних об'єктів України на офіційному веб-сайті Міндовкілля.

Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ЗМІНА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФПОРОШКУ АЛМАЗУ МАРКИ АС20 ЗЕРНИСТОСТІ 100/80 ПІД ВПЛИВОМ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ

Розвиток сучасних технологій машинобудування потребує отримання якісних та однорідних за характеристиками порошоків синтетичного алмазу. Хоча якість алмазних порошоків в основному визначається умовами синтезу, істотний вплив на них мають хіміч-

ні та фізичні оброблення, які застосовують при вилученні алмазної сировини та виготовленні порошків [1]. Як правило, для підвищення якості порошку застосовують сортування, в тому числі, флотаційне розділення в гравітаційному полі. Для удосконалення методів покращення якості алмазного порошку абразивного призначення та для їх застосування в процесах сортування актуально проведення дослідження впливу флотаційного розділення порошку на зміну фізико-механічних характеристик порошку.

Як відомо, процес флотаційного розділення ґрунтується на відмінностях енергетичного стану поверхні частинок порошку. Частинки алмазу з більш гладкою (менш енергетичною) поверхнею адсорбують аполярні димери жирної кислоти за рахунок сил Ван-дер-Ваальса, частинки з розвиненою дефектною поверхнею (більш енергетичною) – адсорбують полярні димери за рахунок "водневого зв'язку". Внаслідок цього гладкіші частки потрапляють у пінний продукт, а шорсткі – в камерний. Присутність в пульпі іонів заліза солі Мора збільшує селективність дії жирної кислоти за рахунок більшої адсорбції іонів заліза на шорсткій поверхні частинок алмазу, що сприяє адсорбції полярних димерів і іонів жирної кислоти [2]. Спосіб флотаційного розділення застосовують для порошків з середнім розміром частинок менших за 100 мкм [3].

Дослідження проведено на порошку алмазу, який синтезовано в системі Ni-Mn-C, та продуктах (пінний та камерний), які отримано в результаті флотаційного розділення. Марка порошку – АС 20, зернистість 100/80.

Визначено показники міцності при статичному стисканні, однорідність за міцністю (вміст зерен алмазу в пробі відповідних номінальній марці порошку, що визначається за паспортом міцності проби порошку) [4]. При використанні відомих методик визначено питому магнітну сприйнятливність порошку ($\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг) та масову частку домішок у вигляді неспалимого залишку (% за масою).

Показники вихідного порошку та продуктів флотаційного розподілення наведено в табл. 1. Встановлено, що застосування флотаційного розділення алмазного порошку марки АС 20 зернистості 100/80, в порівнянні вихідним порошком, дозволяє отримати порошок алмазу з підвищеним показником міцності при статичному стисканні на 23,8%, підвищеною однорідністю за міцністю на 25,0%, суттєво зниженою часткою домішок та включень.

Таблиця 1 – Характеристики вихідного порошку марки АС 20 зернистості 100/80 та продуктів його флотаційного розподілу

Показники	Вихідний порошок марки АС 20 зернистості 100/80	Продукти розподілу порошку	
		пінний	камерний
Масова частка зразка порошку, %	100	13,41	86,55
Питома магнітна сприйнятливність, (середнє значення), $\chi, \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	0,81	0	0
Масова частка домішок - неспалимий залишок, % за масою	0,98	0,20	0,99
Показник міцності при статичному стисканні, Н	13,0 [5]	16,5	12,5
Однорідність за міцністю, %	16,0	20,0	14,0

Література

1. Богатырева, Г.П. Влияние способов дезинтеграции алмазно-графитового материала на показатели качества алмазного сырья и порошков / Г.П. Богатырева, Н.А.Олейник, Г.Ф. Невструев и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – вып. 5 – С. 169–173
2. Богатырева, Г.П. К вопросу однородности алмазных микропорошков по морфометрическим характеристикам / Г.П. Богатырева, Г.А. Петасюк, Г.А. Базалий, В.С. Шамраева // Надтверді мат. – 2009. – № 2. – С. 71–81.
3. Подготовительные процессы : справ. обогащению руд / под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. – М. : Недра, 1982. – 366 с.
4. СТП 090.042-00 Метод определения коэффициента однородности шлифпорошков из синтетических алмазов по показателю статической прочности. – К. : ИСМ НАН Украины, 2000. – 8 с.
5. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови : ДСТУ 3292-95. – К. : Держстандарт України, 1996. – 70 с.

**АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОМІЦНИХ ШЛІФПОРОШКІВ
СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ, ГЕОМЕТРИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ОРТОГОНАЛЬНОЇ ПРОЕКЦІЇ ЇХ ЗЕРЕН ТА
ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ НИМИ І МОРФОМЕТРИЧНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ЯКІ ДІАГНОСТУЮТЬСЯ
ПРИЛАДОМ DIAINSPECT.OSM**

Технологічні властивості шліфпорошків синтетичного алмазу (СА) являються важливими ознаками їх якості. До технологічних властивостей шліфпорошків СА зазвичай відносять їх зовнішню питому поверхню, число зерен в одному караті, товщину і ступінь покриву зерен, характеристики різальних кромки, абразивну здатність та ін. Зауважимо, що в цій роботі термін „технологічні” співвідноситься не із процесом абразивної обробки, а з технологією отримання алмазних шліфпорошків (використовуване технологічне обладнання, параметри його налаштування).

Практичне застосування технологічних властивостей порошків СА передбачає наявність інформації щодо їх показників, а відтак – і методів визначення цих показників. До найбільш передових за багатьма критеріями таких методів відносяться опосередковано-аналітичні методи [1].

Важливим методичним елементом опосередковано-аналітичних методів являються об'єм та площа поверхні зерен. Вперше запропоноване в [1] використання для цієї мети екстраполяційно-афінної 3D моделі зерна забезпечує найбільш точне визначення зазначених геометричних параметрів зерна шліфпорошків СА [2]. Зазначимо, що хоча найбільш точне, але все ж таки наближене. Це зумовлено тим, що зерна шліфпорошків СА в переважній своїй більшості є тілами неправильної просторової форми. Проте, в цьому факті є і виняток. Він стосується високоміцних за нормативним документом [3] крупнозернистих шліфпорошків СА. В зерновому складі таких шліфпорошків домінують зерна правильної форми, зокрема, у формі октаедра та похідних від нього: кубооктаедра і усіченого октаедра. Частка зерен зазначеної 3D форми знаходиться на рівні 83–98% від загального їх числа [4]. Подібна морфологічна особливість 3D

форми зерен таких шліфпорошків дозволяє підвищити достовірність опосередковано-аналітичного визначення розглядуваних тут їх технологічних властивостей. Це досягається завдяки відходу від тотального (для всіх зерен без виключення) використання екстраполяційно-афінної 3D моделі зерна і застосуванню в цій якості октаедра та зазначених вище похідних від нього 3D тіл. Об'єм (v) і площа поверхні (s) зазначених вище просторових тіл правильної форми виражається аналітично через їх твірні геометричні параметри, якими є їх ребро. Відповідні залежності, як відомо, мають такий вид:

$$v_{\text{окт}} = \sqrt{2} a^3 / 3, S_{\text{окт}} = 2\sqrt{3} a^2; \quad (1)$$

у випадку октаедра;

$$v_{\text{кбо}} = 5\sqrt{2} b^3 / 3, s_{\text{кбо}} = 2(3 + \sqrt{3}) b^2; \quad (2)$$

у випадку кубооктаедра;

$$v_{\text{yo}} = 8\sqrt{2} c_{\text{y.o}}^3, s_{\text{yo}} = 6(1 + 2\sqrt{3}) c_{\text{y.o}}^2. \quad (3)$$

у випадку усіченого октаедра.

Тут a , b , c – довжина ребра октаедра, кубооктаедра та усіченого октаедра відповідно, а нижній індекс („окт”, „кбо”, „у.о”) біля ідентифікаторів об'єму і площі поверхні вказує їх на приналежність до октаедра, кубооктаедра та усіченого октаедра відповідно.

Формули (1 – 3) у правій частині містять твірні параметри розглядуваних тут 3D форм зерен високоміцних крупнозернистих шліфпорошків СА. Тому практичному застосуванню цих формул має передувати процедура встановлення їх значень. Можливо два варіанти реалізації цієї процедури – прямий та опосередкований. Прямий варіант полягає в 3D скануванні порошка з визначенням фактичних розмірних параметрів зерен включно із ребром октаедра, кубооктаедра та усіченого октаедра, як потенціальних фактичних 3D форм зерен. Однак такий варіант на сьогодні більш гіпотетичний, ніж реалістичний. Альтернативний варіант – це 2D сканування зерен шліфпорошку, наприклад, за допомогою приладу DialInspect.OSM [5]. У зазначеному приладі зображення зерна (фактично його ортогональна проекція) формується проникаючим світловим потоком. Методом цифрової обробки зображень визначаються розмірні і геометричні параметри проекції зерна, які ототожнюються із відповідними геометричними параметрами зерна як 3D тіла. Деякі із цих параметрів можуть бути зв'язані аналітичними залежностями із ребром. Зокрема, це стосується максимального (F_{max}) і мінімального (F_{min}) діаметрів Фере. Для

цього необхідно розглянути ортогональні проекції октаедра і похідних від нього 3D тіл та виконати необхідний аналітично-геометричний аналіз цих двох геометричних об'єктів. За такою методичною схемою були отримані і подаються в роботах [6 – 8] аналітичні залежності взаємозв'язку F_{\max} та F_{\min} з a , b , c , який нас цікавить. Для октаедра ці залежності є такими: $F_{\max} = 2a/\sqrt{3}$, $F_{\min}=a$ [6]. Для кубооктаедра: $F_{\max} = 2b$, $F_{\min} = \sqrt{2}b$ (проекція у формі квадрата, отримано у [7]); $F_{\max} = 2b$, $F_{\min} = \sqrt{3}b$ (отримано тут). Для усіченого октаедра: $F_{\max} = 2c\sqrt{7/3}$, $F_{\min} = 5c/\sqrt{3}$ (проекція у формі напівправильного дванадцятикутника) та $F_{\max} = \sqrt{10}c$, $F_{\min} = 2c\sqrt{2}$ (проекція у формі напівправильного восьмикутника) [8]. Розв'язуючи ці співвідношення відносно a , b , c та підставляючи отримані рівності у формули (1)–(3), отримуємо залежності, придатні для практичного визначення необхідних значень об'єму та площі поверхні зерен у формі октаедра і похідних від нього 3D тіл.

Таким чином, описана тут методична схема буде дуже корисною заготовкою при розробці більш достовірних методів визначення технологічних властивостей високоміцних крупнозернистих шліфпорошків СА. В першу чергу це стосується методів визначення таких технологічних властивостей як число зерен в одному караті, зовнішньої питомої поверхні, ступінь та товщина покриву зерен.

Література

1. Петасюк, Г.А. Наукові основи комплексного оцінювання якості порошків синтетичного алмазу та КНБ для створення абразивного інструменту: автореф. дис...докт. техн. наук / Г.А. Петасюк. – К. : ІНМ НАН України, 2015. – 37 с.
2. Petasyuk, G.A. Determining the Thickness Coating of Grinding Powders of Synthetic Diamond Based on a Specific-Surface Approach and using an Extrapolation-Affine 3D Model of Grain / G.A. Petasyuk // J. of Coating Sci. and Technol. – 2022. – vol. 9. – P. 20–25.
3. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. ТУ У 28.5–054717377–072–2003
4. Петасюк, Г.А. Новий пофракційно-осереднювальний підхід до діагностування технологічних властивостей високоміцних порошків синтетичного алмазу / Г.А. Петасюк // Надтверді мат. – 2022. – № 6. – С. 93–97.

5. DiaInspect. OSM. Automated particle analysis for superabrasives and surface analysis 2010. Operation guide Version 1.2.8. <https://vdiamant.de/languages/diainspect-osm.html>.

6. Петасюк, Г.А. Методичні та прикладні особливості опосередковано-аналітичного визначення товщини покриття зерен металізованих порошків надтвердих матеріалів / Г.А. Петасюк // Сверхтв. мат. – 2019. – № 3. – С. 77–89.

7. Петасюк, Г.А. Опосередковане визначення товщини покриття абразивних порошків з використанням 3D моделі зерна у формі еліпсоїда / Г.А. Петасюк, О.У. Петасюк // Інженерія поверхні та реновація виробів : мат. 22-ї Міжнарод. наук.-техн. конф., 15–16 червня 2022 р. – К. : АТМ України, 2022. – С. 96–99.

8. Петасюк, Г.А., Бочечка О.О., Сирота Ю.В. Розширення прикладних можливостей пошуково-аналогового методу ідентифікації форми проекції зерен абразивних порошків / Г.А. Петасюк, О.О. Бочечка, Ю.В. Сирота // Надтверді мат. – 2021. – № 5. – С. 78–89.

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

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЯВИЩ ПРИ УТВОРЕННІ РЕЛЬЄФІВ НА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

На надійність і експлуатаційні властивості деталей машин сильно впливають спеціально створені регулярні рельєфи поверхні. Одним з ефективних методів отримання рельєфів є холодне пластичне деформування (ХПД). Цей спосіб модифікування не призводить до виникнення значних напруг у матеріалі деталі і може бути формоутворювальним. Останнє є важливим у ремонтному виробництві. Однак, на сьогодні немає системного дослідження утворення рельєфів методами ХПД, особливо з використанням заглиблення лінійних інденторів.

Тому *метою* нашого дослідження є поліпшення експлуатаційних властивостей деталей засобів транспорту шляхом нанесення регулярних мікро- та макрорельєфів технологічного і експлуатаційного призначення заглибленням лінійних інденторів.

Методика дослідження. Використано пресове гідрофіковане обладнання для створення нормальної сили заглиблення індентора.

Визначено марки типових конструкційних матеріалів: сталей, сірих чавунів, бронзи, латуні, алюмінієвого та титанового сплавів. Створено лінійні індентори із швидкорізальної сталі з кутами при вершині $60\text{--}90^\circ$ і радіусом при основі $0,005\text{--}0,5$ мм. Використовувались методи мікроструктурного аналізу та мікротвердості, стандартні та оригінальні прилади і пристрої. Діапазон глибин канавок складав $0,02\text{--}0,5$ мм. Застосовувалась мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) на основі ріпакової олії.

Результати дослідження. Було висунуто гіпотезу про те, що при індентуванні матеріалів факторами найбільшого впливу на глибину та інші параметри канавки рельєфу є нормальна сила, твердість та відносне видовження досліджуваного матеріалу. Ці теоретичні засади лягли в основу математичної моделі процесу індентування. Розроблено розрахунок дії сили заглиблення і геометричних параметрів лінійного індентора на форму і розміри канавки рельєфу. Експериментально підтверджено теоретичні положення про вплив сили заглиблення, твердість і пластичність матеріалу деталі на параметри канавки рельєфу.

У процесі індентування змінювались три основні параметри цього процесу: сила заглиблення індентора P , твердість HV або мікротвердість $H\mu$ оброблюваного матеріалу та відносне видовження δ досліджуваних матеріалів.

Вплив сили заглиблення P , що вимірювалась у кН на 1 мм довжини леза лінійного індентора, полягає у безпосередній дії на глибину канавки h та дії на цей параметр оптимізації через проміжні фактори. Такими факторами є радіус округлення ρ та кут α при вершині індентора, що сильно впливають на глибину канавки. Більш слабка дія спостерігається з боку МОР та швидкості v заглиблення. Перший зі слабких факторів має убезпечити індентування від адгезійних явищ і знизити фактор тертя. Цим умовам найкраще відповідає МОР на основі ріпакової олії. Швидкість заглиблення у межах $v = 0,01\text{--}0,05$ м/с практично не впливає на глибину канавки.

Твердість чи мікротвердість усіх досліджуваних матеріалів та їх пластичність, що визначається відносним видовженням, належать до основних факторів процесу індентування. Тому ці фактори безпосередньо впливають на глибину канавки, а опосередковано формують параметри оптимізації через кут α при вершині індентора та радіус ρ . Менший вплив на глибину канавки мають склад МОР та швидкість заглиблення.

Таким чином, проміжними складовими математичної моделі у процесі експериментів визначені радіус округлення ρ та кут α при вершині індентора (фактори інструмента) і МОР та швидкість заглиблення як складові процесу.

У результаті проведення дослідів отримана залежність глибини канавки мікро- і макрорельєфів від факторів процесу:

$$h = C_h P^x HV^y \delta^z \rho^m \alpha^n v^p MOP^q .$$

На рис. 1 подано взаємозв'язок явищ при утворенні рельєфів на поверхні деталей машин. Виконані дослідження дозволили розробити метод відновлення зношених деталей заглибленням лінійного індентора, створити принцип отримання дискретних поверхонь деталей машин чергуванням канавок рельєфу з плоскими площадками у межах дискретності 5–50% та методи отримання фасонних поверхонь у отворах порожнистих деталей копіюванням. Отримані теоретичні і експериментальні результати досліджень заглиблення лінійного індентора у деталі засобів транспорту нині використовуються у навчальному процесі Національного транспортного університету у дисциплінах, що стосуються інженерії поверхні деталей машин, відновлення останніх, а також при підготовці поверхонь для нанесення захисних покриттів. Сказане коротко описано у наших роботах [1–3].

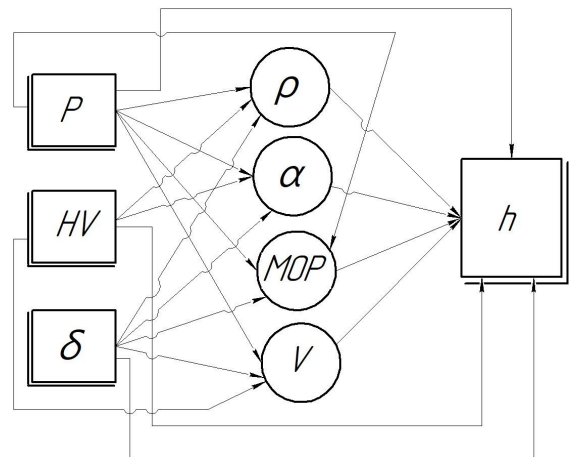


Рис. 1 – Взаємозв'язок явищ при утворенні рельєфів на поверхні деталей машин

Література

1. Posviatenko, Eduard. Structural Metal Materials of Machine Parts with Regular Surface Reliefs / Eduard Posviatenko, Nataliia Posviatenko, Illia Rybak // *Bezpiecznstwo I Mat. Eksploatacyjne wybrane zagadnienia*–Rzeszow, 2020ю – № 20, seria: inzynieria Mechaniczna.– P. 81–84.
2. Посвятенко, Е.К. Инженерія деталей, оброблених протягуванням / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Є. Шейкін та ін. – Кропивницький, 2021. – 466 с.
3. Посвятенко, Е.К. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин рельєфами поверхні / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, І.П. Рибак // *Вісник Національного транспортного ун-ту : Серія технічні науки*. – К. : НТУ, 2021. – вип. 1 (48). – С. 270–282.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЧАВУНІВ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Для забезпечення високої продуктивності та стабільності процесів механічної обробки великогабаритних поверхонь деталей з високоміцних чавунів торцевими фрезами з надтвердих матеріалів, потрібно враховувати вплив глибини різання, подачі на зуб, швидкості різання та швидкості поширення деформації на температуру та сили різання які виникають при цьому. Для кращого розуміння процесу різання застосовують метод скінченних елементів, який дозволяє ілюструвати механізми формування стружки, вплив товщини стружки, напруги, деформації та розподіл температур у зоні різання. В сучасних дослідженнях з визначення розподілу тепла в зоні різання найбільше уваги приділяють температурам які виникають в процесі формування і відділення стружки.

Багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями було встановлено, що на розподіл тепла між заготовкою, стружкою та інструментом найбільший вплив мають швидкість різання та сили різання. У більшості досліджень, результати отримані при проведенні експериментів та результати отримані при побудові різних математичних моделей мають дуже близькі значення. Використання різних моделей дозволяє отримати оптимальні параметри при яких обробка може бути ефективною. Точні та надійні моделі процесу обробки здатні повністю описувати механізм процесу обробки. Використання комп'ютерного забезпечення для розв'язання рівнянь, які описують пластичну течію матеріалів та їх руйнування, дозволяють отримати симуляцію цих процесів. Ці рівняння описують емпіричний зв'язок між усіма скінченними елементами процесу обробки і називаються науковими моделями. Серед них є такі моделі: Джонсона-Кука, Зеріллі-Армстронга, Купера-Саймондса та інші.

Модель Джонсона-Кука включає критерій руйнування, який залежить від швидкості деформації. Вона описується емпіричним рівнянням для металів під дією високих температур, великих дефо-

рмацій та високих швидкостей деформації, під дією яких динамічна межа текучості σ , буде рівна:

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n)(1 + C \cdot \ln \dot{\varepsilon}^*)(1 - T^{*m}),$$

де ε – інтенсивність пластичної деформації; $\dot{\varepsilon}^* = \dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0$ – безрозмірна швидкість пластичної деформації, що визначається як відношення миттєвої швидкості пластичної деформації $\dot{\varepsilon}$ до її граничного значення $\dot{\varepsilon}_0 = 1$; T^* – гомологічна температура; A – статична межа текучості, B – модель деформаційного зміцнення, n – показник ступеня в законі деформаційного зміцнення, C – коефіцієнт швидкості деформацій, m – показник ступеня в законі температурного зменшення (константи, які визначається емпіричним шляхом).

Модель Джонсона-Кука є досить простою і може використовуватися, як для опису процесів, які відбуваються при малих деформаціях і швидкостях деформацій при кімнатній температурі, так і при високих швидкостях деформації та температурах.

Більшість моделей досліджують: систему сил різання, температури різання, поверхню різання, геометрію стружки та об'єм стружки. Однак існують і такі, які описують кінематику самого процесу різання. Для цього застосовують такі системи скінчено елементного аналізу як ADVANT EDGE, ABAQUS, LS-DYNA, ANSYS EXPLICIT DYNAMICS, DEFORM. Їх застосовують в основному для зменшення термінів підготовки виробництва та мінімізації фінансових затрат, та для налагодження технології.

DEFORM використовуються для опису напружено-деформованого стану, при якому використовують ефективно напруження $\bar{\sigma}$ і ефективна деформація $\bar{\varepsilon}$. Рівняння для опису ефективних напружень і ефективних деформацій при цьому має вигляд:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)};$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.$$

В процесі обробки металів різанням відбувається генерування теплоти під дією контактної взаємодії і деформацій оброблюваного матеріалу (рис. 1, 2).

Кількість тепла в зоні різання:

$$Q_p + Q_w + Q_t = F_v \cdot v$$

де Q_p – кількість тепла в зоні різання, Q_w – кількість тепла зосередженого в зоні первинних пружно-пластичних деформацій, Q_c – кількість тепла відданого стружці, Q_t – кількість тепла зосередженого в зоні пластичних деформацій, F_v – сила різання, v – швидкість різання.

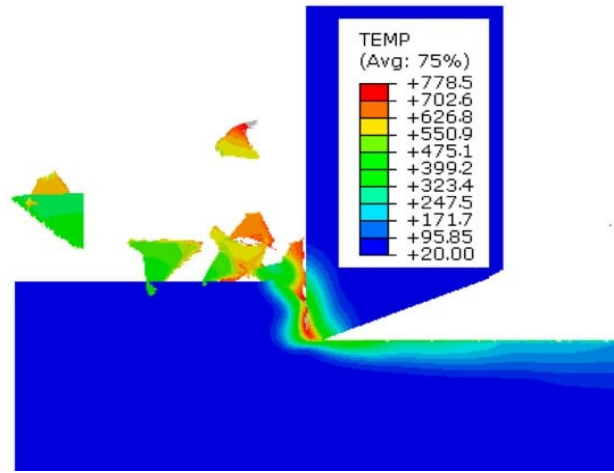


Рис. 1 – Температури в зоні різання в процесі формування стружки при обробці чавунів

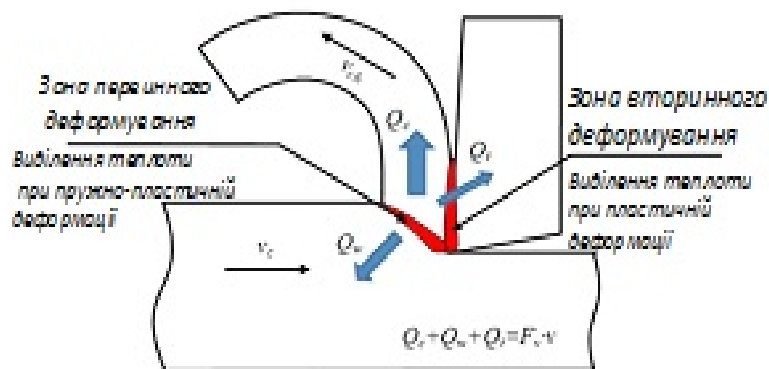


Рис. 2 – Основні джерела тепла під час формування стружки при механічній обробці

Аналіз літературних джерел показав, що дані отриманні при побудові математичних моделей та дані отримані при проведенні експериментів мають часто дуже близькі значення, а тому його варто застосовувати, для попередньої оцінки процесу різання, та використовувати для вибору параметрів різання при яких досягається ефективна обробка.

Рижов Ю.Е., Абрамова С.Л. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ МОТС НА ЗМІНУ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ПІСЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ

В ході виконання алмазно-абразивної обробки застосовано ряд сучасних водорозчинних МОТС та присадок як вітчизняного, так і

іноземного виробництва: синтетичні та напівсинтетичні водорозчинні МОТС серійного виробництва – 5% розчини боровмістних: “Велс-1М”, “Інкам-1”, “Камдек-1”, “Волгол-С”, а також “Sintilo-81E” (містить антизадирні поверхнево активні речовини (ПАР)), “Sintilo-HRS” (містить хлор, фосфор), “Бласокат 4000” (містить естери солі жирних кислот (СЖК), ПАР), “Тремлос” (містить синтетичні мила, електроліти), фосфоровмістної МОТС “Автокат Ф40”, “Атмол-06” (містить бор, фосфор, ПАР), “Трибол” (містить бор, фосфор, азот), “Сінхо-10” (містить ПАР – блоксополімер окису етилену та окису пропилену), емульсолу “Автокат Ф78”, а також присадок – трибутилфосфату та водорозчинного фосфату, боровмісного карбаміду, хлоровмісної рідини “Саркозіл-О”, метилового етеру рапсової олії, етилового етеру СЖК. Вивчення технологічних властивостей трибутилфосфату, метилового етеру рапсової олії та етилового етеру СЖК провадилось при 100% концентрації, так як ці марки рідини практично не розчиняються у воді і використовуються як заміна мінеральної олії та гасу. Відразу варто відзначити, що трибутилфосфат відноситься до другої категорії токсичності і в реальних МОТС його концентрація не повинна перевищувати 3–5% маси.

В теперішній час поряд зі сталями в автомобільній та авіаційній промисловості широко застосовуються деталі пар тертя із титанових та алюмінієвих сплавів [1]. В табл. 1 представлені результати досліджень впливу МОТС при алмазно-абразивній обробці титанових сплавів, армованих боридом титану ($VT22+TiB_2$).

З урахуванням того, що характеристики початкової ділянки опірної кривої профілю шорсткості обробленої поверхні при усіх рівних умовах безпосередньо пов'язані з експлуатаційними властивостями деталей пар тертя, то максимальною зносостійкістю володіють поверхні з титану VT9 після обробки з МОТС “Трибол” (12). Як бачимо із табл. 1 цей показник до 2 разів перевищує результати, отримані із застосуванням більшості серійних МОТС, що підтверджується результатами склерометрування. Це свідчить про необхідність ретельного підбору компонентного складу МОТС в залежності від вимог щодо параметрів шорсткості поверхні деталі, яка формується. У випадку необхідності подальшої обробки деталі (після процесів хонінгування або суперфінішування) методами полірування та доводки, найбільша продуктивність досягається при мінімальній несучій здібності шорсткості вихідної поверхні. Як видно із представлених результатів експериментів, оптимальним для цього є застосування на операціях попередньої алмазно-абразивної

обробки сучасного екологічно чистого метилового етеру рапсової олії (18) рослинного походження.

Таблиця 1 – Результати дослідження впливу МОТС при алмазно-абразивній обробці титанового сплаву VT22+TiV₂

№ з/п	МОТС	Тип* МОТС	Зйом металу, мм/хв	Параметри шорсткості поверхні**						
				Ra	t5	t10	t20	t30	t40	t50
1	Велс-1М	н/с	0,02	0,77	1	2	8	18	34	54
2	Автокат Ф40	н/с	0,03	0,51	0	1	4	11	19	32
3	Автокат Ф78	е	0,02	1,08	3	6	15	31	50	60
4	Інкам-1	н/с	0,03	0,78	0	1	5	16	34	56
5	Камдек-1	н/с		0,53	1	3	6	14	21	35
6	АТМОЛ-06	н/с		0,51	2	7	19	33	54	68
7	Волгол-С	с		0,55	3	5	11	21	36	51
8	Sintilo-81E	н/с	0,01	0,27	2	3	5	8	13	21
9	Sintilo-HRS	с	0,02	0,65	7	8	15	28	38	48
10	Бласокат 4000	н/с	0,03	0,48	12	13	18	25	37	48
11	Гремлос	с	0,02	0,62	8		24	41	55	73
12	Трибол	н/с	0,03	0,33	11		23	36	46	54
13	Сінхо-10	н/с	0,02	0,85	2	6	18	33	52	67
14	Трибутилфосфат	п	0,03	1,19	1	3	9	16	29	57
15	Водорозчинний фосфат	п	0,02	1,02			7	18	37	52
16	Карбамід	п		1,60			8	16	34	51
17	Саркозіл-О	п	0,03	1,20	3	5	11	22	40	60
18	Метиловий етер рапсової олії	п	0,05	0,80	0	0	3	13	33	53
19	Етиловий етер СЖК	п	0,04	0,80	1	3	9	20	41	67

* с – синтетичні; н/с – напівсинтетичні; е – емульсія; п – присадка

**Ra – мкм; tp – %

Титанові сплави відносяться до матеріалів з високою питомою міцністю: при щільності 4,6 г/см³ границя плинності досягає 1400 МПа у поєднанні з низькою теплопровідністю. Іншою особливістю титанових сплавів є їх здібність поглинати деякі хімічні елементи із оточуючого середовища. У результаті насичення оброблюваної поверхні киснем, нітрогеном, вуглецем утворюється шар підвищеної твердості. Із літературних джерел [1] також відомо, що в титані добре розчинюється сірка, фосфор та бор. Ця особливість

титанових сплавів негативно впливає на процеси утворення захисних плівок та знижує сили тертя при різанні. При виборі складу МОТС необхідно враховувати схильність титану до схоплювання з поверхнею алмазних зерен в інструменті та, як наслідок, утворенні задирів на оброблюваній поверхні деталі.

Із табл. 1 бачимо, що з падінням продуктивності обробки шорсткість поверхні сплаву VT22+TiB₂ знижується. Виняток становлять результати випробування зразків МОТС с низькими антизадирними властивостями (1, 3, 13–17). Застосування МОТС “Бласокат 4000” (10), що має у складі естерні сполуки, а також серійних МОТС, що мають підвищений вміст антизадирних ПАР, забезпечує найбільшу продуктивність та задовільну якість обробки сплаву VT22+TiB₂ (7, 12). Підвищення продуктивності обробки сплаву VT22+TiB₂ до 2 разів досягається із застосуванням метилового етеру рапсової олії та етилового естеру СЖК 100% концентрації.

В табл. 1 показані характеристики опірних кривих шорсткості поверхні титанового сплаву VT22+TiB₂. При цьому обробка зразків в присутності МОТС з підвищеним вмістом фосфатів та ПАР (6, 12), а також слабких електролітів (11) призводить до зростання несучої здібності поверхні яка формується.

Таким чином виявлено, що для умов фінішної алмазно-абразивної обробки (хонінгування та суперфінішування) титанових сплавів найбільша продуктивність обробки досягається застосуванням 5% водяних розчинів МОТС, що містять фосфати у кількості 8–12% по масі та ПАР. Разом з тим, встановлено, що боро- та хлоромісткі МОТС на операціях хонінгування забезпечують продуктивність обробки у 2–4 рази нижче, ніж із застосуванням фосфатомістких МОТС.

Дослідженнями встановлено, що високу ефективність при обробці титанових сплавів показав етиловий етер рапсової олії 100%-ї концентрації і, враховуючи рослинне походження та екологічну чистоту вихідної сировини, вказана речовина може бути рекомендована в якості замітника багатоконпонентних, дорогих, токсичних МОТС та гасу на операціях хонінгування та суперфінішування.

Література

1. Рижов, Ю.Е. Оброблюваність титанових сплавів при фрезеруванні із використанням ПНТМ та алмазному хонінгуванні / Ю.Е. Рижов, В.В. Бурикін С.Л. Абрамова // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Житомир. : ЖДТУ, 2010. – вип. 9. – С. 113–121.

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ НАКЛЕПУ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ТОНКОМУ КУБОНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ

Метою роботи є встановлення особливостей формування параметрів наклепу поверхонь нових антифрикційних композитних деталей вузлів поліграфічних машин на основі регенерованих шліфувальних відходів сталі Р6М5К5 з домішками твердого мастила CaF_2 при тонкому кубонітовому шліфуванні.

Одержані закономірності утворення наклепу дозволять технологам промислових підприємств створювати технологічні процеси, що враховують вплив складу кубонітового інструменту на параметри якості нових антифрикційних деталей друкарської техніки, яка працює за швидкостей обертання робочих органів >500 об./хв. та навантажень 3,0–5,0 МПа.

У експериментах використовувались шліфувальні круги з кубоніту (КНБ) на керамічній (К1), металевий (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1, Бр2) зв'язках зі 100%-ю концентрацією кубоніту, за режимів шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF–250 “Abawerk” (ФРН), швидкість круга 22 м/с, швидкість виробу $V_B = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження – 3% розчин содової емульсії, $\Delta a/a$ – спотворення 2-го роду; H_d – мікротвердість деталі за Віккерсом; K – ступінь наклепу (H_d/H_3); показники наклепу зразків без обробки: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$; $H_3 = 3610$ МПа.

Результати експериментальних досліджень параметрів зміцнення поверхневого шару при тонкому кубонітовому шліфуванні зразків з нових композитів наведені у табл. 1–3.

Дослідження показали, що мінімальні спотворення II-го роду, мікротвердість, ступінь наклепу та глибина наклепу у поверхневому шарі забезпечуються інструментами з кубічного нітриду бору зернистістю 14–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при 100% концентрації кубоніту із застосуванням тонких режимів різання для плоского однопрохідного шліфування: швидкість круга – 22 м/с, швидкість виробу (поздовжня подача) – 2 м/хв, глибина різання – 2 мкм з охолодженням розчином содової емульсії.

Таблиця 1 – Залежність наклепу від матеріалу зв'язки круга при кубітовому шліфуванні зразків із композиту Р6М5К5+6% CaF₂

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Зв'язка інструменту	Параметри наклепу		
			$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	H_d , МПа	K
КНБ5К1 100%	50	Керамічна	23–24	4350	1,17
КНБ5М1 100%		Металева	21–23	4450	1,18
КНБ5Бр1 100%		Бакелітно-гумова	20–21	4310	1,15
КНБ5Бр2 100%		Бакелітно-гумова	21–22	4380	1,18
КНБМ28К1 100%	28	Керамічна	20–21	4050	1,12
КНБМ28Бр1 100%		Бакелітно-гумова	18–19	3970	1,10
КНБМ14К1 100%	14	Керамічна	15–16	3900	1,07
КНБМ14Бр1 100%		Бакелітно-гумова	13–14	3780	1,05
КНБМ14М1 100%		Металева	16–17	3850	1,06
КНБМ10К1 100%	10	Керамічна	14–16	3750	1,03
КНБМ10Бр1 100%		Бакелітно-гумова	11–13	3670	1,01

Таблиця 2 – Параметри наклепу по глибині наклепаної зони при кубітовому шліфуванні зразків з композиту Р6М5К5+6%CaF₂

Вид обробки, тип круга	Глибина вимірювання, мкм							
	1		3		5		10	
	Параметри наклепу							
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	K
Без охолодження КНБ10Бр1 100%	22,5–23,5	1,20	22,0–23,0	1,21	21,5–22,5	1,20	10,5–21,5	1,16
З охолодженням КНБ 10Бр1 100%	22,5–23,5	1,21	22,0–23,0	1,20	21,5–22,5	1,19	19,9–20,2	1,15
З охолодженням КНБМ28Бр1 100%	17,0–18,0	1,08	17,0–18,0	1,07	16,5–17,0	1,06	14,5–16,0	1,03
Без охолодження КНБМ28Бр1 100%	17,5–18,5	1,09	17,5–18,5	1,08	17,0–18,0	1,07	14,0–16,0	1,04
З охолодженням КНБМ20Бр1 100%	16,0–17,0	1,06	15,5–16,5	1,05	15,0–17,0	1,05	14,0–14,5	1,03
З охолодженням АСМ14Бр1 100%	13,0–15,0	1,04	12,5–15,5	1,03	12,0–14,0	1,03	11,5–13,5	1,02
Без охолодження КНБМ14Бр1 100%	13,0–13,5	1,03	13,0–13,5	1,02	12,0–12,5	1,02	11,0–13,0	
З охолодженням КНБМ10Бр1 100%	11,0–13,0	1,02	10,0–12,0		10,0–12,0		9,0–10,5	
Без охолодження КНБМ10Бр1 100%	12,0–12,5	1,04	11,0–11,5	1,03	11,0–11,5			
З охолодженням КНБМ7Бр1 100%	10,5–11,5	1,02	10,0–11,0	1,02	9,5–10,5	1,01	7,5–9,0	

Таблиця 3 – Залежність ступеню наклепу K від зернистості при кубітовому шліфуванні зразків з композиту Р6М5К5+6%СаF₂ кругами на еластичній бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1)

Абразивний інструмент	Зернистість, мкм	Параметри наклепу K
КНБ10БР1 100%	100	1,21
КНБ 5БР1 100%	50	1,15
КНБМ28БР1 100%	28	1,11
КНБМ20БР1 100%	20	1,08
КНБМ14БР1 100%	14	1,05
КНБМ7БР1 100%	7	1,02

Румянцева Ю.Ю., Клименко С.Ан., Чумак А.О., Савченко Д.О. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ cBN ЗІ ЗВ'ЯЗКАМИ NbN , $TiCN$, TiN , TaN АРМОВАНИХ МІКРОВОЛОКНАМИ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК

При створенні композитів на основі cBN доцільно варіювати склад вихідної суміші із міркувань забезпечення найменшої різниці коефіцієнтів термічного розширення та модулів пружності матричного матеріалу та матеріалу зв'язки. Крім того, аналіз пружних властивостей існуючих композитів на основі cBN свідчить про те, що потрібно забезпечити зменшення вкладу йонно-металевих зв'язків, які є небажаними для різальних елементів на основі cBN , оскільки вони легко окислюються та взаємодіють з оброблюваним матеріалом.

Композити зі зв'язкою нітриду ніобію продемонстрували себе значно краще у випробовуваннях на зносостійкість, оскільки, як показав аналіз їх пружних характеристик, такі композити характеризуються значним вмістом міцних ковалентних зв'язків.

В даній роботі проведено дослідження пружних властивостей для композитів на основі cBN (50–60 об.%) із зв'язками NbN , $TiCN$, TiN та TaN в якості армуючи мікрОВОЛОКОН використовувалися Al_2O_3w , $SiCw$, Si_3N_4w , $Mg_2B_2O_5w$ у кількості 5–15 об.%. Такий вибір вмісту волокон пояснюється тим, що навіть незначне додавання

мікрОВОЛОКОН БЕЗОКСИДНИХ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК ПОКРАЩУВАЛО ЯК ТВЕРДІСТЬ, ТАК І ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ КОМПЗИТІВ, ПРОТЕ, МАКСИМУМ ЯК ТВЕРДОСТІ, ТАК І ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ СПОСТЕРІГАВСЯ САМЕ ДЛЯ ЗРАЗКІВ, З ДОДАВАННЯМ 5 ОБ.%. ВСЕ ЦЕ ВКАЗУЄ НА ТЕ, ЩО КОМПЗИТИ САМЕ З ТАКИМ ВМІСТОМ МІКРОВОЛОКОН ПОВИННІ БУТИ НАЙБІЛЬШ ЕФЕКТИВНИМИ В ЯКОСТІ ДЕМПФУЮЧИХ ШАРІВ.

Крім того, попередні дослідження продемонстрували, що збільшення вмісту мікрОВОЛОКОН ОКСИДНИХ СПОЛУК СПРИЯЄ ПІДВИЩЕННЮ ЗНОСОСТІЙКОСТІ, НЕ ДИВЛЯЧИСЬ НА ЗМЕНШЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ, ЩО ВКАЗУЄ НА ТЕ, ЩО ТАКЕ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОВ'ЯЗАНО, В ПЕРШУ ЧЕРГУ, З ПІДВИЩЕННЯМ ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ В КОМПЗИТУ ПРИ ДОДАВАННІ МІКРОВОЛОКОН, І ВЖЕ В ДРУГУ – З МОРФОЛОГІЄЮ. ОТЖЕ, ДЛЯ МАТЕРІАЛУ ШАРУ, КОНТАКТУЮЧОГО З ПОВЕРХНЕЮ ОБРОБЛЮВАНОВОГО МАТЕРІАЛУ, БУЛО ОБРАНО 20 ОБ. % МІКРОВОЛОКОН ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ.

Встановлення пружних властивостей композитів було здійснено неруйнівним методом за допомогою ультразвукового товщиноміру Olympus 38 DLPlus. На основі отриманих результатів було сформовано залежність коефіцієнту Пуасона та параметру пластичності (рис. 1).

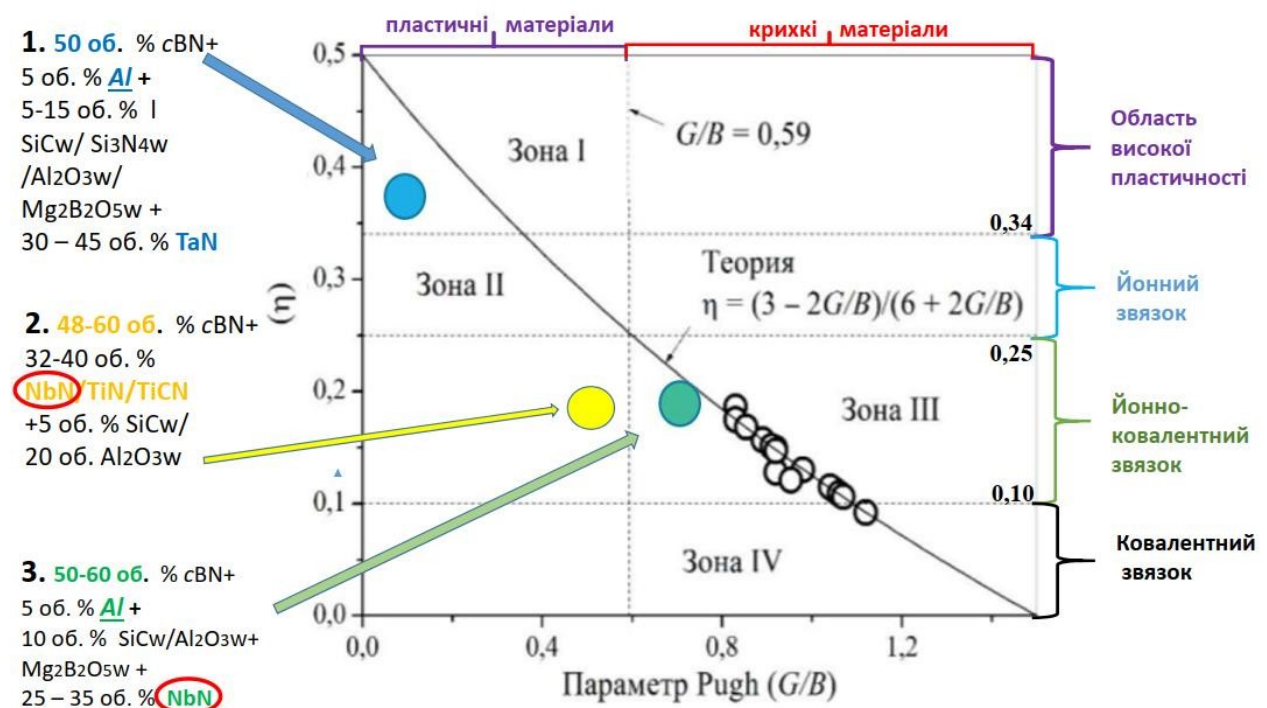


Рис. 1 – Діаграма, що демонструє залежність значень коефіцієнту Пуасона (ν) та параметру пластичності (G/B)

Як відомо, при описі коефіцієнта Пуассона від параметра G/B припускають, що $\eta = 0,1$ характерний для сполук з ковалентним зв'язком, а $\eta = 0,25$ – для сполук з іонним зв'язком, а при $\eta \geq 0,34$ – композити переходять в область високої пластичності. При чому, вважається, що $G/B \leq 0,56$, то матеріал є пластичним, а якщо $\geq 0,56$ – крихкий.

Матеріали зі зв'язкою нітриду ніобію та додаванням алюмінію потрапляють (група 3) в зону III сполук з йонно-ковалентним зв'язком, примикаючи до зони ковалентності, так само як і матеріали групи з високим вмістом нітриду бору (h -BN), не досягаючи точки крихко-пластичного переходу, що свідчить про крихкість даних композитів та обумовлює крихкий знос даної групи різальних елементів.

Таким чином, композити зі зв'язкою нітриду танталу (група 1) лежать в області високої пластичності саме завдяки особливостям зв'язку в кристалічній ґратці нітриду танталу оскільки це матеріал з великим вкладом металевого зв'язку (зона 2). Не дивлячись на те, що алюміній, який додавався до складу вихідних композитів зі зв'язками TaN та NbN (група 1 та група 3) є пластичним матеріалом, проте, порівняння властивостей матеріалів зі схожим складом, але без додавання алюмінію, свідчить про те, що додавання алюмінію призводить до підвищення крихкості отриманих матеріалів. Враховуючи високу реакційну здатність алюмінію – з одного боку, та його відносно незначний вміст в розроблених композитах у поєднанні з високою температурою спікання розроблених матеріалів (2000 °C), можна стверджувати, що майже весь введений алюміній прореагував зі складовими розроблених композитів, утворивши сполуки з високою крихкістю та співвідношенням $G/B \geq 0,59$, що і привело до того, що отримані композити змістилися з йонно-металевої (2) до ковалентної зони (4) з вищою крихкістю, при тому, що для усіх застосовуваних зв'язок (TaN, TiN, TiCN, NbN) характерне переважання йонно-металевого зв'язку над ковалентним.

Додавання мікрОВОЛОКОН до складу основного матеріалу, зазвичай приводить до підвищення співвідношення G/B , що свідчить про збільшення вмісту міцних ковалентних зв'язків у розроблених композитів та пов'язано з підвищеною міцністю мікрОВОЛОКОН.

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МАТРИЦЬ ДЛЯ ГАРЯЧОЇ КОВКИ З ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ ШТА

Забезпечення конкурентоспроможності, надійності, довговічності роботи виробів може вирішуватись двома основними напрямками: розробкою нових матеріалів, що мають більш високий рівень фізико-хімічних експлуатаційних властивостей та формуванням на поверхнях деталей захисних і зміцнювальних покриттів ресурсозберігаючими технологіями.

Технологія імпульсного термоциклічного вакуумного йоноплазмового азотування матеріалів поверхні деталей вигідно відрізняється від відомих процесів вакуумного азотування. Імпульсне термоциклічне оброблення дозволяє скоротити терміни проведення процесу, отримати більш тверді і глибок шари, стабільні структури і властивості поверхні азотованих матеріалів [1].

Численними дослідженнями встановлено, що покриття істотно впливають на механічні властивості основи і композиції “покриття–основа”, причому цей вплив може бути як позитивним, тобто викликає підвищення механічних та триботехнічних характеристик, так і негативним, що викликає їх зниження.

З усіх видів покриттів або дифузійних шарів іонний процес азотування доведений до технологічної досконалості, відповідає більшості сучасних вимог та оцінюється як високопродуктивний, високоефективний, енергозберігаючий та екологічно чистий.

Процес імпульсного термоциклічного вакуумного йоноплазмового азотування матеріалів запропонований для зміцнення штампового інструменту – пуассонів та матриць для гарячого пресування.

Вихід з ладу штампового інструменту відбувається через термоциклічні навантаження – деталь, яка піддається ковці, нагріта до температури порядку 1000–1100 °С нагріває матрицю, а потім інструмент різко охолоджується і після нетривалої експлуатації циклів нагрівання-охолодження на штампувальному інструменті з'являється сітка (рис. 1).

На матриці (див. рис. 1) видно зношений матеріал у вигляді поздовжніх рисок, одержаних при теплових навантаженнях. Оскільки матриці та пуансони виготовлені з матеріалу 5ХНМ, а матеріал містить достатню кількість хрому, то в процесу імпульсного термоциклічного іонноплазмового вакуумного азотування відбувається утворення нової сполуки – нітриду хрому, яка має високу теплостійкість.



Рис. 1 – Зношена матриця для штампування сталевих куль, яка використовуються для розмелювання матеріалів після впливу термоциклічних навантажень

Розроблена технологія імпульсного термоциклічного йонноплазмового вакуумного азотування відрізняється тим, що нагрівання деталі здійснюється тільки поверхневим підведенням енергії тліючого розряду. У розрідженому вакуумному газовому середовищі, що складається з азоту і аргону, між катодом (деталь) і анодом (стінка вакуумної камери) збуджується циклічний розряд керованої потужності.

При цьому позитивні іони газу з високою енергією бомбардують поверхню деталі, нагрівають її до температури насичення

і дифундують поверхню, формуючи в ній твердий розчин азоту в металі, а при досягненні межі розчинності – нітридні фази.

Таким чином, захисне покриття, що зміцнює, фактично являє собою модифікований (легований) поверхневий шар матеріалу деталі, одержуваний шляхом адресного підведення енергії масообміну. Початкова термообробка виконується до твердості 48–50 HRC.

Процес триває близько 14 год. За цей період твердість азотованого шару підвищується до 700–750 HV, а товщина зміцненого шару досягає 0,4–0,5 мм.

Розроблена технологія термоциклічного йонноплазмового вакуумного азотування відрізняється тим, що нагрівання деталі, що зміцнюється, здійснюється тільки поверхневим підведенням енергії тліючого розряду, при цьому контролюються два параметра – максимальна і мінімальна температура поверхні деталі [2]. На рис. 2 показано штампний інструмент, оброблений методом імпульсного термоциклічного йонноплазмового вакуумного азотування – матриці для гарячого пресування до азотування та азотована.



a



б

Рис. 2 – Штамповий інструмент – матриці для гарячого пресування: до азотування (*a*) та азотована (*б*)



Рис. 3 – Зміцнений зубчастий пуансон для оброблення заготовок деталей

Проведені експериментальні дослідження показали збільшення ресурсу роботи штампового інструмента в 1,7–2,0 рази.

Висновки: термоциклічне йоноплазмове вакуумне азотування підвищує твердість, зносостійкість, корозійну стійкість і границю витривалості інструмента, при цьому немає змін його розмірів і форми, тому відпадає необхідність у подальшому фінішному механічному

обробленні.

Література

1. Ляшенко, Б.А. Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковський, А. Ю. Кумуржі та ін. // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2015. – вип № 3(74). – С. 28–33.

2. Рутковський, А.В. Патент України на корисну модель 141322 Україна МПК С 23 С 14/48, С 23 С 14/48 Спосіб контролю процесу йонно-плазмового азотування / А.В. Рутковський, Д.В. Прихожа, В.С. Антонюк; заявл. 30.05.2019 р., Опубл. 10.04.2020. – Бюл. № 7/2020.

Рябченко С.В., Бандуренко М.В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Київ, Україна
Яровицин О.В., Черв'яков М.О. Наконечний О.О. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Київ, Україна

ШЛІФУВАННЯ НАПЛАВОК З НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДУ

Забезпечення якості обробки поверхонь наплавлених нікелевими сплавами є актуальною проблемою виробництва та ремонту авіаційної техніки. Наш досвід обробки різних наплавлених матеріалів абразивним інструментом з алмазом та корундом, дозволяє прогнозувати вибір необхідного абразивного матеріалу для обробки поверхонь деталей наплавлених нікелевими сплавами.

Для опробування придатності до механічної обробки наплавленого металу нікелевих високожароміцних сплавів нами розроблені та виготовлені спеціальні абразивні головки з хромистого корунду (рубін-корунду), діаметром 20 і 25 мм, а також алмазні шліфувальні головки діаметром 12 мм під циліндричну оправку $\text{Ø}6^{-0,05}$ мм (рис. 1).

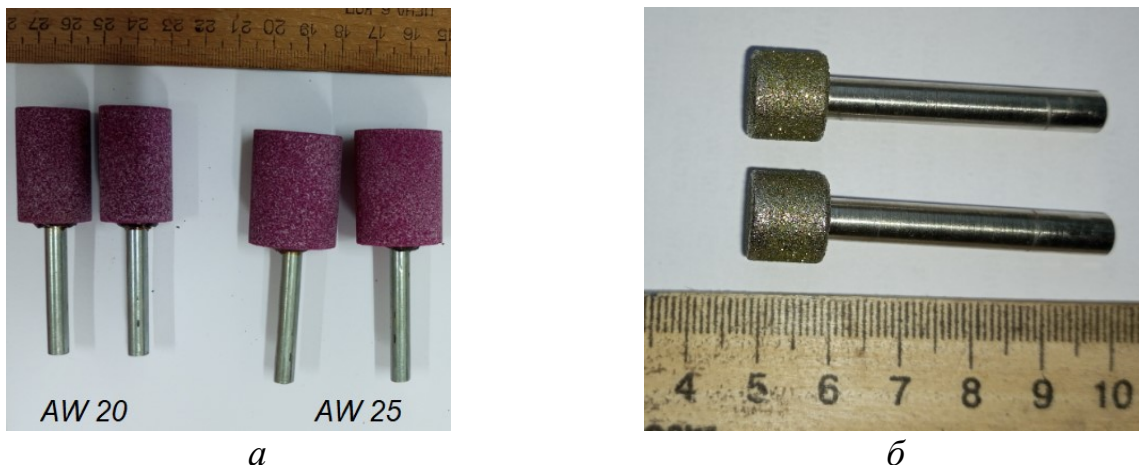


Рис. 1 – Зовнішній вид шліфувальних головок з абразиву рубін-корунд (а) та синтетичного алмазу (б)

Випробування зазначених інструментів проводилося на ручному електроінструменті професійного класу – прямій шліфмашині MKL 800 CES PLUS фірми Sparky. Її основні технічні характеристики: потужність 800 Вт; регульована частота обертів $(7-28) \times 10^3$ об/хв.

Випробування проходили шляхом виконання проміжної механічної обробки наплавленого шару на зварних заготовках «вертика-

льна стінка» (рис. 2), отриманих багатошаровим мікроплазмовим порошковим наплавленням дослідної композиції порошкових матеріалів на базі нікелевого високо жароміцного сплаву типу ЖС6. Вимірювання твердості такого наплавленого металу показало її знаходження в діапазоні 35–41 HRC. Висота наплавленого валика від лінії сплавлення з попереднім шаром складала орієнтовно 5 мм, а загальна ширина зони проміжної механічної обробки на її заключній стадії— орієнтовно 10–15 мм. Зазначена модельна заготовка орієнтовно відповідала 0,3–0,5 довжини ущільнюючого елемента блоків соплових лопаток одного із сучасних авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД).

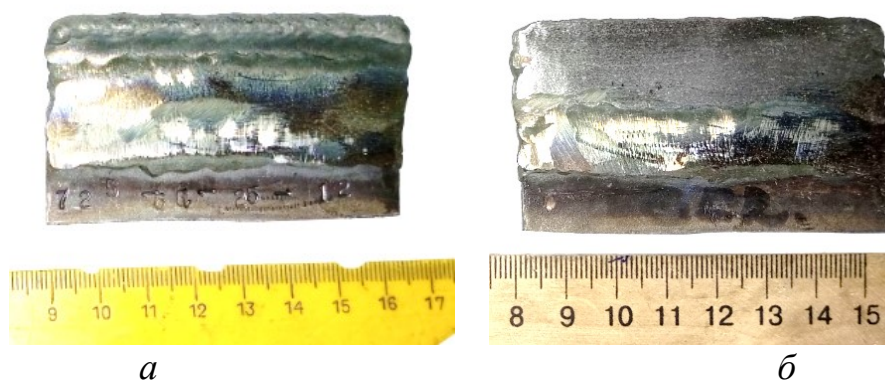


Рис. 2 – Зовнішній вид зварної заготовки «вертикальна стінка» з дослідного наплавленого металу на базі нікелевого жароміцного сплаву типу ЖС6 перед проміжною механічною обробкою (а) та після неї (б)

Результати порівняльних випробувань розроблених нами абразивною головкою AW 20 на різних режимах механічної обробки показали високу ефективність обробки. На відміну від абразивних головок фірми kwb Germany GmbH Art 553000, що послідовно замінювалися (5 шт.) через критичне зношування абразивної частини або навіть її уламкове руйнування, всі тестові випробування виконано тільки однією з розроблених нами абразивних головок AW 20. Після закінчення всіх порівняльних випробувань її зношування складало орієнтовно 50% від початкового об'єму цієї абразивної головки.

Практична придатність абразивних головок AW 20 і AW 25 (рубін-корунд) та алмазних головок (АГЦ АС 32 250/200) до механічної обробки наплавленого металу нікелевих жароміцних сплавів типу ЖС6 та ЖС32 із застосуванням прямої шліфмашини MKL 800 CES PLUS також перевірялася на реальних деталях авіаційних ГТД при вирішенні задач розробки технологій їх ремонту на базі процесу мікроплазмового порошкового наплавлення.

Встановлено, що абразивні головки AW 20 і AW 25 з хромистого електрокорунду (рубін-корунд) придатні до застосування на режимах 21–28 тис. об/в. для попередньої обробки (залишковий припуск $\approx +0,3$ мм) бокових поверхонь наплавлених валиків з нікелевих жароміцних сплавів типу ЖС6 та ЖС32, розширення виборок на торцевих поверхнях.

Висновки.

1. Розроблені абразивні головки з хромистого електрокорунду (рубін-корунд) AW 20 і AW 25 продемонстрували хорошу здатність до механічної обробки наплавленого металу сучасних нікелевих жароміцних сплавів типу ЖС6 та ЖС32 на дослідних зварних заготовках типу «вертикальна стінка» та в умовах відпрацювання ремонту реальних деталей авіаційних ГТД мікроплазмовим порошковим наплавленням.

2. Випробування розроблених абразивних головок AW 20 і AW 25 на ручному електроінструменті професійного класу – прямій шліфмашині MKL 800 CES PLUS фірми Sparky потужністю 800 Вт показали, що зазначені головки мають близькі до оптимальних параметрів різання та стійкості абразиву характеристики на підвищених обертах $N > 20 \times 10^3$ об/хв. На менших обертах продуктивність механічної обробки знижується через «засалювання» поверхні абразивної головки оброблюваним матеріалом.

3. Порівняльні випробування абразивних головок AW 20 з шліфувальними головками фірми kwb Germany GmbH Art 553000 показали для абразивних головок AW 20 щонайменше у 3–4 рази підвищену стійкість її матеріалу та високу надійність кріплення абразивної головки до металевого хвостовика.

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

АНАЛІЗУВАННЯ ПІДСУМКІВ САМІТУ УКРАЇНА–ЄС

У Києві в лютому 2022 р. відбувся саміт Україна–ЄС. Україна незворотно впроваджує процес євроінтеграції. Наша держава зрештою має стати членом ЄС. Українська влада висловила свої найважливіші сподівання до Брюсселя – якнайшвидше перейти до перемовин про вступ до ЄС, посилити санкції проти РФ та допомогти

Україні (<https://www.eurointegration.com.ua/articles/2023/02/7/7155643/>). Україна має справді добрий потенціал для зростання та може вирватися уперед. Тут критично важливо, що є кілька реформ, які є визначальними для сприйняття наших успіхів Брюсселем та іншими європейськими столицями.

Перед початком спільного засідання уряду України та Єврокомісії в Києві українській стороні було передано «Аналітичний звіт», що доповнює висновки Єврокомісії щодо заявки України на вступ до Євросоюзу. Цей документ, по суті, є аудитом наближення України до права ЄС та окреслює план майбутніх переговорів про вступ. Варто окремо наголосити, у чому полягають «вступні переговори» держави-кандидата до Євросоюзу. Попри назву, цей процес мало схожий на звичайні міждержавні переговори. Йдеться про те, що Україна повинна перенести всі без винятку законодавчі акти та стандарти ЄС до українського нормативного поля, після чого на цих «переговорах» українському уряду треба довести європейським колегам, що сформульована так чи інакше норма українського законодавства відповідає праву ЄС.

Так, крок за кроком, формується проєкт угоди про вступ, де підтверджується, що Україна успішно адаптувала європейське право за 33 блоками, так званими «переговорними главами» згідно з інфографікою Єврокомісії (https://neighbourhood-enlargement.ec.europa.eu/system/files/2022-10/eu_accession_process_clusters%20%28oct%202022%29.pdf).

Отже, у документі «Аналітичний звіт» Єврокомісія на 67 сторінках аналізує наближеність України до права ЄС, окремо за кожною зі згаданих переговорних глав; аналогічні документи були опубліковані щодо Молдови і Грузії. Загалом така оцінка з боку ЄС надається державам-кандидатам раз на рік, і Україна отримує її у жовтні. Нинішній звіт по Україні, Молдові та Грузії – позачерговий і тому скорочений; у ньому відсутні оцінки по ключовій для ЄС главі «правосуддя та фундаментальні права», його оцінювання в Брюсселі свідомо відклали на осінь.

Фахівці Європейської Комісії досліджують законодавство та реальну ситуацію в державі-кандидаті за кожною з глав і роблять висновки, наскільки вони наближені до європейського права і практики. Оцінку виставлює за 5-рівневою системою: 1 – початковий рівень, 2 – деяка відповідність праву ЄС, 3 – помірна відповідність, 4 – добра відповідність, 5 – просунутий рівень; також іноді ставлять «проміжний бал». Саме за такою шкалою, перевівши рівні у бали, «оцифрували» висновки ЄС.

То якими є успіхи нашої держави? Головний висновок: рівень євроінтеграції України є хаотичним, несистемним.

За оцінкою ЄС в українському праві та практиці є як ті сфери, де ми справді близькі до ЄС, так і ті, в яких наближення лише має розпочатися. Так, за чотирма з 32 глав Україна отримала справді високий бал – четвірку, тобто підтвердження «доброї відповідності». Це блок «Митний союз» (що особливо важливо для Києва, який прагне більшої торговельної лібералізації), а також енергетика, зовнішня політика, безпекова політика. Сумарно за 32 главами Україна збрала 69 балів, тобто середній бал – 2,16. Ще за п'ятьма сферами ми отримали «трійку», що є загалом непоганою оцінкою як для кандидата-початківця («помірна відповідність праву ЄС»).

	№ глави	УКРАЇНА	МОЛДОВА	ГРУЗІЯ	ТУРЕЧЧИНА	СЕРБІЯ	П.МАКЕДОНІЯ	ЧОРНОГОРІЯ	АЛБАНІЯ	БОСНІЯ	КОСОВО
Загальний бал (без глави 23)		69	55	67	94	98	97	99,5	84,5	62	55
Засадничі розділи											
Судова система та основні права	23	n/a	n/a	n/a	1	2	2,5	3	2,5	2	n/a
Юстиція, свобода, безпека	24	2	2	2	3	2	3	3	2,5	2	1,5
Публічні закупівлі	5	2	1	2	3	3	3	3	3	2	2,5
Статистика	18	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2
Фінансовий контроль	32	1	1	2	4	3	3	3	3	2	2
Внутрішній ринок											
Вільна торгівля товарами	1	3	2	2	4	3	3	3	2,5	1	2
Вільний рух робочої сили	2	1	1	1	1	3	1	2	2	2	2
Надання послуг та відкриття бізнесу	3	2	2	3	1	3	3	3	3	1	3
Вільний рух капіталу	4	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2
Корпоративне право	6	2	1	2	5	4	4	4	3	2	2
Інтелектуальна власність	7	1	2	2	4	4	3	4	2,5	3	2
Політика щодо конкуренції	8	2	2	1	2	3	3	3	2,5	2	2
Фінансові послуги	9	2	1	2	4	3	3	3	3	2	3
Захист споживачів та здоров'я	28	2	2	2	4	3	3	3	1	1	1
Конкурентність та інклюзивне зростання											
Інформаційне суспільство та медіа	10	3	2	2	2	3	3	3	3	1	2
Оподаткування	16	2	1	2	3	3	3	3	3	2	2
Економічна і монетарна політика	17	3	2	3	2	3	3	3	3	1	3
Соціальна політика і зайнятість	19	1	1	2	2	3	3	2	2	2	1
Підприємництво та виробництво	20	2	2	3	3	3	3	3,5	3	1	3
Наука та дослідження	25	3	3	3	5	4	4	4	2	2	1
Освіта та культура	26	2	2	3	3	4	3	4	3	1	1
Митний союз	29	4	2	3	4	4	4	3	3	2	3
Зелений порядок денний та стале сполучення											
Транспортна політика	14	2	2	2	3	4	3	3,5	2	2	1
Енергетика	15	4	2	2	3	3	3	4	3	1	2
Транс'європейські мережі	21	2	2	2	5	3	4	3,5	2	2	2
Довкілля та зміни клімату	27	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1
Ресурси, сільське господарство та згуртованість											
Аграрна галузь та сільський розвиток	11	1	1	1	2	2	3	3	2	1	2
Харчова безпека, ветеринарія, фітосан.	12	3	2	2	2	3	4	3	2	2	2
Рибальство	13	1	1	2	3	3	3	2	2,5	1	1
Реґіон. політика, структ.інструменти	22	2	1	1	2	3	3	3	3	1	1
Фінансові та бюджетні положення	33	1	1	1	2	2	1	2	2	1	n/a
Зовнішні зносини											
Зовнішні зносини	30	4	3	3	3	3	3	4	4	2	1
Міжнародна та безпекова політика	31	4	3	3	2	3	4	4	4	2	n/a

Джерело: звіти Єврокомісії щодо розширення

Позначки: 1 базовий рівень 2 є деяке наближення
3 середній рівень 4 добрий рівень
5 просунутий рівень наближення

Рис. 1 – Інфографіка Єврокомісії щодо адаптування європейського права

Вимоги до «переговорних глав» кожного кандидата однакові; це дає змогу порівнювати успішність євроінтеграції різних держав. І з'ясувалося, що на тлі інших держав Україна лишається лідером так званого «асоційованого тріо», тобто має вищий рівень євроінтеграції, ніж Грузія та Молдова. Грузія за тією ж методологією отримала 67 балів, Молдова – лише 55 балів, тобто середня оцінка переговорних глав – 1,72 бала.

Ще одна відмінність між державами з цього тріо – це те, що саме в Україні найбільш помітна «хаотичність» євроінтеграції. І Грузія, і Молдова мають значно більше «середніх» оцінок, в той час як у нас за значною кількістю напрямків є або провал, або серйозний прогрес.

За досвідом інших держав-кандидатів ЄС погоджується визнати повну або достатню відповідність спільному праву та дає згоду на закриття переговорів на 4-му або 5-му рівні. Це залежить від конкретної глави та від багатьох супутніх обставин.

Вступ до ЄС стає можливим після того, як члени ЄС погодяться закрити переговори за всіма главами.

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

ЗАКОНОМІРНОСТІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ДОВЕДЕННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ ІЗ БАЗУВАННЯМ НА ДВОТОЧКОВИЙ КОНТАКТ

Експериментально досліджено закономірності змінювання показників продуктивності та точності обробки, а саме: середнього діаметра куль у партії, різнорозмірності діаметра куль у партії і середньоарифметичного значення непостійності діаметра куль, а також швидкості змінювання цих показників. Схема алмазно-абразивного доведення, яка передбачала базування керамічних куль на двоточковий контакт, представлена на рис. 1 (за умови $\omega_A = 0$).

Дослідження проводили в умовах алмазно-абразивного доведення керамічних куль діаметром 12,700 мм з карбіду бору (гаряче пресування) B_4C (ГП), з карбіду бора, отриманих в апараті високого

тиску B_4C (АВТ), з нітриду кремнію, спечених в апараті високого тиску Si_3N_4 (АВТ). Експериментальні технологічні стенди на базі верстатів мод. 3Е814 та мод. ВШ-ДЗ, які переобладнані для технологічної операції доведення були додатково оснащені перетворювачами частоти електричного струму та динамометричними пристроями. Це дозволяло безступінчасто регулювати частоту обертання нижнього диска-притира в межах 19–25 об/хв та величину навантаження верхнього диска-притиру. Верхній диск-притир не обертався. Він пружно притискається до нижнього диску через поверхню оброблювальних куль із регульованим зусиллям від 5 до 200 Н. Кулі були розташовані на максимальній відстані від осі обертання у кільцевій V-подібній канавці на нижньому диску-притирі і розділені одна від одної сепаратором з відкритими пазами (рис. 2).

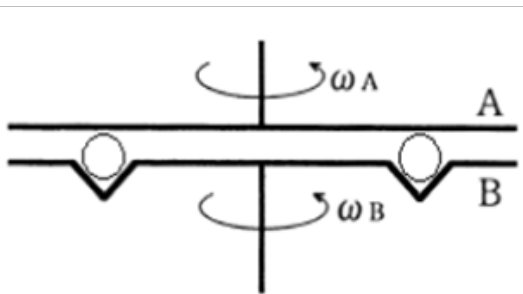


Рис. 1 – Схема алмазно-абразивного доведення з базуванням на двоточковий контакт



Рис. 2 – Розташування керамічних куль у сепараторі з відкритими пазами

Кількість одночасно оброблюваних куль у партії становила 40 шт. Алмазно-абразивну доводку куль проводили з послідовною зміною суспензій, виготовлених на основі алмазної пасти марки АСМ зернистістю 28/20, 14/10, 2/1 і 1/0 та оливи індустріальної І-20А. Обробку проводили доти, доки не було досягнуто непостійності діаметра кулі $V_{Dws} \leq 0,4$ мкм.

В результаті було отримано лінійні та нелінійні апроксимаційні математичні моделі показників процесу, на основі яких була розроблена методика призначення припуску на різних стадіях доведення залежно від заданого значення непостійності діаметра куль.

Методика призначення припуску є наступною. Спираючись на експериментальні залежності змінювання непостійності діаметра пар-

тії куль V_{Dwm} від часу доведення суспензіями алмазного мікропорошку АСМ 2/1 і АСМ 1/0 (рис. 3), спочатку вирішується зворотна задача визначення часу доведення $t_{\phi} = f(V_{Dwm})$ для досягнення заданого значення V_{Dwm} готових куль за відомого початкового значення V_{Dwm} .

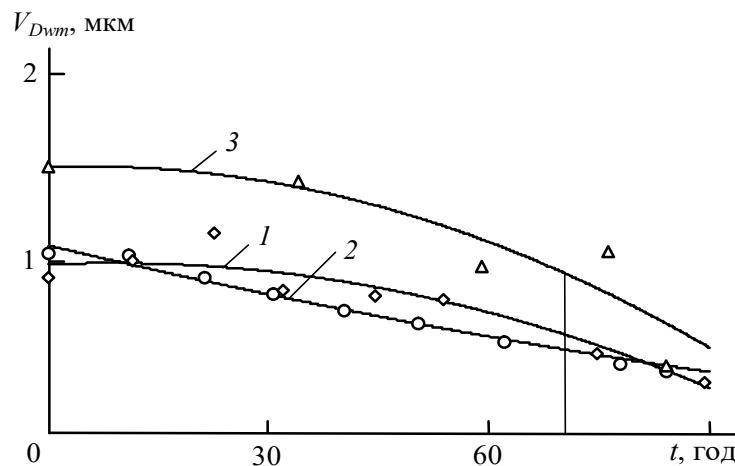


Рис. 3 – Залежність непостійності діаметра куль V_{Dwm} від часу доведення суспензіями АСМ 2/1 і АСМ 1/0 партій керамічних куль з V_4C (ГП) (1), V_4C (АВТ) (2), Si_3N_4 (АВТ) (3)

Наприклад, для визначення часу доведення керамічних куль $\varnothing 12,700$ мм з V_4C (АВТ) степені точності G16 (з непостійністю діаметра 0,4 мкм) за початкової непостійності $V_{Dwm} = 1,0$ мкм застосовуємо квадратичну апроксимаційну модель $t = 51,5521V_{Dwm}^2 - 194,93406V_{Dwm} + 144,3918$ (табл. 1) і отримуємо $t = 74,7$ год.

Оскільки швидкості зменшення діаметра куль і змінювання його варіації не співпадають, мінімальний припуск $\Delta_{mL} = f(t_{\phi})$ на доведення суспензіями алмазного мікропорошку АСМ 2/1 і АСМ 1/0 визначається, спираючись на експериментальні залежності зменшення діаметра куль від часу доведення (рис. 4) за лінійною/нелінійною апроксимаційною моделлю. Наприклад, для визначення мінімального припуску згаданих куль застосовуємо відповідну квадратичну апроксимаційну модель $\Delta_{mL} = 0,000003 \cdot t^2 - 0,0181 \cdot t + 1,7359$, розраховану на досягнення $\Delta_{mL} = 0$ мкм за $t = 97,5$ год. В модель підставляємо $t = (97,5 - 74,7) = 22,8$ год і отримуємо мінімальний припуск $\Delta_{mL} = 1,33$ мкм.

Зворотна задача вирішується також для визначення часу попереднього доведення $t_{\pi} = f(\Delta_{mL})$ суспензіями алмазного мікропорошку АСМ 28/20 і АСМ 14/10 для досягнення необхідного значення припуску під наступне фінішне доведення куль за відомого початкового значення Δ_{mL} . У розглянутому прикладі за початкового припуску $\Delta_{mL} = 100$ мкм підставляємо у квадратичну модель $t = 0,0005\Delta_{mL}^2 - 0,4457\Delta_{mL} + 39,57$ значення $\Delta_{mL} = 1,3$ мкм, і отримуємо $t = 39,0$ год.

Таблиця 1 – Коефіцієнти апроксимаційних моделей швидкості зменшення діаметра куль і змінювання непостійності їх діаметра, часу і мінімального припуску під фінішне доведення, часу попереднього доведення куль

Матеріал	Модель апроксимації	Показник процесу доведення				
		$v_D = f(t)$, мкм/ГОД	$v_{Vm} = f(t)^*$, мкм/ГОД	$t_\phi = f(V_{Dwm})^{**}$, ГОД	$\Delta_{mL} = f(t_\phi)$, мкм	$t_\Pi = f(\Delta_{mL})^{***}$, ГОД
Доведення суспензіями АСМ 28/20 і АСМ 14/10						
B ₄ C (ГП)	$y = ax + b$	$a = -0,137$ $b = 7,312$	–	–	–	–
	$y = ax^2 + bx + c$	–	–	–	–	$a = 0,0013$ $b = -0,5487$ $c = 41,87$
B ₄ C (АВТ)	$y = ax + b$	$a = -0,03$ $b = 3,986$	–	–	–	–
	$y = ax^2 + bx + c$	–	–	–	–	$a = 0,0005$ $b = -0,4457$ $c = 39,57$
Si ₃ N ₄ (АВТ)	$y = ax + b$	$a = -0,031$ $b = 3,547$	–	–	–	–
	$y = ax^2 + bx + c$	–	–	–	–	$a = 0,0024$ $b = -0,9903$ $c = 75,03$
Доведення суспензіями АСМ 2/1 і АСМ 1/0						
B ₄ C (ГП)	$y = ax + b$	$a \approx 0$ $b = 0,005$	$a = 22,6 \cdot 10^{-5}$ $b = -1,0 \cdot 10^{-3}$	–	–	–
	$y = ax^2 + bx + c$	–	–	$a = 54,0235$ $b = -172,8457$ $c = 118,8222$	$a = 0,0001$ $b = -0,0607$ $c = 4,8507$	–
B ₄ C (АВТ)	$y = ax + b$	$a \approx 0$ $b = 0,005$	$a = -3,7 \cdot 10^{-5}$ $b = 9,4 \cdot 10^{-3}$	–	–	–
	$y = ax^2 + bx + c$	–	–	$a = 51,5521$ $b = -194,9340$ $c = 144,3918$	$a = 0,000003$ $b = -0,0181$ $c = 1,7359$	–
Si ₃ N ₄ (АВТ)	$y = ax + b$	$a \approx 0$ $b = 0,005$	$a = 26,3 \cdot 10^{-5}$ $b = 5,0 \cdot 10^{-5}$	–	–	–
	$y = ax^2 + bx + c$	–	–	$a = -16,4342$ $b = -26,2726$ $c = 42,7068$	$a = 0,000004$ $b = -0,0046$ $c = 1,0866$	–

* За початкової непостійності діаметра $V_{Dwm} \leq 2$ мкм

** За початкової непостійності діаметра $V_{Dwm} = 1,0$ мкм

*** За початкового припуску $\Delta_{mL} = 100$ мкм

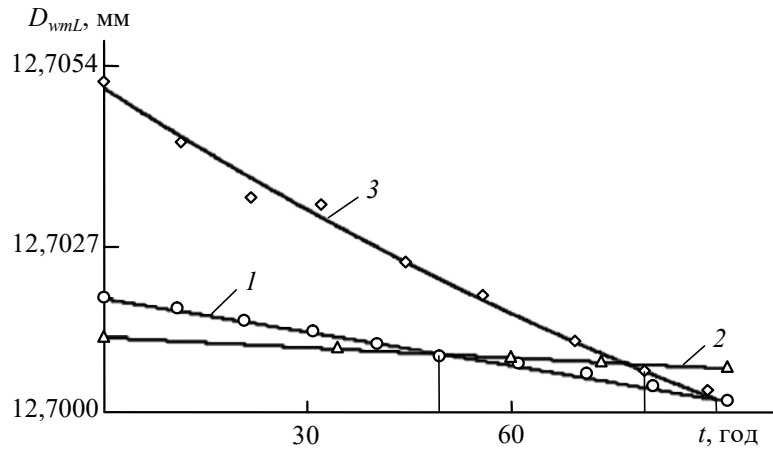


Рис. 4 – Залежність середнього діаметра куль у партії D_{wmL} від часу доведення суспензіями АСМ 2/1 і АСМ 1/0 партій керамічних куль з В₄С (ГП) (1), В₄С (АВТ) (2), Si₃N₄ (АВТ) (3)

Отже, отримані результати дозволяють визначити припуск на різних стадіях доведення куль з досліджених матеріалів залежно від заданого значення непостійності їх діаметра.

Таким чином, на етапі фінішної обробки керамічних куль основною технологічною операцією є алмазно-абразивне доведення на технологічних стендах на базі шарикодавочних верстатів у декілька переходів з послідовним зниженням зернистості алмазно-абразивної суспензії. При цьому, базування на доточковий контакт забезпечує виконання вимог, що висуваються до куль гібридних авіаційних підшипників. Практична цінність даної роботи полягає в тому, що на основі встановлених закономірностей змінювання показників алмазного доведення керамічних куль із карбіду бору та нітриду кремнію, відповідальних за продуктивність і точність обробки, отриманих лінійних та нелінійних апроксимаційних моделей цих показників, розроблено методику призначення припуску на різних стадіях доведення залежно від заданого значення непостійності діаметра куль.

*Струтинський В.Б., Миронюк Б.І., Каменев П.К.,
Приймак М.В. КІІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖНО- ДЕФОРМОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Наземні роботизовані комплекси мають колісне або гусеничне шасі, маніпулятор і сервісні пристрої. Наземні роботизовані комплекси призначені для виконання спеціальних операцій в польових

умовах. Основною проблемою розроблення наземних роботизованих комплексів є забезпечення високих тактико-технічних вимог при мінімальній масі та максимальній надійності робота. Для виконання вказаної задачі розроблені конструктивні рішення вузлів та деталей і забезпечено їх технологічний супровід на основі спеціальних технологій. Однією із невирішених раніше частин загальної проблеми є технології виготовлення пружино-деформованих деталей окремих вузлів наземних роботизованих комплексів.

Спеціальна технологія виготовлення торсіонів динамічної підвіски гусеничного шасі наземного роботизованого комплексу. Динамічна підвіска гусеничного шасі включає торсіони хрестового поперечного перетину (рис. 1).

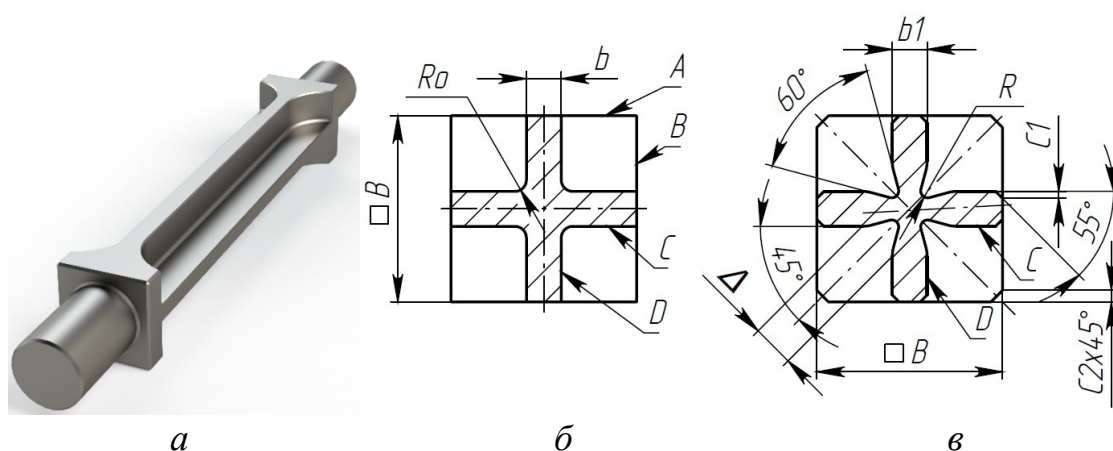


Рис. 1 – Загальний вигляд торсіону динамічної підвіски наземного роботизованого комплексу (а), перетин торсіону після фрезерувальної обробки (б) та перетин після фінішної обробки (в)

Торсіон має квадратний перетин на своїх кінцевих частинах, що спряжені із циліндричними хвостовиками. В середній частині торсіон має хрестоподібний перетин (рис. 1, б). На чорновій операції проводиться обробка поверхонь A і B та вибірка металу з формуванням поверхонь C і D та радіусу R_0 . Це здійснюється виконанням фрезерувальних операцій. Торсіон підлягає термічній обробки по спеціальній схемі загартування для сталі 65Т. Після термічної обробки та штучного старіння здійснюється чистова шліфувальна операція обробки розміру $\square B$. Знімаються фаски $C_2 \times 45^\circ$ по кутам квадратного перетину (рис. 1, в). Основні етапи спеціальної технології виготовлення торсіона полягають у електроерозійній обробці термообробленої заготовки. Фаски $C_1 \times 55^\circ$ виконуються на прецизійному дротовому електроерозійному верстаті. Кут 55° вибрано із умови можливості вільної обробки лише однієї фаски на всій дов-

жині хрестового перетину. Для оброблення області спряження між поверхнями C і D здійснюється обробка об'ємним електродом-інструментом у вигляді призми з робочим кутом 60° та радіусом закруглення R . Даний інструмент забезпечує вибірку у місці сполучення поверхонь C і D . При цьому забезпечується необхідний розмір який контролюється по діагоналі квадрату $\square B$ із врахуванням фаски $C_2 \times 45^\circ$. Останньою операцією є фінішна обробка поверхонь C і D яка здійснюється високооборотним кінцевим (пальцевим) шліфувальним кругом. Внаслідок реалізації запропонованої спеціальної технології оптимізована форма хрестового перетину торсіону за критерієм -мінімальна крутильна жорсткість при максимальній втомній міцності торсіону та максимальній радіальній жорсткості.

Спеціальна технологія виготовлення гнучких коліс хвильових редукторів. В редукторах наземних роботизованих комплексів доцільно використовувати колеса із двома зубчастими вінцями (рис. 2).

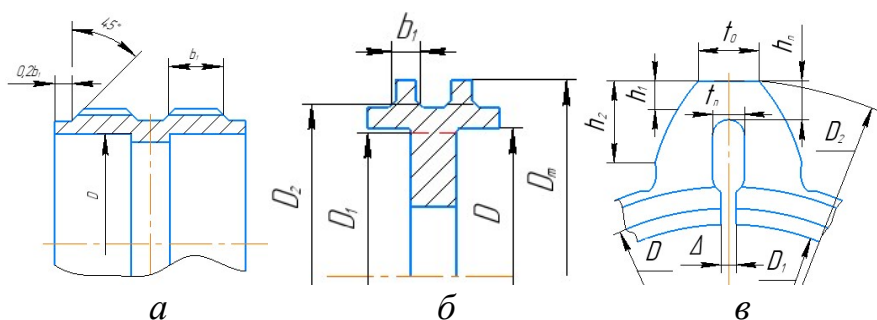


Рис. 2 – Конструктивна схема гнучкого зубчастого колеса хвильового редуктора (а) схеми заготовки (б) та профілю зуба одержаного в результаті спеціальної технологічної операції (в)

Традиційно гнучкі колеса виготовляються із сталей типу 30ХНСА із поверхневою обробкою (азотування, наклеп) та термічною обробкою типу поліпшення. Традиційні технології виготовлення не є раціональними і не забезпечують вимогам до деталей агрегатів наземних роботизованих комплексів. Запропоновані спеціальні технології базуються на застосуванні електроерозійних методів обробки. При цьому використовуються заготовки колеса яка має значну жорсткість (рис. 2, б). Заготовка піддається чорновій токарній обробці з подальшою термообробкою. Значні розміри заготовки дозволяють виконати повний цикл термічної обробки шляхом загартовування. Після нормалізації та штучного старіння проводиться чистове шліфування поверхонь які є необхідними для гнучкого колеса. Одержана заготовка має частини які потім видаляються шляхом електроерозійної обробки заготовки на прецизій-

ному верстаті з дротовим електродом. При цьому обробляється зовнішній контур зубчатого колеса (рис 2, в). Контур близьким до трапецієвидного із фасонними частинами у верхній половині зуба (на глибину більше h_2). Форми фасонних поверхонь вибирається на основі експериментальних характеристик хвильової передачі. Після оброблення зовнішнього контуру проводиться видалення внутрішньої частини заготовки по діаметру D_1 . Для поліпшення умов роботи хвильової передачі в тілі зуба виконується відкрита (зображено на рисунку) або закрита по контуру порожнина шириною $t_{\text{п}}$. Вона має можливість зменшити жорсткість пружного зубчастого колеса хвильової передачі. Для відкритої порожнини використовується паз шириною Δ . Розміри порожнини та місце її розташування по висоті зуба $h_{\text{п}}$ вибирається із умови забезпечення необхідної деформативності колеса при збереженні його міцності в умовах багато циклових динамічних навантажень.

Спеціальна технологія виготовлення трубчастих валів трансмісії і приводів шасі наземного роботизованого комплексу. В комплектних приводах гусеничного рушія шасі наземного роботизованого комплексу використовуються трубчасті вали. Використання трубчастого валу у вигляді тонкостінної кільцевої оболонки є недоцільним по причині її значної маси та схильності до втрати стійкості при дії крутних моментів. Тому запропоновані конструкції трубчастих валів із поздовжніми гофрами (рис. 3).

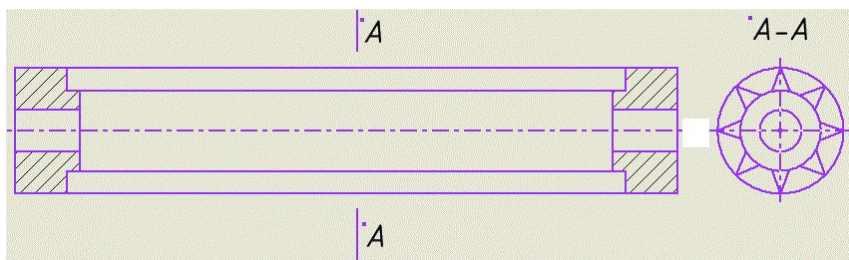


Рис. 3 – Конструктивна схема трубчастого валу із поздовжніми гофрами та перетин валу

Трубчастий вал має фланці між якими розміщена гофрована труба. Гофри мають форму контуру близьку до синусоїдальної. Запропоновано різні варіанти виконання труби. Основним варіантом є виготовлення гофрованої труби із композитних матеріалів. При цьому труба формується на спеціальній оправці, а після спікання композиту здійснюється торцювання кінців труби та її клейове з'єднання із фланцям. Можливим є виготовлення труби із тонкого гофрованого листа металу який з'єднується поздовжнім зварним

швом та приєднується до фланців локальним зварюванням. Трубчастий вал виконаний за вказаною спеціальною технологією має високу крутильну жорсткість при мінімальній масі та матеріалоемності. Є можливість підвищення міцності трубчастого валу шляхом встановлення бандажу на його зовнішній поверхні.

Розроблені спеціальні технології виготовлення пружно-деформованих деталей дають змогу суттєво підвищити якісні показники наземного роботизованого комплексу при мінімальній масі та матеріалоемності деталей.

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

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ВІДНОВЛЕНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Ресурс роботи і надійність потужних транспортних дизелів найтісніше пов'язані з працездатністю колінчастих валів – найвідповідальніших і найдорожчих деталей двигунів. Основними причинами відмов колінчастих валів є спрацювання і задири шийок. задири і підвищене спрацювання шийок спостерігається на всіх типах дизелів незалежно від твердості шийок. Задир шийок і розплавлення антифрикційного шару вкладишів, як правило, призводять до деформації колінчастих валів, рідше – до поломки вала.

Відновлення повної працездатності зношених деталей має вестися з наданням їм початкових розмірів, правильної геометричної форми і поверхневих властивостей. Відновлення геометричних розмірів для деталей класу валів здійснюється різними способами наплавлення, металізації, електричних покриттів тощо. Поряд із цим існує велика кількість технологій підвищення експлуатаційної надійності відновлюваної робочої поверхні деталей, зокрема колінчастих валів, найбільш ефективними з яких є загартовування струмами високої частоти (СВЧ), лазерне зміцнення, нанесення на поверхню валів хромових, детонаційних, газотермічних покриттів, іонно-плазмова обробка, електроіскрове легування, обробка струменем висококонцентрованої плазми, а також механічне зміцнення обкочуванням роликками, наклепом дробом, карбуванням тощо.

Проведений аналіз відомих технологій відновлення показує, що найефективнішим способом, для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик деталі, є застосування комбінованих методів і технологій, що включають відновлення геометричних розмірів деталі у поєднанні зі способами підвищення зносостійкості та задиростійкості її поверхневого шару. Використання комбінованих методів дає змогу отримати високу зносостійкість поверхні шийок валів, забезпечити достатній рівень опору втоми, знизити коефіцієнт тертя і збільшити навантаження задироутворення.

Таким способом може бути комплексна технологія підвищення експлуатаційних властивостей деталі, яка використовується як під час виготовлення колінчастих валів, так і під час їх відновлення. Вона містить термічну обробку і нанесення антифрикційного шару в одному технологічному циклі. У частині отримання заданих експлуатаційних характеристик відновлених валів важливу роль відіграють мікроструктура покриття та її властивості на поверхні та в зоні з'єднання з основним матеріалом.

Відновлення геометричних розмірів деталі досягають шляхом застосування методу наплавлення, а підвищення зносостійкості і задиростійкості, отриманого наплавленого шару, можна досягти шляхом застосування традиційної термічної обробки (ТО) з нанесенням антифрикційного шару, шляхом занурення деталі в розчин солей силікатів.

Для виявлення впливу комплексної обробки на працездатність пари шийка-вкладиш, було проведено порівняльні лабораторні дослідження на зразках матеріалів, з яких виготовлені корінні та шатунні шийки колінчастого вала, а також їх вкладиші.

Результати проведених досліджень із застосування комплексної технології обробки дали змогу зробити висновок, що значення зносу і значення коефіцієнта тертя в модифікованому поверхневому шарі зменшилося, а навантаження задироутворення, якщо порівняти з класичною обробкою, збільшується.

Отримані нові експлуатаційні властивості поверхні дозволяють підвищити працездатність пари шийка-вкладиш і колінчастого вала у цілому. Усе це дає підставу використовувати комплексну технологію відновлення в ремонтному виробництві колінчастих валів дизелів транспортного призначення.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Ефективним способом поліпшення якості та експлуатаційних властивостей поверхонь деталей циліндро-поршневої групи є використання сталі 383Х2МЮА і легованих чавунів з подальшим їх зміцненням різними технологічними методами. Наявні технології недостатньо і не завжди забезпечують стабільну роботу пар тертя гільза циліндра – поршневе кільце. Тому, вдосконалення технології виготовлення та ремонту деталей циліндро-поршневої групи, для забезпечення високої якості їх робочих поверхонь і підвищення експлуатаційних властивостей, є актуальним науковим завданням, яке має важливе практичне значення.

Статистичний аналіз показує, що більшість із пар тертя виходить з ладу у зв'язку з їх зносом. Серед таких пар тертя домінуючу роль займають деталі циліндро-поршневої групи дизельних двигунів. Підвищення їх працездатності є дуже важливим завданням. Відмови в роботі двигуна, пов'язані зі зношуванням його деталей, потребують значних витрат коштів на заміну запасних частин, а також збільшують витрати на обслуговування та експлуатацію. Дослідження процесу зношування циліндрів двигунів внутрішнього згоряння показало, що руйнування робочої поверхні стінок циліндрів відбувається внаслідок збільшення вмісту в них оксикарбонітридів, що утворюються під час фазових перетворень металу під дією високої температури, пластичних деформацій і дифузії. Для усунення таких ефектів необхідно, щоб у результаті термомеханохімічних реакцій, що відбуваються на стінках циліндрів, поверхні деталі, йшла регенерація її поверхневого шару, без утворення структур, які за своїми властивостями відрізняються від вихідних. Мається на увазі, що вторинні структури, що сформувалися в процесі тертя, повинні відповідати вихідним за хімічним складом. Для досягнення цієї мети було проведено випробування деталей, що працюють в умовах тертя і зношування. Деталі піддавались обробці у відомих насичувальних середовищах і новому із застосуванням со-

лей амонію, з подальшим визначенням їх експлуатаційних властивостей. Деталі випробовували на задиростійкість, теплостійкість, зносостійкість і визначали час припрацювання.

Порівняння отриманих показників показує, що поверхневий шар, утворений у насичувальному середовищі перегрітої пари водного розчину солей амонію і має шарувату структуру, дає змогу підвищити теплостійкість виробів і їх термін служби в 1,6 рази, а також скоротити час припрацювання. Дані дослідження підтверджуються результатами проведених вимірів деталі. Проведені випробування виявили, що, незважаючи на термомеханохімічні реакції, що відбуваються на поверхні деталі, отриманий шар не зруйнувався.

Відомо, що багато гільз циліндрів виготовляють не тільки сталевими, а й чавунними. Тому, з метою поліпшення антифрикційних властивостей поверхні чавунних гільз, було проведено випробування, під час яких для чавунних гільз пропонується, як насичувальне середовище використовувати водний 20% розчин тіосульфату. Поверхневий шар, отриманий у процесі насичення, у своєму складі містить такі хімічні елементи: кисень, залізо, сірка і вуглець. Проведені дослідження, структури отриманого шару, виявили, що утворений шар складається з різних фаз. Ці фази в поверхневому шарі чинять істотний вплив на зносостійкість і антифрикційні властивості залізовуглецевих сплавів, а саме поліпшується припрацьовуваність, знижується значення коефіцієнта тертя.

Проведені дослідження експлуатаційних властивостей деталей, оброблених у нових насичувальних середовищах, показали, що застосування солей амонію в обробці гільз зі сталі 38Х2МЮА і використання водного 20% розчину тіосульфату для чавунних гільз дозволяє підвищити їх антифрикційні властивості, а також збільшити термін служби деталей. Деталі, оброблені в новому насичувальному середовищі, в 1,5 рази швидше припрацьовуються, ніж деталі з шарами, що містять оксиди заліза і пройшли хіміко-термічну обробку у відомих насичувальних середовищах. Антифрикційні властивості, отриманого шару, також поліпшуються в 1,7–2,0 рази, на що вказує зниження значення коефіцієнта тертя.

КЛАСИФІКАЦІЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Композитні матеріали на сьогодні широко використовуються в машино-, автомобіле-, авіабудуванні, електромеханіці, стоматології, будівництві та інших галузях промисловості. Це обумовлено їх головними перевагами – підвищеною твердістю, міцністю, зносостійкістю, зниженою питомою вагою, більшим терміном експлуатації, ніж у традиційних конструкційних матеріалів.

Композитний матеріал або композит — гетерофазний матеріал, окремі фази якого виконують специфічні функції, забезпечуючи йому властивості, яких не має жодний з компонентів окремо. Композитні матеріали зазвичай отримують поєднанням двох або більше компонентів, які нерозчинні або малорозчинні один в одному і мають властивості, що сильно відрізняються. Один компонент пластичний (зв'язувальна речовина, або матриця), а другий має високі характеристики міцності (наповнювач, або зміцнювач).

Композитні матеріали можна класифікувати на підставі матричного матеріалу, використовуваного для їх виготовлення:

- полімерні матричні композити (ПМК);
- металеві матричні композити (ММК);
- керамічні матричні композити (КМК).

ПМК – це пластики, армовані волокнами (FRP – Fibre Reinforced Plastics). Літери G, C і A ставляться перед аббревіатурою FRP, щоб уточнити природу армувальних волокон: скляні (glass – G), вуглецеві (carbon – C) або арамідні (aramid – A) волокна. Волокна можуть бути довгими (безперервними) або короткими (переривчастими). Довгі волокна можуть бути односпрямованими (всі волокна паралельні одне одному) або вплетеними в тканину чи полотно. Односпрямовані волокна забезпечують найвищі механічні властивості в композиті.

Найбільш використовуваними композитними матеріалами є склопластики (GFRP) з огляду на їх високі специфічні механічні властивості, корозійну стійкість та відносно низьку вартість виробництва. Пластик, армований вуглецевим волокном, і пластмаса, ар-

мована арамідним волокном (CFRP і AFRP відповідно), забезпечують вищу питому міцність (800–1200 МПа), модуль пружності (75–220 ГПа) і меншу вагу виробу (в 1,7–2,2 раза). Однак вони дорогі та використовуються лише для тих застосувань, де продуктивність, а не вартість, є головним фактором.

Максимальні температури для експлуатації композитів FRP відносно низькі (200–300 °С). Таку поведінку композитів пов'язують з наявністю у їх складі полімерної матриці, яка при зростанні температури починає розм'якшуватися, що призводить до порушення сумісної роботи окремих фібр композиту, нерівномірного розподілу зусиль між ними тощо.

ММК використовуються для виробів, що вимагають вищих робочих температур (понад 1000 °С), ніж це можливо з матеріалами ПМК. Більшість цих композитів розроблені для аерокосмічної та автомобільної промисловості, наприклад, в деталях автомобільних двигунів (поршнів, гільз циліндрів, гальмівних барабанів), вони містять безперервне волокно, переривчасте волокно або частинки, армовані ММК. Безперервні волокна забезпечують найвищі властивості пружності (200–230 ГПа) та міцності (1410–1460 МПа), які можна отримати в матеріалах ММК.

Алюмінієві, магнієві та титанові сплави є найпоширенішими матеріалами матриці, які використовуються в матеріалах ММК. Іншими армувальними матеріалами для ММК є карбід кремнію, оксид алюмінію та графіт.

Переривчасте волокно і частинки, армовані ММК, є недорогими та забезпечують вищу міцність, жорсткість, зносостійкість і кращу стабільність розмірів виробу, порівняно з відповідними неармованими сплавами. Проте вони зумовлюють труднощі при обробці цих матеріалів.

КМК – особливий тип композитного матеріалу, в якому як армування (вогнетривкі волокна), так і матричний матеріал, є керамікою. У деяких випадках для обох частин конструкції використовується той самий вид кераміки, а також можуть бути включені додаткові вторинні волокна. Через це КМК вважаються підгрупою, як композитних матеріалів, так і кераміки.

Типові матеріали з армувального волокна включають: карбон (C), карбід кремнію (SiC), оксид алюмінію (Al₂O₃), муліт (Al₂O₃-SiO₂).

КМК зазвичай ідентифікуються за волокном/матрицею, наприклад, C/SiC є вуглецевим волокном у матриці карбїду кремнію.

Композитні матеріали з керамічною матрицею одержують спіканням при 1500–2500 °С оксидів, силіцидів або сполук металу з вуглецем, азотом, бором (карбідів, нітридів, боридів). Серед оксидів найчастіше використовують корунд (Al_2O_3), з карбідів – карборунд (SiC), з нітридів – Si_3N_4 . Усі ці сполуки мають високу температуру плавлення (від 1800 до 2700 °С) і високу твердість та міцність (близько 500 МПа при 1000–1200 °С).

Вони забезпечують значну густину (2–4 г/см³) і стійкість виробу, як механічну, термічну, розмірну, так і хімічну. Відносне подовження композитів з керамічною матрицею може становити до 1%, вони не схильні до руйнування, як традиційні керамічні матеріали. Однак міцність на стиск КМК менша, ніж у традиційної кераміки, що пов'язано з пористістю (до 35%) матричного матеріалу. Позитивним моментом є те, що вони мають високу корозійну стійкість навіть при підвищених температурах і добре витримують динамічні навантаження.

Різний хімічний склад композитних матеріалів різних типів та суттєві відмінності у їх властивостях вимагають різних підходів до забезпечення ефективності технологічних процесів механічної обробки конкретних композитних матеріалів. Варто дослідити особливості процесу різання кожного типу композитних матеріалів, і на основі отриманих результатів обрати оптимальні різальні інструменти (тип, інструментальний матеріал, геометричні параметри), мастильно-охолоджувальні технологічні середовища (або сухе оброблення), стратегії обробки, режими різання тощо. Це буде предметом подальших досліджень.

Шамрай В.Б. Національний авіаційний університет,
Калініченко В.І., Лопата Л.А. Інститут проблем
міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ КІЛЬЦЕВОЇ КАНАВКИ АЛЮМІНІЄВОГО ПОРШНЯ ДВЗ ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Система “гільза-компресійне кільце-поршень” відноситься до категорії деталей, які визначають ресурс ДВЗ та стабільність його характеристик потужності, витрат пального та мастильних матеріа-

лів. В циліндро-поршневій групі найслабкішою ланкою являється спряження “кільце-поршень”. Підвищений знос кільцевої канавки пояснюється тою обставиною, що твердість чавунного кільця при температурі експлуатації ~ 300 °С перевищує твердість алюмінієвого поршня в 4 рази.

Практика двигунобудування використовує різні методи зміцнення кільцевої канавки поршня. Найпоширеніші методи – армування відливки поршня вставкою з надміцного чавуна, або електродуговий переплав зони канавки високолегованими NiCr-сплавами на глибину 10 мм. Ці методи значно удорожчують виробництво та створюють додаткові труднощі при утилізації відходів. Незначні розміри канавки (ширина 2–3 мм) та складність форми не дозволяють нанести зміцнююче покриття відомими методами.

Робота присвячена створенню технології та дослідного обладнання поверхневого зміцнення полиць верхніх кільцевих канавок поршнів, виготовлених з алюмінієвого сплаву АЛ-25. Враховуючи особливість форми та розміри канавки, вибрана технологія електроіскрового легування (ЕІЛ).

Для забезпечення адгезійної та когезійної стійкості застосували покриття дискретної структури. Враховуючи нерівномірність зносу полиць канавки, розроблено технологію нанесення покриття із змінною суцільністю відповідно до епюри зносу. Для цього використано дисковий електрод, товщина якого менше висоти канавки. Вісь обертання електрода паралельна осі поршня. Суцільність покриття збільшується в радіальному напрямку від задньої стінки канавки до її краю за рахунок збільшення довжини хорди дискового електрода, який контактує з полицею канавки. Суцільність покриття регулюється діаметром дискового електрода та числом його обертів. Глибина та розміри дискретних ділянок покриття регулюються силою струму ЕІЛ. Матеріал електрода – Cu-сплав.

Поршні із зміцненими канавками випробувані на абразивну зносостійкість по стандартній галузевій методиці на двигуні Д-240. Застосовані серійні гільзи та компресійні кільця без додаткової обробки. Форсований режим на базі 50 годин показав зниження сумарного зносу по висоті канавки на 30% та зазор в стиках кільця на 30–40%. Стабілізація форми канавки забезпечила зниження зносу гільзи на 50–60%. Встановлено відсутність розтріскування та відшарування покриття.

Зниження зносу циліндро-поршневої групи тільки за рахунок зміцнення полиць канавки поршня на базі 50 год. знизило угар мастила на 30–40%, витрати палива на 10–20%, зменшило падіння тиску мастила на 20–30% та зменшило падіння потужності двигуна на 5–10%. Енерговитрати нової технології в порівнянні з електродуговим переплавом поршня зменшені в 80(!) разів. Технологія “суха” і “холодна”. Обладнання змонтовано на базі серійного токарного верстату.

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

ОЦІНКА МІЦНОСТІ УТРИМАННЯ ЗЕРЕН В АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОМУ ПОКРИТТІ ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ МЕТОДОМ ВІРТУАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Роботу присвячено одному з аспектів стійкості алмазно-гальванічного покриття (АГП) правлячого інструменту, а саме міцності утримання робочих зерен у металевій зв'язці. Розвинуто уявлення про комплексну природу утримання – силами механічного обтиснення, силами адгезії та тертя. Розглянуто механізм виривання зерен із матриці та запропоновано відповідну математичну модель, засновану на принципі віртуальних переміщень.

Розглянемо АГП правлячого інструменту, виготовленого методом гальванопластики або гальваностегії, та фізичні механізми алмазоутримання в матриці, сформованій електро-осадженням нікелю. В [1] показано, що в загальному випадку закріплення зерен електролітичними осадженнями можна поділити на механічні та адгезійні. Механічне – обумовлено технологією і електроосадженим металом і відрізняється від закріплення за технологією порошкової металургії внутрішніми напруженнями, що виникають (Cr 370–600, Ni 280–300, Cu 15–50 МПа). Zn і Cd отримують напруження стиснення, Cr та Ni, що важливо для нашого випадку – розтягування. Міцність утримання зерен за рахунок механічного закріплення визначається: фізико-механічними властивостями зв'язки; формою зерна та глибиною закладення.

Адгезійне закріплення забезпечується наявністю сил молекулярної взаємодії та хімічних зв'язків. Хімічних зв'язків між алмазом та Ni не виникає. Адгезійна взаємодія, що визначена по випаданню

зерна під власною вагою при певній товщині покриття, оцінюється як $\sigma = 4,92 \cdot 10^{-2}$ Н/см². Силу, обумовлену тертям при стисканні алмазу електролітично осадженим металом, а також адгезією при зсуві, оцінено в [1] як $\tau = 5$ Н/мм² для матового Ni, осадженого при щільності струму $j_k = 1$ А/дм² і 10 Н/мм² для блискучого, осадженого при $j_k = 2$ А/дм².

В [1] також встановлено тангенціальну силу, що вириває зерно з електролітично осадженої зв'язки – виривну силу P_v . Вона залежала від глибини h зарощеності зерна, матеріалу зв'язки, режиму осадження. Показано, що залежність $P_v = f(h)$ прямо пропорційна у діапазоні від 0 до половини діаметра зерна $d_{с.п.}$. Далі спостерігається нелінійне зростання P_v . Величину P_v/h на прямолінійній ділянці (для алмазів АС32 400/315) оцінено: $8,8 \cdot 10^{-2}$ Н/мкм для блискучого Ni, $8,3 \cdot 10^{-2}$ – для хрому, $7,6 \cdot 10^{-2}$ – для матового Ni із холодного (20 °С) електроліту, $7,0 \cdot 10^{-2}$ – для матового Ni із гарячого (50 °С) електроліту, $6,2 \cdot 10^{-2}$ – для заліза, $4,1 \cdot 10^{-2}$ – для міді. Режим осадження також впливає на P_v/h . Найкращий результат для матового Ni досягнутий при $j_k = 1$ А/дм².

В [2] стверджується, що алмазоутримання осадами різних складів залежить від їх внутрішнього напруження та мікротвердості. Нікель, що отримується з сірчаноокислого електроліту, має практично ту ж мікротвердість, що і сульфаміновий (1,8–2,0 ГПа проти 1,9 ГПа), проте внутрішнє напруження значно більше, що забезпечує кращий обтиск зерна та його утримання [3]. У той же час, однією з вимог, що висуваються до електролітично осаджених зв'язок, є мінімальний рівень внутрішнього напруження, щоб уникнути деформаційних явищ, що спотворюють профіль алмазного правлячого інструменту, що виготовляється. Поліпшення алмазоутримання нікель-кобальтовими сплавами порівняно з нікелем із сульфамінового електроліту в роботі [2] пояснюється його більшою твердістю. При цьому стверджується, що рівень внутрішнього напруження незначний. Про адгезійну складову закріплення зерна в [2] не йдеться. Більш того, в [1] наводяться факти, згідно з якими зі збільшенням щільності струму осадження, наприклад, блискучого Ni, твердість і напруженість осадів збільшується, а в розріз із твердженням [2], алмазоутримання погіршується. В [2] приведено дані про ступінь зношення алмазних зерен, що вириваються, але, на жаль, не проведено аналіз їх глибини закладення, їх виліт над зв'язкою. В [1, 2] залишилися без відповіді питання – як впливає на алмазоутримання зернистість та марка порошку за інших рівних

умов. Для попередніх оцінок рівня впливу деяких факторів проведемо математичне моделювання процесу вириву зерна із зв'язки.

Для моделювання явища виривання алмазного зерна з металеві зв'язки, перш за все, слід згадати, що ДСТУ 3295-95 наказує застосування дляправлячого інструменту алмазних синтетичних шліфпорошків вузького діапазону зернистостей та коефіцієнтом форми зерна не більше 1,1. В силу останнього форма таких алмазних зерен до певної міри наближається до кулястої. Тому в [4], як параметр, вводяться три наведені діаметри зерна, які прив'язуються до розміру верхнього сита d . Спрощуючи постановку завдання, обмежимося єдиним параметром – радіусом r кулі, що моделює алмазне зерно.

Моделюючи вихідні умови більш детально, більш наближеними до дійсності, можна задати складнішу форму зерна, його положення в металевій матриці, задати всі фізико-механічні характеристики пари кристал алмазу - зв'язка, і вирішити задачу обчислення напруження у зв'язці в околицях зерна чисельно, наприклад, методом кінцевих елементів. Порівнюючи максимальні значення напруження з критичними, відповімо на питання про утримання зерна у зв'язці. При цьому втрачається наочність та безпосередній розгляд та аналіз факторів, що зумовлюють процес.

Аналітичні методи більш тонкі та складніші одночасно. Але при спрощеній постановці завдання, але такій, що не втрачає сутності процесу, можна побудувати нескладну математичну модель в аналітичній формі. Пропонується наступна аналітична модель процесу виривання зерна із металеві матриці. Нехай алмазне зерно у вигляді кулі радіусом r закріплене у металеві, для визначеності – нікелеві, зв'язці з глибиною закладання h (рис. 1).

Як зазначено вище, між зерном та зв'язкою діє низка сил. По-перше, зерно механічно обтиснуте за рахунок залишкових розтягуючих при осадженні N_i напружень $\sigma_{ост}$. Вони, але не тільки вони, зумовлюють нормальний контактний тиск p . По-друге,

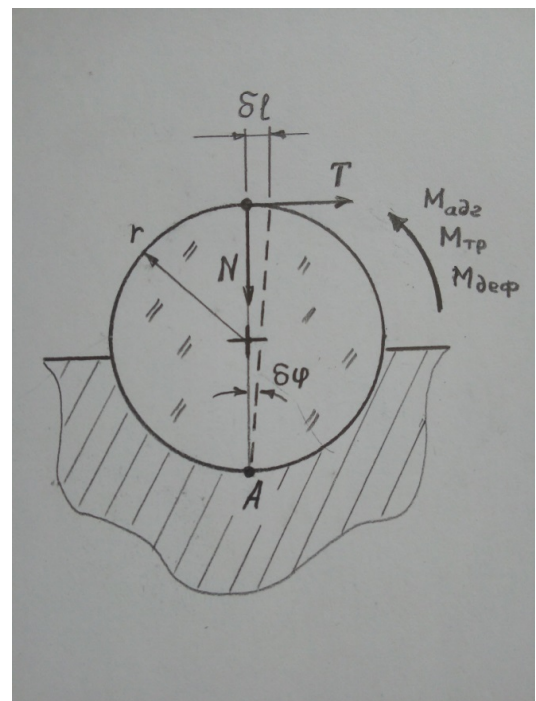


Рис. 1 – Схема навантаження зерна у зв'язці і його віртуальні переміщення

на границі діють сили адгезії, як у нормальному напрямку, так і на зсув, причому останні інтенсивніші і оцінюються дотичними напруженнями $\tau_{\text{адг}}$. По-третє, на границі діють дотичні сили тертя $\tau_{\text{тр}}$.

Зерно навантажене одиничною силою різання-дряпання (це зовнішнє навантаження), вона прикладена до вершини і спрямована у бік зв'язки під певним кутом. Розкладається на нормальну N та тангенціальну T складові. Їхнє відношення – коефіцієнт дряпання $\mu = T/N$. Нормальна складова зумовлює реактивний нормальний контактний тиск p , розподілений по всьому контакту. Тангенційна складова також зумовлює додатковий реактивний нормальний контактний тиск, але розподілений у напівконтакті, куди направлена тангенціальна складова зовнішнього навантаження. Таким чином, контактний тиск p обумовлено трьома джерелами – залишковими напруженням $\sigma_{\text{ост}}$, нормальною N та тангенціальною T складовими зовнішнього навантаження.

При візуальному спостереженні на поверхні нікелевої зв'язки кратерів вирваних зерен майже завжди фіксується невелике зминання того краю матриці, через яке викочується зерно. Саме викочується, і це підтвердили модельні масштабні експерименти з виривання кулястого твердого тіла з пластичної матриці. Цей механізм залишення зерном напівпростору матриці покладено – як гіпотеза – в основу математичної моделі, що розробляється. Для формалізації та аналізу описаного процесу застосуємо метод віртуальних переміщень. Нехай під дією T вершина зерна змістилася на нескінченно малий відрізок δl , а зерно повернулося навколо точки A на нескінченно малий кут $\delta\varphi = \delta l / 2r$. При цьому, як реакція, на зерно, що повертається, діють: – момент сил адгезії на зсув $M_{\text{адг}}$; – момент сил тертя $M_{\text{тр}}$; – додатковий тиск у деформованому напівконтакті праворуч від A , що створює момент $M_{\text{деф}}$. Відповідно до принципу віртуальних переміщень сума елементарних робіт дорівнює нулю:

$$\delta A = T \cdot \delta l - (M_{\text{адг}} + M_{\text{тр}}) \cdot \delta\varphi - M_{\text{деф}} \cdot \delta\varphi = 0, \quad (1)$$

звідки

$$T = \frac{M_{\text{адг}} + M_{\text{тр}}}{2r} + \frac{M_{\text{деф}}}{2r}. \quad (2)$$

Обчислимо зазначені моменти. Опускаючи викладки та перетворення у сферичній системі координат, маємо. Момент, зумовлений деформацією напівконтакту,

$$M_{\text{деф}} = \iint_{\text{напівконтакт}} dM_{x'} = p'_0 r^3 \int_0^\pi d\varphi \sin^2 \varphi \int_{\pi-\theta_h}^\pi d\theta \sin^3 \theta .$$

Момент, створюваний силами адгезії,

$$M_{\text{адг}} = \iint_{\text{контакт}} dM_x = \int_0^\pi d\varphi \int_{\pi-\theta_h}^\pi d\theta \tau_{\text{адг}} r^3 \sin 2\theta \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta \sin^2 \varphi} .$$

Момент, створюваний силами тертя,

$$M_{\text{тр}} = p_0 r^3 \int_0^\pi d\varphi \int_{\pi-\theta_h}^\pi d\theta \cos \theta \sin 2\theta \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta \sin^2 \varphi}$$

$$f \sigma_{\text{ост}} r^3 (-1) \int_0^\pi d\varphi \int_{\pi-\theta_h}^\pi d\theta \sin 2\theta \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta \sin^2 \varphi}$$

$$f p'_0 r^3 \left(-\frac{1}{2} \right) \int_0^\pi d\varphi \int_{\pi-\theta_h}^\pi d\theta \sin \theta \sin 2\theta \sin \varphi \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta \sin^2 \varphi}$$

Обчислюючи інтеграли, апроксимуючи їх поліномами і підставляючи в (2) після спрощень отримуємо

$$\frac{T}{r^2} = \frac{(\tau_{\text{адг}} + f\sigma_{\text{ост}}) \pi \frac{h}{r} \left(1 - 0,215 \frac{h}{r} \right) + f(\tau_{\text{т}} - \sigma_{\text{ост}}) 0,66 \frac{h}{r} + (\tau_{\text{т}} - \sigma_{\text{ост}}) 0,555 \left(\frac{h}{r} \right)^{1,5} \left(1 - \frac{h}{12r} + \frac{h^2}{96r^2} \right)}{1 - 0,49 \frac{f}{\mu}} . \quad (3)$$

Зробимо обчислення за останньою формулою. Значення T як функція аргументу h/r лінійна у діапазоні значень h/r від 0 до 1, далі нелінійна. Це на якісному рівні співпадає з експериментальними даними з сили викиду зерна від глибини закладення в роботі [1]. Для порівняння на кількісному рівні обчислимо коефіцієнт підйому графіка $T(h)$. Він дорівнює

$$k = \frac{T}{r^2} \Big|_{\frac{h}{r}=1} \cdot \frac{r^2}{r} . \quad (4)$$

Для констант, значення котрих запозичено в [1], а саме $\tau_{\text{адг}} = 10 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{\text{ост}} = 300 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{\text{т}} = 558 \text{ Н/мм}^2$, $f = 0,15$, $\mu = 0,5$, одержуємо $k = 68,8 \text{ Н/мм}$. При цьому передбачалося, що сила прикладена до вершини зерна, а якщо до центру – $k = 117,5 \text{ Н/мм}$. Таким чином $k = 69\text{--}117 \text{ Н/мм}$. Експериментальне значення із роботи [1] дорівнює 88 Н/мм – якраз у середині розрахункового діапазону.

Виділимо в (3) складники різної природи, що утримують зерна у зв'язці. Для цього визначимо по (3) сили, що утримують зерна у зв'язці, послідовно «відключати» параметри, що зумовлюють різні складові. Маємо (при $h/r = 1$): – з урахуванням усіх факторів $T/r^2 =$

344 Н/мм²; – виключаючи тертя ($f = 0$) $T/r^2 = 157$ Н/мм²; – виключаючи адгезію ($\tau_{\text{адг}} = 0$) $T/r^2 = 315$ Н/мм²; – виключаючи обтискання ($\sigma_{\text{ост}} = 0$) $T/r^2 = 430$ Н/мм².

Маємо складові: тертя 54%, адгезія 8,4%, деформаційна 38%.

Залишкове напруження знижує силу утримання на 20%. Цей результат суперечить твердженням деяких авторів, але у роботі [1] отримує підтвердження. У зв'язку з такою тенденцією стає очевидною перевага CVD-алмазів витягнутої форми у плані утримання у зв'язці. По-перше, підвищення твердості блискучого нікелю і залишкових напружень тільки підсилює утримання вставок з CVD-алмазу, чого однозначно не можна сказати про кристали алмазного порошку з коефіцієнтом форми 1,1, які рекомендовані ДСТУ 3295-95 для застосування у правлячому інструменті. По-друге, тільки сила висмикування CVD-алмазу із зв'язки в вертикальному напрямку, чого ніколи не відбудеться на практиці, і розрахована лише з урахуванням обтиску вставки, наприклад $0,8 \times 0,8 \times 1,5$, дорівнює 216 Н. А сила викину зерна 400/315, коли вектор сили навіть притискує його до лунки, – лише 13 Н. По-третє, формула (3) відбиває те що, що сила утримання пропорційна квадрату характерного розміру зерна. Тут CVD-алмаз поза конкуренцією.

Література

1. Прудников, Е.Л. Абразивосодержащие и электрохимические покрытия / Е.Л. Прудников, Т.М. Дуда, А.С. Зарицкий. – К. : Наук. думка, 1985. – 216 с.
2. Коломиец, В.В. Алмазный инструмент фасонного профиля / В.В. Коломиец, Б.И. Полупан, О.В. Химач. – К. : Наук. думка, 1992. – 176 с.
3. Сагарда, А.А. Силы резания и температуры в зоне контакта алмазного зерна с металлом / А.А. Сагарда, О.В. Химач // Вестник машиностроения. – 1973. – № 6. – С. 70–72.
4. Шейко, М.Н. Основные характеристики абразивно-алмазного слоя правящих инструментов / М.Н. Шейко, В.Н. Скок, А.Г. Лубнин // Сверхтв. мат. – 2007. – № 4. – С. 75–78.

*Шейко М.М., Пасічний О.О., Рябченко С.В.,
Максименко А.П., Бологов П.І.* Інститут
надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

РОЗМІРНА СТІЙКІСТЬ АЛМАЗНИХ ПРАВЛЯЧИХ РОЛИКІВ З ПРОТЕКЦІЄЮ ВСТАВОК ІЗ CVD-АЛМАЗІВ

Роботу присвячено розмірній стійкості правлячих роликів, виготовлених методом гальванопластики з використанням CVD-алмазів для процесів абразивного формоутворення поверхонь складнофасонних виробів. В процесі правки абразивних кругів традиційним алмазним інструментом диспергований абразивний матеріал активно підмиває зв'язку в місцях закладання синтетичних монокристалічних алмазів і останні випадають не використавши свій ресурс. Витягнута форма вставок із CVD-алмазів і більша глибина закладання у зв'язці має стабілізувати їх удержання на робочій поверхні інструменту, особливо на ділянках робочого профілю великої кривизни, а отже збільшити ресурс правлячого інструменту. Використання вставок із CVD-алмазів в правлячому інструменті, робочий шар якого сформовано методом гальванопластики, мінімізує подальшу доводку вставок із CVD-алмазів до відповідного робочого профілю інструмента.

В інструменті застосовано CVD-алмази марки CVDRESS розміром $1,5 \times 0,8 \times 0,8$ мм. Таку марку спеціально розроблено для правки шліфувальних кругів; теплопровідність знаходиться в межах $\lambda = 1000\text{--}1200$ Вт/(м·К) [1, 2], при роботі по абразивному матеріалу на вставках із CVD-алмазів площадки затуплення не з'являються, а шліфувальний круг, виправлений таким роликом, має високу ріжучу здатність, «припали» на оброблюваній поверхні не виникають.

Випробування на стійкість роликів з CVD-алмазами проводилося на спеціальному стенді на базі круглошліфувального верстата ЗБ151 з автономним приводом правлячого ролика і шляхом правки абразивних кругів за схемою шліфування з осьюовою подачею. Для забезпечення умов роботи алмазного шару ролика таких, як при врізній правці, осьова подача S була, відповідно до [3], призначена рівній довжині L ділянки з протекцією вставками із CVD-алмазів. Швидкість абразивного круга (29 м/с) і ролика (14,6 м/с) відповідали режимам правки, застосовуваним в виробничих умовах. Заправ-

лялися абразивні круги $\text{Ø}600 \times 63 \times 305$ марки від 25A F60 J 7V (25M3) до 25A F60 N 7V (25CT1) при осьовій подачі $S = 1,0$ мм/об ($U = 18,3$ мм/с) і подачі на глибину $t_0 = 0,01$ мм.

Випробування проводилося за планом однофакторного експерименту, а фактори, що варіювалися, – це число вставок із CVD-алмазів на робочій поверхні правлячого інструменту та характеристики абразивного круга, що заправляється, – твердість, номер структури і зернистість.



Рис. 1 – Робоча поверхня алмазного правлячого ролика в плані: середня частина з протекцією CVD-алмазами і дві зовнішні занижені як базові. Зерна порошку AC200T 400/315 розподілено рівномірно

структури і зернистість.

З метою інтенсифікації експериментів лабораторні ролики спроектовано з двома рядами вставок із CVD-алмазів по окружностях на робочій поверхні, що лежать на краях прямого профілю (8 мм) інструменту і що утворюють відповідно дві вершини з радіусами закруглення R_L і R_R (рис. 1). В цьому випадку одному ролику відповідали одразу два значення числа вставок із CVD-алмазів. Профіль містив занижену – в нашому випадку на 1 мм – частину, що служила базою і не контактувала з абразивним кругом в процесі основної роботи, а отже, не була піддана зносу. Відносно цієї бази вимірювався лінійний знос (заниження δ вершини) ділянок з протекцією

вставками із CVD-алмазів. В силу дискретності робочої поверхні алмазного ролика, лінійний знос вимірювався опосередковано, за пластинчастим свідком на мікроскопі ДИП-3 з точністю ± 2 мкм. Доречно було фіксувати не абсолютні поточні значення R_L і R_R , а відносні до початкових R_{L0} і R_{R0} : і відповідно. Вимірювання абсолютних величин заниження δ і радіусів проводилося при обробці (узгодження масштабів та інше) фотографій (в електронному вигляді) відповідних профілів, зроблених з мікроскопу ДИП-3.

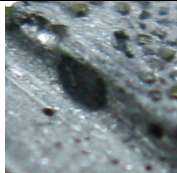
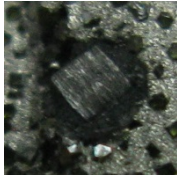
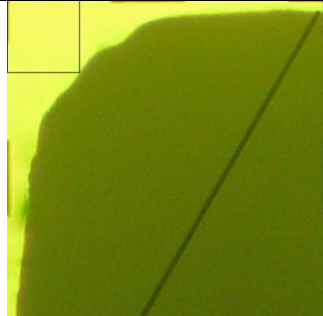
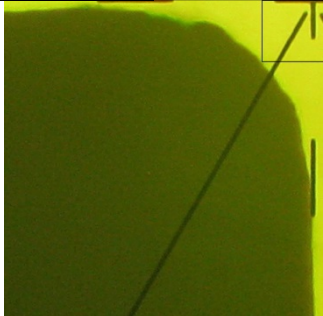

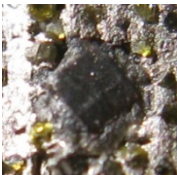
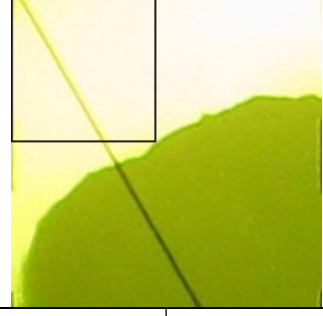
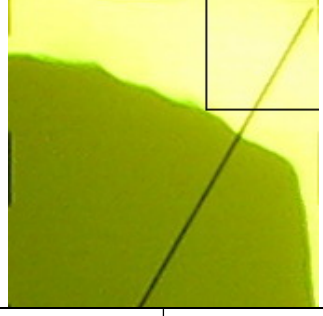
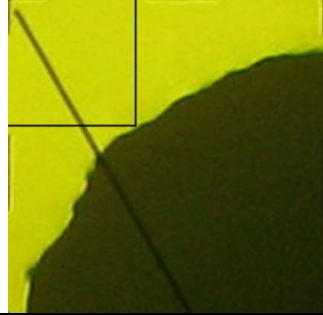
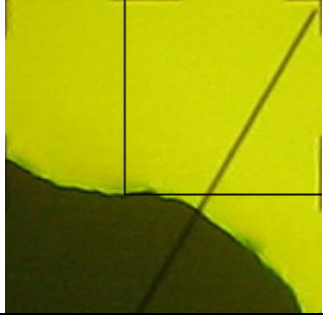


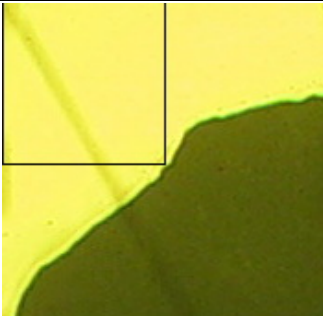
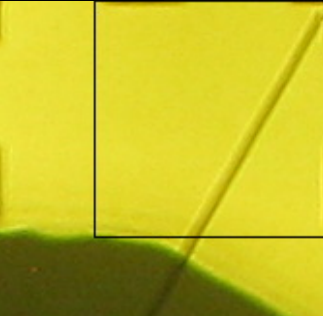
Відносні величини радіусів скруглення вершин було представлено як функцію об'єму диспергованого абразивного матеріалу

кругів, причому для наочності об'єм вимірявся в умовних одиницях: одна умовна одиниця – об'єм погонного міліметра круга $\text{Ø}600$. Для цього було проаналізовано і оброблено первинні матеріали, фотографії вставок із CVD-алмазів на робочій поверхні правлячих роликів на різних стадіях зносу, побудовано зведені таблиці зносу вершин, типовий приклад якої наведено нижче (табл. 1). Обробка експериментальних даних засвідчила, що: по-перше, застосування вставок із CVD-алмазів в навантажених ділянках правлячого інструмента суттєво підвищує розмірну стійкість робочого профілю, по-друге, знос CVD-алмазів, як і кристалів НР-НТ, в умовах правки абразивних кругів на керамічній зв'язці має характер абразивного зносу. Аналіз залежностей розмірної стійкості робочого профілю від конструкційних параметрів ролика і абразивного круга наведено нижче.

По-перше, відносні (безрозмірні) величини радіусів як функції об'єму диспергованого абразивного матеріалу кругів, що заправляються, мають S-подібний графік (рис. 2, 4). По-друге, відносні величини радіусів як функція числа CVD-вставок при фіксованому об'ємі (6 у.о.) диспергованого абразивного матеріалу кругів, що заправляються, мають спадаючий графік (рис. 3). По-третє, порівняльні графіки (рис. 4) зміни відносних радіусів, що відповідають різним твердостям абразивних кругів (при однакових інших умовах) показують, що підвищення твердості абразивного круга на одиницю градації підвищує швидкість лінійного зносу (або росту відносного радіуса закруглення вершини – як у нашому випадку) на $(1,47-1,22)/4 = 6,25 \cdot 10^{-2}$, тобто 6,25% на одиницю. По-четверте, порівняльні графіки (рис. 5) зміни умовних радіусів, що відповідають різним зернистостям абразивних кругів (при однакових інших умовах) показують, що збільшення зернистості на одиницю градації підвищує швидкість росту відносного радіуса закруглення вершини на $(2,23-1,47)/2=38 \cdot 10^{-2}$, тобто 38% на одиницю.

Таким чином, на базі дослідно-виробничої ділянки в ІНМ ім. В.М.Бакуля НАН України вперше в країні виготовлено гальванопластикою і випробувано в лабораторних умовах, наближених до умов машинобудівних підприємств України, партію правлячих роликів із CVD-алмазу для процесів абразивного формоутворення поверхонь складнофасонних виробів, а результати випробовувань дозволяють зробити позитивний висновок щодо перспективи імпортозаміщення такого інструменту для потреб машинобудівних підприємств України.

Таблиця 1 – Фрагмент зведеної таблиці зносу вершин

Сві- док №	Об'єм дис- перговано- го абрази- ву круга 40СТ1, у.о.	Фотографія вставок з номером	Параметри зносу вершини					
			Лівий край (з 6-ма вставками)		Правий край (без вставок)			
			занижен- ня вер- шини δ , мкм	радіус скруглен- ня верши- ни R , мкм	занижен- ня вер- шини δ , мкм	радіус скруглен- ня верши- ни R , мкм		
			62	149	70	168		
0	0,50 (фактичне додаткове відкриття на режи- мах 5 мкм, зу- стрічка)	 № 1  № 6			97	234	82	199
3	3,37 (відлік від № 0 на нормаль- них режи- мах)	 № 1  № 6			198	478	155	374
4	4,66 (відлік від № 0 на нормаль- них режи- мах)	—			173	417	263	634
6	6,74 (відлік від № 0 на нормаль- них режи- мах)	 № 1  № 6			212	512	303	732

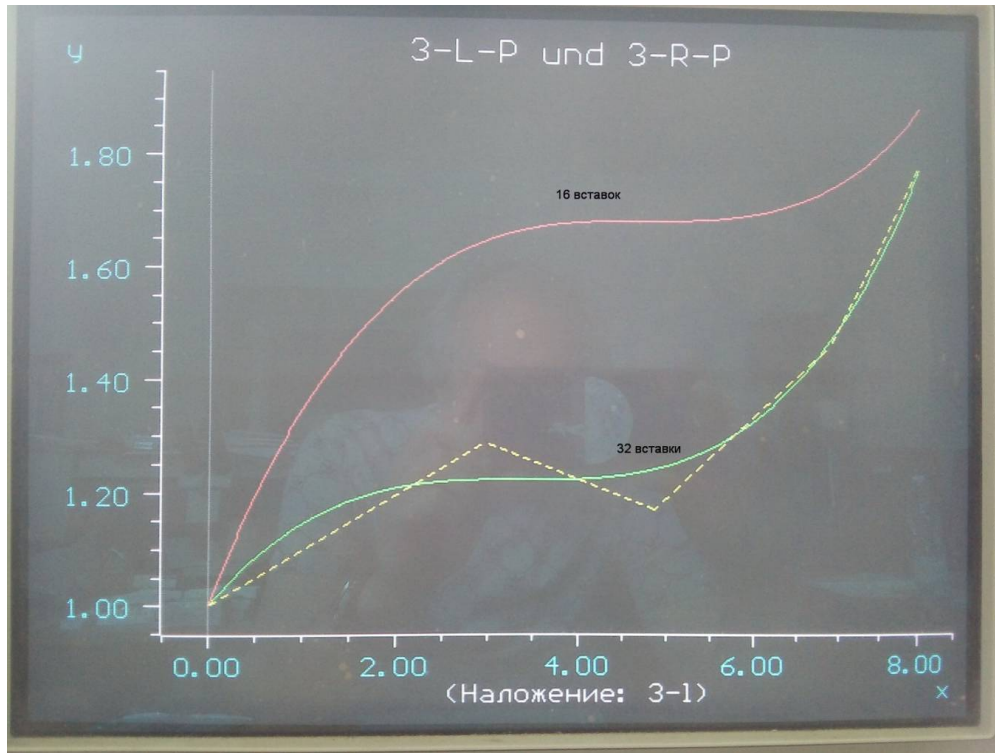


Рис. 2 – Залежність відносної величини радіусу закруглення вершини з числом CVD-вставок $n=16$ (3-R-P – апроксимація) і вершини з числом CVD-вставок $n=32$ (3-L – вихідник, 3-L-P – апроксимація) від об'єму диспергованого абразивного матеріалу кругів (у. о.). Матеріал круга 25AF40O6V (40СТ1)

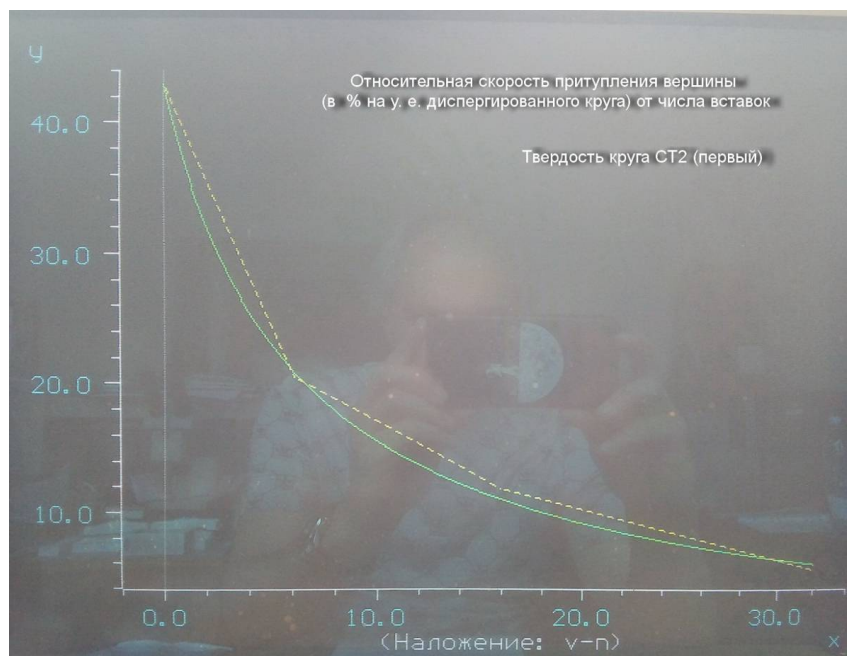


Рис. 3 – Залежність відносної швидкості притуплення вершин (в % на у.о. диспергованого абразивного матеріалу круга) від числа CVD-вставок при фіксованому об'ємі (6 у.о.) диспергованого абразивного матеріалу кругів, що заправляються. Матеріал круга 25AF40O6V (40СТ1)

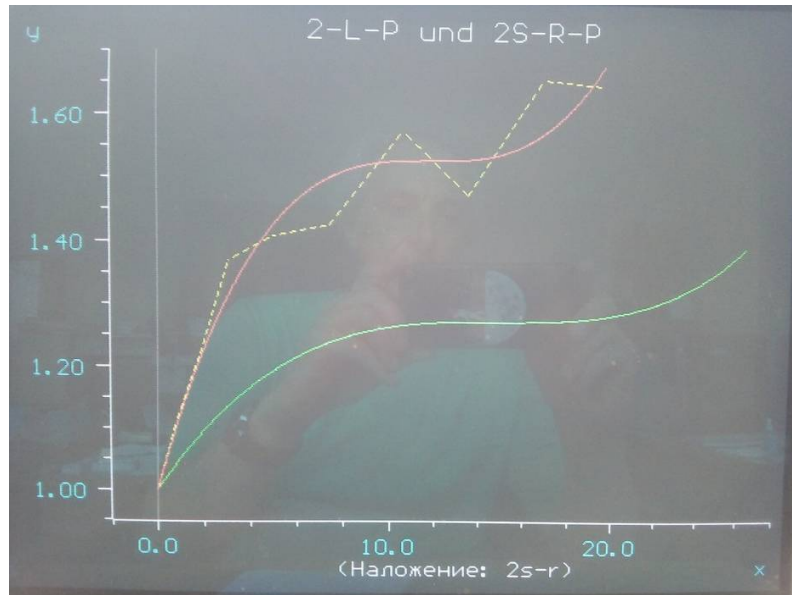


Рис. 4 – Залежність відносної величини радіусу закруглення вершини від об'єму диспергованого абразивного матеріалу кругів (у. о.). Число CVD-вставок $n=6$. Матеріал круга: 1) 25AF60P6V (25CT2), криві 2S-R – вихідник, 2S-R-P – апроксимація; 2) 25AF60L7V (25CM2), крива 2-L-P – апроксимація

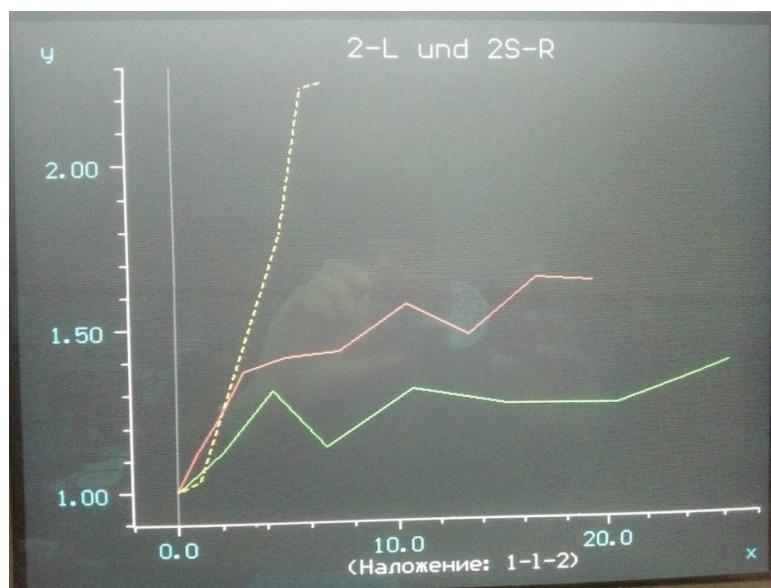


Рис. 5 – Залежність відносної величини радіусу закруглення вершини від об'єму диспергованого абразивного матеріалу кругів (у. о.). Число CVD-вставок $n = 6$, матеріал круга P (CT2). Зернистість: 1) 25, крива 2S-R; 2) 40, крива 1-L-2. Для порівняння – 25AF60L7V (25CM2), крива 2-L – вихідник

Література

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

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

3. Шейко, М.Н. Квазиврезная правка абразивных кругов как экспресс-метод испытания алмазных фасонных роликов. Сообщение 1. Регистрация сил правки / М.Н. Шейко, О.О. Пасичный, В.Н. Скок, П.И. Бологов // Сверхтв. мат. – 2009. – № 4. – С. 65–75.

*Яценко І.В., Ващенко В.А., Колінько С.О.,
Бутенко Т.І. Черкаський державний
технологічний університет, Черкаси,
Антонюк В.С. КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРОЗМІРНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Для підвищення зносостійкості, зниження радіаційної та конвективної складових теплових втрат на оптичні елементи точного приладобудування наносяться нанорозмірні оксидні покриття, що являють собою композиції оксидів SnO₂, Bi₂O₃, TiO₂, ZnO, SiO₂, Al₂O₃.

Одним з методів отримання таких покриттів, що широко використовується, є метод термовакuumного осадження матеріалів, який дозволяє отримати нанорозмірні (< 100 нм) покриття у вигляді окремих шарів. При цьому отримані покриття є неоднорідними, містять приховані мікродефекти (тріщини, відколи та ін.), поверхня містить значні мікросорсткості та низьку мікротвердість та ін. Все це призводить до зниження функціональних характеристик цих покриттів: зменшується їх зносостійкість; скорочуються строки їх експлуатації та ін. Для усунення вказаних недоліків та підвищення якості вказаних покриттів було використано їх фінішну електронно-променеву обробку, що дозволяє одержувати поверхні високої чистоти з мінімальною сорсткістю, а також з підвищеною мікротвердістю та товщиною зміцнених шарів у десятки мкм.

Були проведені дослідження для визначення оптимальних режимів електронно-променевої технології, в межах яких спостерігається покращення фізико-механічних властивостей і експлуатацій-

них характеристик оптичних елементів з нанорозмірними покриттями з оксидів металів (шорсткість і мікротвердість поверхні, ступінь її чистоти і пористості поверхневих шарів, зносостійкість, строк експлуатації тощо). В результаті проведених досліджень на зразках з оптичного скла К8 (використовувались пластини довжиною $6 \cdot 10^{-2}$ м, шириною $3 \cdot 10^{-2}$ м та товщиною $4 \cdot 10^{-3}$ м) було встановлено, що після електронно-променевої обробки оксидних покриттів не спостерігаються негативні мікродфекти, а мікрошорсткості зменшуються з 30–35 нм до 9–15 нм (рис. 1).

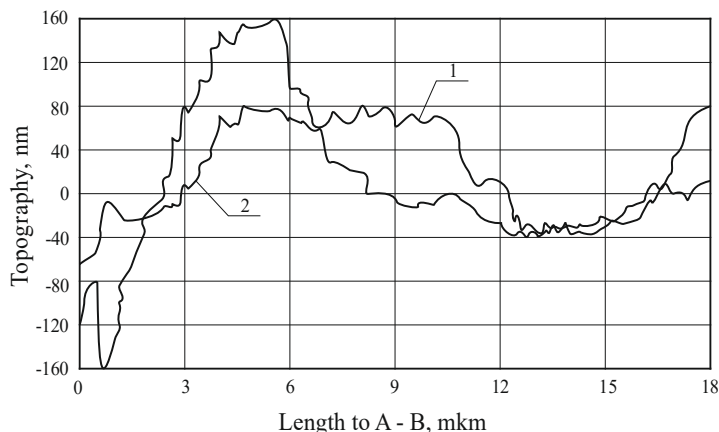


Рис. 1 – Топограма вздовж лінії А – В ділянки поверхні (13×13 мкм) оптичного елемента з покриттям TiO_2 до (1) та після (2) електронно-променевої обробки

Проведені дослідження мікротвердості поверхні оптичних елементів з оксидними покриттями показали її збільшення після електронно-променевої обробки: від 17,5–21,5 до 23,7–24,9 ГПа для покриття Al_2O_3 ; від 9,3–13,1 до 14,7–15,9 ГПа для покриття ZnO_2 ; від 2,3–3,5 до 6,3–7,1 ГПа для покриття TiO_2 (рис. 2).

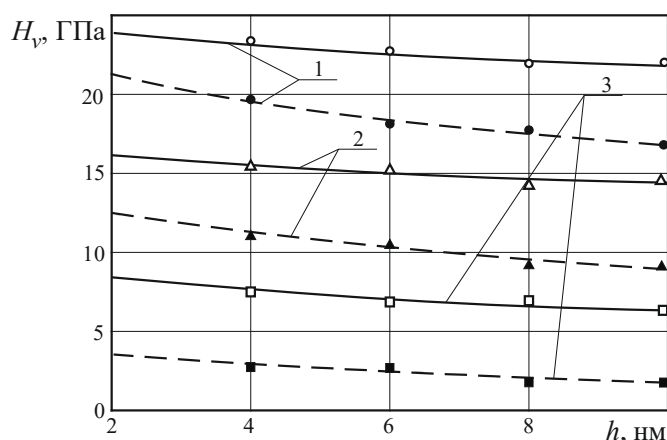


Рис. 2 – Залежності мікротвердості поверхні оптичних елементів з оксидними покриттями Al_2O_3 (1), ZnO_2 (2) та TiO_2 (3) від їх товщини: ———— — після електронно-променевої обробки; - - - - до електронно-променевої обробки; Δ , \circ , \square , \blacktriangle , \blacksquare , \bullet – експериментальні дані

При цьому для покриттів, які оброблені електронним променем, вплив їх товщини на величину мікротвердості поверхні послаблюється на 30–40%.

Встановлено також, що після електронно-променевої обробки оксидних покриттів на оптичних елементах строк їх експлуатації збільшується на 20–30%. При цьому зменшується на 5–10% пористість поверхні та підвищується на 7–12% їх зносостійкість.

Таким чином, у світлі сучасних новітніх технологій, що використовуються у оптико-електронному приладобудуванні, електронно-променева обробка елементів з оптичного скла та керамік, елементів з п'єзокерамік, а також оптичних елементів з нанорозмірними покриттями з оксидів металів визначається як потенційно спроможна для якісної обробки плоских та криволінійних елементів, які можуть бути використані у якості елементної бази у мікрооптиці, інтегральній та волоконній оптиці, оптоелектроніці, функціональній електроніці та інших галузях точного приладобудування. Крім цього, незаперечними перевагами електронно-променевої технології є її екологічна чистота та спроможність одержання на загальній платі з оптичного матеріалу у єдиному технологічному циклі мікроелементів з покращеними експлуатаційними характеристиками, використання яких у оптичних деталях оптико-електронних приладів сприяє їх безвідмовній роботі при експлуатації.

Література

1. Yatsenko, I.V. Regularities of influence of electron-beam technology modes on the performance characteristics of optical elements / I.V. Yatsenko, V.A. Vashchenko, V.S. Antonyuk et al. // J. of Nano- and Electronic Physics. – 2014. – 11 (2)/ – 02014-1-02014-7.

Береснєв В.М., Литовченко С.В., Горох Д.В., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

ТЕРМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ВАКУУМНО- ДУГОВОГО ОСАДЖЕННЯ

Сучасне високотехнологічне виробництво потребує нових матеріалів з унікальними властивостями. До таких матеріалів відно-

сяться захисні покриття, які формуються із використанням сучасних технологій. Вони дозволяють значно підвищити надійність устаткування, знизити вартість обслуговування, продовжити ресурс експлуатації, відновити робочі поверхні та деталі, захистити від високих навантажень і агресивних середовищ).

Одним із найбільш ефективних способів вирішення цієї проблеми є розробка багат шарових функціональних покриттів, характерною ознакою яких є відмінність фізико-механічних і хімічних властивостей різних шарів. Сучасні іонно-плазмові технології осадження мають суттєві переваги в плані створення різноманітних покриттів функціонального призначення.

Досліджень багат шарових покриттів з монофазними шарами TiN/ZrN; ZrN/CrN; Mo₂N/CrN; TiN/MoN [1–4] свідчать, що при осажденні багат шарової структури відбувається збільшення частки міжфазних границь щодо загального обсягу границь розділу, що перешкоджають поширенню дислокацій і тріщин. Означимо такі властивості зазначених багат шарових покриттів: – вищі твердість і в'язкість; – покриття можуть мати твердість таку ж саму або таку яка перевищує твердість кожного з шарів; – характеризуються більшою зносостійкістю. Однак зменшення товщини отриманих шарів обмежується граничними значеннями, при досягненні яких з'являється розмитість міжфазних кордонів. Також термостійкість цих покриттів зберігається на рівні термостійкості нітридних покриттів, з яких створено багат шарову архітектуру. *Отримані результати досліджень свідчать:* – кожна конкретна оптимізація твердих багат шарових шарів вимагає глибокого розуміння кореляції будови, властивостей і поведінки від мікро– до наномасштабу; – потребують визначення нанорозмірні характеристики багат шарової системи та інтерфейсів окремих шарів.

Висока термічна стабільність властивостей та високотемпературна стійкість до оксидування є одними із найпривабливіших властивостей твердих нанокompозитних покриттів. Ці властивості сильно залежать від фазового складу та термічної стабільності окремих фаз, з яких складається плівка. Для всіх цих плівок стійкість до оксидування нижче 1000 °C, оскільки вони складаються з зерен, що завжди мають можливість контакту з навколишньою атмосферою в області поверхні плівки з підкладкою через межі зерен. Це значно зменшують стійкість до оксидування в обсязі плівки і знижують її бар'єрну здатність. Існує лише один ефективний шлях, як збільши-

ти стійкість до оксидування твердих покриттів – перервати безперервний шлях уздовж меж зерен від поверхні покриття через всю товщину до підкладки. Це може бути досягнуто, якщо тверда плівка буде аморфною. Загалом, таким матеріалом може бути описаний як $nc\text{-MeN}/\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ (де MeN – перехідний метал, такий як V, Ti, Nb, Zr і т. д. в аморфній матриці нітриду кремнію) [5]. Нанокристалічні блоки відносно вільні від дислокацій, і коли застосовується високи напруги, будь-який дислокаційний рух, який може бути присутнім, спіймано в пастку на межі зерна аморфною матрицею, що призводить до підвищення міцності матеріалу. Щоб досягти стійкості до оксидування за найвищих температур необхідно забезпечити найкращу термічну стабільність обох фаз: – аморфного нітриду кремнію проти кристалізації; – метало-нітриду проти розкладання ($\text{MeN}_x \rightarrow \text{Me} + \text{N}_x$). З цієї точки зору дуже перспективними здаються, наприклад, такі наноккомпозити, як Ti-Si-N; Ti-Al-N тощо.

Системи на основі комбінації (Ti, Si)N викликають особливий науковий інтерес так є якісною альтернативою TiN. Оскільки демонструють незвичайну комбінацію властивостей металу і кераміки, зокрема твердість, термостійкість до температури 1000 °C [6]. Подальше покращення властивостей багат шарових покриттів на основі монофазних нітридних систем, які забезпечують підвищення тільки твердості, а термостійкість практично не змінюється, може бути здійснено за рахунок створення архітектури, де один із шарів (Ti, Si)N, якій повз твердості забезпечує підвищення термостійкості, другий шар – монофазний нітрид.

Так наприклад максимальне значення твердості $H = 31,1$ ГПа; ($H/E^* = 0,1$; $H^3/E^{*2} = 0,33$) виявлено для багат шарового (TiSi)N/CrN [7] покриття, отриманого при $P_N = 0,6$ Па та $U_{zc} = -200$ В, яке характеризується досить малими розмірами кристалітів (12,9 нм – шарів TiSiN та 13,7 нм – шарів CrN), а також найкраще розвинену текстуру росту {111}. Під час відпалу за 700 °C отримана практично та ж сама твердість $H = 30,9$ ГПа ($H/E^* = 0,1$; $H^3/E^{*2} = 0,32$). Цьому стану покриття відповідає наявності в обох шарах нітридних фаз (TiSi)N і CrN з ізоструктурною кристалічною решіткою типу NaCl. Слід також зазначити, що шари з меншою твердістю (CrN) перешкоджають поширенню тріщин у твердих шарах (TiSi)N при роботі в умовах динамічних навантажень, оскільки більш м'які шари нітриду хрому мають високу в'язкість руйнування, що робить

їх перспективними для використання в якості зносостійких термостійких покриттів для різальних інструментів.

Результати досліджень свідчать, що у системі із сильним зв'язком $[\text{Ti}(\text{Al})\text{:Si}]\text{N}_x/\text{MoN}_y$ відпал за $700\text{ }^\circ\text{C}$ практично не змінює твердість покриття – до відпалу $H = 37,46$ ГПа; після відпалу $H = 37,74$ ГПа [8].

Проведений аналіз показав, що багат шаровим покриттям на основі наночарів нітриду композиційного матеріалу і монофазного нітриду притаманне поєднання високих фізико-механічних і термічних властивостей, що обумовлює перспективність їх використання, суттєво розширює можливу сферу застосування, але потребує необхідність проведення широкого комплексу подальших досліджень

Література

1. Pogrebnjak, A. Multilayered vacuum-arc nanocomposite TiN/ZrN coatings before and after annealing: structure, properties, first-principles calculations / A. Pogrebnjak, V. Ivashchenko, O. Bondar et al. // *Mat. Char.* – 2017. – vol. 134. – P. 55–63.
2. Sobol, O.V. Influence of pressure of working atmosphere on the formation of phase-structural state and physical and mechanical properties of vacuum-arc-multilayer coating ZrN/CrN / O.V. Sobol, A.A. Andreev, V.F. Gorban' et al. // *Вопросы атомной науки и техники.* – 2016. – № 1(101). – P. 134–139.
3. Beresnev, V.M. Effect of the deposition parameters on the phase-structure state, hardness, and tribological characteristics of $\text{Mo}_2\text{N}/\text{CrN}$ vacuum-arc multilayer coatings / V.M. Beresnev, S.A. Klimenko, O.V. Sobol' et al. // *J. Superhard Mat.* – 2015. – vol. 38, № 2. – P. 114–122.
4. Pogrebnjak, A.D. The Effect of Nanolayer Thickness on the Structure and Properties of Multilayer TiN/MoN Coatings / A.D. Pogrebnjak, V.M. Beresnev, O.V. Bondar et al. // *Tech. Phys. Lett.* – 2014. – vol. 40, № 3. – P. 215–218,
5. Veprek, S. New development in superhard castings the superhard nanocrystalline-amorphous composites / S. Veprek // *The Solid Films.* – 1998. – vol. 317. – P. 449–45.
6. Flink, A. Influence of Si on the microstructure of arc evaporated (TiSi)N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability / A. Flink, T. Larsson, J. Sjolen et al. // *Sur. Coat. Tech.* – 2005. – vol. 200. – P. 1535–1542.

7. Beresnev, V.M. Correlating Deposition Parameters with Structure and Properties of Nanoscale Multilayer (TiSi)N/CrN Coatings / V.M. Beresnev, O.V. Maksakova, S.V. Lytovchenko et al. // East European J. of Physics. – 2022. – № 2. – P. 112–117.

8. Beresnev, V.M Kruhlova Structure and Properties of Vacuum-Arc Single-Layer and Multiperiod Two-Layer Nitride Coatings Based on TiAlSi Layers / V.M. Beresnev, O.V. Sobol, A.D. Pogrebnjak et al. // J. Nano-Electron. Phys. – 2017. – vol. 9, № 1. – 01032 (6 pp).

ЗМІСТ

<i>Балицька Н.О., Москвін П.П., Мельничук П.П.</i> МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕКСТУРИ МЕХАНІЧНО ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ	3
<i>Бурикін В.В., Клименко С.Ан.</i> ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕНОГО ПКНБ, НА ВЕРСТАТІ ЧПК	6
<i>Волошина Л.В., Мадік 'яну К.А., Хаустов А.О.</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ	8
<i>Волошин Д.І., Мустіцов І. М., Роценко О.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЗГОДЖЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЯКОСТІ ІЗ ЗАГАЛЬНИМ УПРАВЛІННЯМ ПІДПРИЄМСТВОМ	9
<i>Григор 'єва Н.С., Шабайкович В.А.</i> СУЧАСНЕ ВИРОБНИЦТВО ПРОДУКЦІЇ	11
<i>Даниленко Ю.А.</i> ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ТИПАМИ ІННОВАЦІЙ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЄЮ	14
<i>Девін Л.М., Беженар М.П., Нечипоренко В.М.</i> ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ЙМОВІРНІСТЬ РУЙНУВАННЯ РІЗЦІВ З КНБ ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ	16
<i>Девін Л.М., Беженар М.П., Ричев С.В., Нечипоренко В.М.</i> МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ КОМПОЗИТИВ З КНБ З ДОДАВАННЯМ АЛМАЗУ	22
<i>Іваненко Р.О., Волошко О.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНЕ РОЗМІРНЕ НАЛАШТУВАННЯ І КОНТРОЛЬ СТАНУ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЛЕННІ	26
<i>Ільницька Г.Д., Лавріненко В. І., Смоквина В.В., Зайцева І.М., Тимошенко В.В. Котинська Л.Й.</i> АЛМАЗНІ ШЛІФПОРОШКИ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	28

<i>Клименко С.Ан., Клименко С.А., Копеїкіна М.Ю., Мельнійчук Ю.О., Чумак А.О., Манохін А.С.</i>	
ЕФЕКТИВНА МЕХАНІЧНА ОБРОБКА НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ	30
<i>Клименко С.А., Манохін А.С., Клименко С.Ан., Чумак А.О., Мельнійчук Ю.О.</i>	
ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ РсVN ПРИ ПЕРЕРИВЧАСТОМУ РІЗАННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ	32
<i>Коваленко Я.П.</i>	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ІНСТРУМЕНТОМ З ПЛАСТИНАМИ ІЗ ПКНБ ГРУПИ VL	35
<i>Ковальов В.Д., Клименко Г.П., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Бородай Р.А., Корчма Д.О.</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ ЗА РАХУНОК РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР ТА ПЕРЕДАЧ	38
<i>Козяр Я.А., Балицька Н.О.</i>	
ТЕХНОЛОГІЇ РІЗАННЯ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ	40
<i>Комарова Г.Л., Бондаренко К.С.</i>	
РОЛЬ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЯКОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	42
<i>Краснюк І.І.</i>	
СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЦІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ	44
<i>Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Смоквина В.В., Федорович В.О., Островерх Є.В.</i>	
СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В ПИТАННЯХ, ПРИСВЯЧЕНИХ ПРИРОДНІЙ ЧИ НАБУТІЙ ДЕФЕКТНОСТІ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ	45
<i>Лавріненко В.І., Пасічний О.О., Скрябін В.О., Ситник Б.В., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Тищенко В.А.</i>	
СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В ОТРИМАННІ CVD-АЛМАЗІВ ТА ОСОБЛИВОСТЯХ ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЮ АЛМАЗІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЇХ ОБРОБКИ	49

<i>Лаврінєнко В.І., Скрябін В.В., Скрябін В.О., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В.</i> СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В ПИТАННЯХ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ПЕРЕХОДОМ РЕЖИМУ КРИХКОГО РІЗАННЯ В ПЛАСТИЧНИЙ ДЛЯ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ	54
<i>Логінова Ю.В., Артюх К.О.</i> УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ НА ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ В УМОВАХ ВХОДЖЕННЯ УКРАЇНИ В ЄС	59
<i>Лопата В.М., Солових Є.К., Катєринич С.Є., Солових А.Є.</i> ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ	62
<i>Лопата О.В., Смирнов І.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ ПІСЛЯ ЇХ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЇ ОБРОБКИ	65
<i>Людвіченко О.П., Гордєєв С.О., Лещук О.О.</i> ТЕПЛОВИЙ СТАН КОМІРКИ АВТ ТИПУ «ТОРОЇД» ПРИ ВИРОЩУВАННІ КРИСТАЛІВ НІТРИДУ ГАЛІЮ	68
<i>Мановицький О.С.</i> СПЕЦІАЛЬНИЙ ШЛІФУВАЛЬНИЙ КРУГ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОЇ ТА ЗОВНІШНЬОЇ ОБРОБКИ	71
<i>Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Копеїкіна М.Ю., Берєсєв В.М., Литовченко С.Л., Столбовой В.О.</i> РІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ З КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ З ПОКРИТТЯМ	76
<i>Мельник Т.В., Ругалєнко Т.В.</i> ПИТАННЯ РЕФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ МИЙНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ	79
<i>Олійник Н.О., Льницька Г.Д., Базалій Г.А.</i> ЗМІНА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФПОРОШКУ АЛМАЗУ МАРКИ АС20 ЗЕРНИСТОСТІ 100/80 ПІД ВПЛИВОМ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ	81
<i>Петасюк Г.А., Петасюк О.У.</i> АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОМІЦНИХ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ, ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОРТОГОНАЛЬНОЇ ПРОЕКЦІЇ ЇХ ЗЕРЕН ТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ НИМИ І МОРФОМЕТРИЧНИМИ	

ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ЯКІ ДІАГНОСТУЮТЬСЯ ПРИЛАДОМ DIAINSPECT.OSM	84
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Рибак І.П.</i> ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЯВИЩ ПРИ УТВОРЕННІ РЕЛЬЄФІВ НА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	87
<i>Радкевич С.І., Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П.</i> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЧАВУНІВ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ	90
<i>Рижов Ю.Е., Абрамова С.Л.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ МОТС НА ЗМІНУ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ПІСЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ	92
<i>Роїк Т.А., Гавриш О.А., Бровкин А.О.</i> АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ НАКЛЕПУ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ТОНКОМУ КУБОНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ	96
<i>Румянцева Ю.Ю., Клименко С.Ан., Чумак А.О., Савченко Д.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ cBN ЗІ ЗВ'ЯЗКАМИ NbN, TiCN, TiN, TaN АРМОВАНИХ МІКРОВОЛОКНАМИ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК	98
<i>Рутковський А.В., Антонюк В.С.</i> ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МАТРИЦЬ ДЛЯ ГАРЯЧОЇ КОВКИ З ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ ПІТА	101
<i>Рябченко С.В., Бандуренко М.В., Яровицин О.В., Черв'яков М.О.</i> <i>Наконечний О.О.</i> ШЛІФУВАННЯ НАПЛАВОК З НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДУ	104
<i>Сахнюк І.О., Рудак Н.П.</i> АНАЛІЗУВАННЯ ПІДСУМКІВ САМІТУ УКРАЇНА–ЄС	106
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.</i> ЗАКОНОМІРНОСТІ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ДОВЕДЕННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ ІЗ БАЗУВАННЯМ НА ДВОТОЧКОВИЙ КОНТАКТ	109

<i>Струтинський В.Б., Миронюк Б.І., Каменев П.К., Приймак М.В.</i> СПЕЦІАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖНО- ДЕФОРМОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ	113
<i>Тимофеев С.С., Колесник М.А., Кістанов Д.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ВІДНОВЛЕНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ	117
<i>Тимофеева Л.А., Козловська І.П., Гарбуз О.С.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	119
<i>Томашевський О.О., Балицька Н.О.</i> КЛАСИФІКАЦІЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ	121
<i>Шамрай В.Б., Калініченко В.І., Лопата Л.А.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ КІЛЬЦЕВОЇ КАНАВКИ АЛЮМІНІЄВОГО ПОРШНЯ ДВЗ ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ	123
<i>Шейко М.М.</i> ОЦІНКА МІЦНОСТІ УТРИМАННЯ ЗЕРЕН В АЛМАЗНО- ГАЛЬВАНІЧНОМУ ПОКРИТТІ ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ МЕТОДОМ ВІРТУАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ	125
<i>Шейко М.М., Пасічний О.О., Рябченко С.В., Максименко А.П., Бологов П.І.</i> РОЗМІРНА СТІЙКІСТЬ АЛМАЗНИХ ПРАВЛЯЧИХ РОЛІКІВ З ПРОТЕКЦІЄЮ ВСТАВОК ІЗ CVD-АЛМАЗІВ	131
<i>Яценко І.В., Ващенко В.А., Колінько С.О., Бутенко Т.І., Антонюк В.С.</i> ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРОЗМІРНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ НА ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ	137
<i>Береснев В.М., Литовченко С.В., Горох Д.В.</i> ТЕРМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАДЖЕННЯ	139

СУЧАСНІ ПИТАННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ В ПРОМИСЛОВОСТІ І НА ТРАНСПОРТІ

Матеріали 23-го Міжнародного науково-технічного семінару

15–16 березня 2023 р.

Мови конференції: українська, англійська

Комп'ютерна верстка
Копейкіна М.Ю.

Підписано 10.06.2022
Формат 60×84×1/16
Умч. вид. арк. 11,0.

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

Tel. +38044-4308500, +38050-3311922, +38050-3311923

www.atmu.net.ua

E-mail: atmu@ism.kiev.ua, atmu@meta.ua, atmu1@meta.ua
