



Асоціація технологів-машинобудівників 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

25-го Міжнародного науково-технічного семінару

25–26 березня 2025 р.

Київ – 2025

Житомир –



– 2025

Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали Міжнародного науково-технічного семінару, 25–26 березня 2025 р. – Київ: АТМ України; Житомир: ПП "Рута" 2025. – 180 с.

ISBN 978-617-581-664-6

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

ISBN 978-617-581-664-6

© АТМ України, 2025 р.

© ПП«Рута», 2025

ДО ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКРОФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕКСТУР СПЛАВІВ Ni-Ti ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ЗМОЧУВАНOSTІ

Сплави Ni-Ti використовуються для виготовлення імплантів, оскільки мають відмінну здатність до деформації в тілі, високу міцність та біосумісність. Змочуваність поверхні сплавів Ni-Ti рідиною є важливим аспектом хімії поверхні, так як змочуваність поверхні значно впливає на поглинання молекул фібробластів та/або бактерій.

Результатами [1] експериментально доведено можливість модифікації властивостей змочування біомедичних сплавів шляхом формування поверхневих мікротекстур механічною обробкою на ультрапрецизійному мікрофрезерному верстаті. Слід зазначити, що необхідність застосування надточних верстатів робить цю технологію дороговартісною і малодоступною. Разом з тим відомо, що поверхневі текстури розміром від 0,2 мм можуть бути виготовлені на обробних центрах звичайної точності, зважаючи на досить низьку рекомендовану швидкість різання нітинолів (близько 20 м/хв) [2]. Тому задача розробки ефективної технології мікрофрезерного текстурування сплавів Ni-Ti для модифікації їх змочувальних властивостей є актуальною і перспективною.

Найбільш вивченими елементами мікропрофілю текстурованих поверхонь, які можуть бути виготовлені мікрофрезеруванням, наразі є мікропази, мікростовпчики та мікроямки [3]. З метою попередньої оцінки ефективності мікрофрезерування таких поверхневих текстур було проведено експериментальне дослідження процесу різання мікропазів, мікростовпчиків і мікроямок (рис. 1) на обробному центрі звичайної точності DMU 80 Evo Deckel Maho на плоских поверхнях сплаву $\text{Ni}_{56,5}\text{Ti}_{43,5}$ (мас.%) із застосуванням твердосплавних фрез HOFFMANN діаметром від 0,2 до 1,0 мм.

Оброблені мікропази і мікростовпчики мають значні заусенці як ззовні, так і всередині пазів. Розмір заусенців з боку виходу пластини із зони різання досягає половини ширини паза (рис. 1, а). Робота мікрофрези характеризувалася значними вигинами та вібраціями, які проявляються у відхиленні від прямолінійності пазів та значній шорсткості їх дна (R_z 36,4–53,75). Спостерігалось також інтенсивне налипання оброблюваного матеріалу на різальному інструменті.

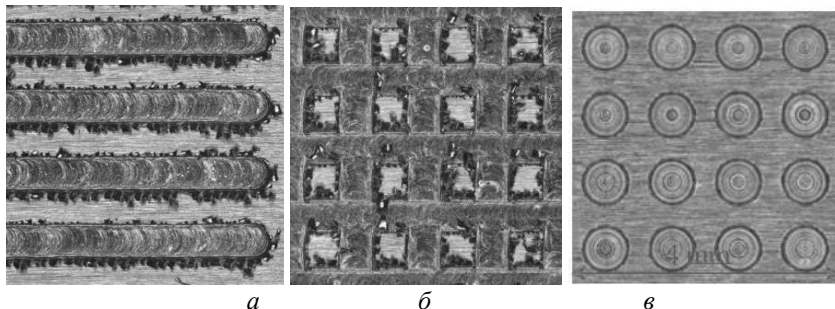


Рис. 1 – Фрезеровані поверхневі мікротекстури: *а* – мікропази, *б* – мікростовпчики, *в* – мікроямки (фреза діаметром 0,5 мм, глибина різання 0,1 мм, частота обертання 12700 об/хв, подача на зуб 0,001 мм/зуб)

Обробка мікроямок (рис. 1, *в*) відрізнялася максимальною ефективністю в порівнянні з іншими текстурами поверхні, оскільки в цьому випадку розміри заусенців і сили різання мінімальні, а стійкість інструменту максимальна. Це пов'язано з малим об'ємом матеріалу, що знімається в порівнянні з обробкою пазів, і напрямком подачі вздовж осі інструменту. Цілком прогнозовано, що при цьому ймовірність поломки мікрофрези внаслідок вигину під час різання значно нижча.

Таким чином, попередні експериментальні дослідження доводять можливість мікрофрезерного текстурування поверхонь сплаву Ni-Ti без застосування ультрапрецизійних верстатів і з більш продуктивними режимами різання, в порівнянні з відомими раніше [1]. При цьому експериментально встановлено, що мікрофрезерування мікроямок характеризується вищою ефективністю. Однак процес мікрофрезерування важкооброблюваних матеріалів, таких як сплави Ni-Ti, супроводжується цілим рядом технічних складнощів [4], які можуть і повинні бути вирішені у подальших дослідженнях. Також необхідно дослідити залежність змочувальних властивостей текстурованих поверхонь сплавів Ni-Ti від їх топології.

Література

1. Du H., Wu C., Li D., Yip W.S., Wang Z., To S. Feasibility study on ultraprecision micro-milling of the additively manufactured NiTi alloy for generating microstructure arrays // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Т. 25. – С. 55–67. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.214>.

2. Томашевський О. О., Балицька Н. О., Прилипко О. І. Скінченно-елементне моделювання процесу мікрофрезерування нітинолу // Технічна інженерія. – 2024. – Вип. 1(93). – С. 81-88. – DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-81-88](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-81-88).

3. Балицька Н. О., Мельничук П. П. Мікрофрезерування, як спосіб текстуровання поверхонь сплавів Ni-Ti для модифікації змочуваності // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2025. – Т. 347, № 1. – С. 478–485. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-65>.

4. Томашевський О. О., Балицька Н. О. Процес мікрофрезерування металів і сплавів: аналітичний огляд // Технічна інженерія. – 2023. – Вип. 2(92). – С. 74–88. – DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-74-88](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-74-88).

Бахман С.О. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІСНИХ ПАР ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТА

Процес відновлення профілю колісних пар на колесотокарних верстатах є однією з найбільш ресурсоемних операцій у технологічному циклі ремонту рухомого складу. Ця процедура належить до категорії складних технологічних процесів, що характеризуються відносно низькою продуктивністю та рядом специфічних особливостей [1, 2].

У процесі колесотокарної обробки, через значну площу зрізу матеріалу, ріжучий клин інструмента піддається інтенсивному термічному навантаженню, що спричиняє його прискорене зношування. Для зниження рівня теплонапруженості інструмента необхідно підвищити ефективність тепловідведення від ріжучої пластини.

У зонах відсутності безпосереднього контакту між елементами інструмента формуються повітряні порожнини, які значно погіршують теплопередачу. Це зумовлено тим, що теплопровідність повітря приблизно у 3500 разів нижча, ніж у металевих матеріалів, що використовуються у конструкції збірних різців.

Одним із основних шляхів відведення тепла є межа між опорними поверхнями ріжучої пластини та державки інструмента. Однак ефективність теплопередачі в цій зоні обмежується високим термічним опором, зумовленим нерівномірністю контакту та утворенням повітряних порожнин.

Для мінімізації термічного опору у вузькій контактній зоні опорних поверхонь пропонується застосування спеціального теплопровідного інтерфейсу, що формується шляхом нанесення тонкого шару теплопровідної пасти (рис. 1) на опорні поверхні різцетримача та твердосплавної ріжучої пластини.

За стандартної шорсткості опорної поверхні твердосплавних пластин у межах $Ra\ 0,4-0,63$, шорсткість опорної поверхні різцевих оправок може досягати $Ra\ 1,25-2,5$, тоді як шорсткість отвору в корпусі різцевої державки, призначеного для встановлення різцевої оправки, може сягати $Rz\ 60$.

Наявність мікронерівностей на контактуючих поверхнях спричиняє утворення повітряних порожнин у контактній зоні [2]. У місцях поверхневого контакту між опорними площинами тангенціальної пластини та різцевої оправки (рис. 2), а також між опорною поверхнею різцевої оправки та корпусом державки, значно знижується ефективність теплопередачі до корпусу ріжучого інструменту, який виконує функцію масивного теплопоглинача.

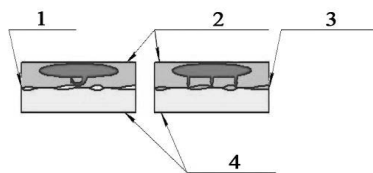


Рис. 1 – Приклад опорних поверхонь ріжучої пластини та інструментальної державки:

1 – повітряна порожнина; 2 – основа ріжучої пластини; 3 – теплопровідна паста; 4 – основа різцетримача

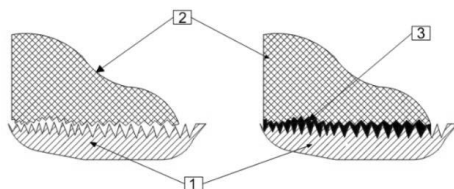


Рис. 2 – Контакт опорних поверхонь оправки та ріжучої пластини:

1 – різцева оправка; 2 – пластина;
3 – термопаста

Для забезпечення належного тепловідведення повітряні прошарки у контактних зонах, що мають низьку теплопровідність ($0,03\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), можуть бути витіснені спеціальним теплопровідним в'язким складом. Зокрема, застосування кремнійорганічної теплопро-

відної пасти з теплопровідністю в діапазоні 2,5–40,0 Вт/(м·К) [3] дозволяє значно покращити ефективність теплопередачі.

Однак товщина нанесеного термоінтерфейсу (термопасти) не повинна перевищувати 100 мкм, що забезпечує повне заповнення мікронерівностей сполучених поверхонь. Водночас, у процесі колесокарної обробки виникають значні зусилля різання, що вимагає надійного закріплення ріжучої пластини в державці шляхом прикладання високого затискного зусилля. Через це використання в'язких теплопровідних інтерфейсів (термопаст) є малоефективним: обмежена товщина термопасти (≤ 100 мкм) не дозволяє заповнити стружколомаючі канавки на передній поверхні пластини, а також у разі значного стискання може відбуватися витіснення пасти з контактної зони, що знижує надійність кріплення.

Оптимальним методом підвищення ефективності тепловідведення від ріжучого клина є заміна пасти на теплопровідні еластичні прокладки. У такому випадку на передню поверхню ріжучої пластини наклеюються теплопровідні еластичні прокладки з листового армованого матеріалу (наприклад, НОМАКОН, КПТД-1-60-250, ТР320-Т05), які за формою та товщиною відповідають геометрії стружколомаючих канавок.

Дані прокладки, виготовлені з керамікополімерного теплопровідного матеріалу, мають високу еластичність (не менше 50%) і теплопровідність (1–3 Вт/(м·К)), що забезпечує ефективну теплопередачу по всій опорній поверхні, усуваючи повітряні порожнини (див. рис. 2) [4, 5]. Завдяки армуванню скловолокном матеріал здатний витримувати стискальні навантаження до 40 МПа, що гарантує надійне закріплення ріжучої пластини.

При індексації ріжучої пластини, коли її опорна поверхня трансформується у передню поверхню, контактні частини прокладки легко видаляються потоком стружки, що сходить, не впливаючи на ефективність процесу обробки.

Література

1. Рубан В. М. Підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ 20: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / В. М. Рубан. — Дніпро, 2021. — 196 с.
2. Полупан І. І. Підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / І. І. Полупан. — 2016. — 213 с.

3. Найкраща термопаста для ПК: вибираємо з 15 варіантів. — Режим доступу: <https://blog.moyo.ua/ua/najkrashha-termopasta-dlya-pk-vibirayemo-z-15-variantiv/>.

4. Стаття на сайті "Свалтера". — Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/press-center/articles/p-8.pdf>.

5. Каталог товарів на сайті K206. — Режим доступу: <https://www.k206.net/catalog/483/10111/>.

*Бондар І.В., Дабіжжа В.Є., Жарівський Г.Я.,
Соколан М.С. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ*

МЕТАЛОКЕРАМІЧНЕ БАГАТОШАРОВЕ ВАКУУМНЕ ПОКРИТТЯ

Для формування багатошарового металокерамічного вакуумного покриття була модернізована установка ВУ-700 «Д»(М), розроблені та змонтовані три лінійні переферійні дуготрони з системою керування скануванням плямою мікроелектродугового вакуумного розряду по довжині катоду при роботі у діапазоні токів 100–200 А. Розроблені лінійні дуготрони, а також модернізований лінійний магнетрон дозволяють нанести однорідні за товщиною покриття. Установка дозволяє попереміно розпилювати чотири матеріала і при одночасній роботі двох дуготронів конденсувати одночасно покриття з двох матеріалів.

З використанням цієї установки досліджені особливості технології конденсації багатошарової метало-керамічної композиції, яка отримана почерговим осадженням шарів зі сплаву NiCrAlY і кераміки Al₂O₃.

Шар багатокомпонентного покриття NiCrAlY формується зі складом, що повторює матеріал мішені. При цьому, мікроелектродуговий вакуумний розряд стабільний і рівномірно сканує по довжині катода при струмі дуги ≥ 90 А. Для зменшення краплинних утворень у потоці, що розпилюється, меншого поверхневого перегріву мішені, мінімізації інтенсивності спонтанного випаровування Al процес розпилення необхідно вести при мінімальному струмі дуги. Швидкість осадження покриття зі сплаву NiCrAlY на виставлених

на каруселі виробів становить 2,1 мкм/год, оптимальна товщина шару покриття – 1,0–1,5 мкм.

Дослідження розпилення мішені з алюмінієвого катоду в середовищі реакційного газу (O_2) показали, що мікроелектродуговий вакуумний розряд є стабільним і рівномірно сканує по довжині катоду при струмі дуги ≥ 120 А. При тиску реакційного газу у камері 0,2 Па формується прозоре керамічне покриття з Al_2O_3 , що під час нарощування товщини інтерферує і має різні відтінки кольору. Швидкість осадження керамічного покриття при струмі дуги 130 А становить $\sim 2,3$ мкм/год. Час напилення шару становить не більш ніж 30 хв (притовщині шару близько 1 мкм), тому що при збільшенні часу відбувається стискання області експонування плями дугового розряду до середини довгомірної мішені і зростає неоднорідність товщини нарощування покриття.

Перед осадженням першого металевого шару покриття основу необхідно прогрівати при КІВ-обробці з подальшим осадженням адгезійноміцного підшарку. Температура пошарового осадження багатошарового покриття $NiCrAlY/Al_2O_3$ не перевищує 220 °С.

Досліджене пошарове нанесення метало-керамічного покриття $NiCrAlY/Al_2O_3$ на зразки зі сталі X18H9T і титану BT1. Відшарування покриття на зразках не спостерігалось. Аналіз структури багатошарового покриття на поперечних шліфах проводили методом растрової мікроскопії на растровому електронному мікроскопі ULTRA 55 з аналізатором XR спектрів ENERGY 350 (фірми ZEISS). Загальна товщина восьмишарового покриття становила ~ 25 мкм, архітектура покриття – з приблизно однаковою товщиною шарів. Кожні з шарів покриття мають у своїй структурі крапельні утворення, які присутні в іонно-атомно-кластерному розпилюваному потоці. Крапельні утворення також добре видно і на поверхні восьмишарового покриття $NiCrAlY/Al_2O_3$ і це питання поребує додаткового дослідження

У цілому, результати проведеного комплексу досліджень свідчать про перспективність розробки технології формування вакуумного металокерамічного багатошарового покриття.

*Букетов А.В., Юренін К.Ю., Стрельченко В.Ю.,
Рихтер М.О., Житник Д.В. Херсонська
державна морська академія, Херсон*

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Під впливом зовнішніх навантажень, особливо ударного характеру, відшаруються і розтріскуються покриття при експлуатації засобів водного транспорту. Для попередження вказаних негативних явищ доцільно конструювати багатошарові покриття з різних за хімічною природою волокон і тканин. Перспективним у цьому плані є комбінування шарів різного функціонального призначення з використанням тканин на основі органічних волокон, що активно взаємодіють з епоксидним зв'язувачем. При цьому застосування модифікаторів і дисперсних наповнювачів забезпечить ізотропні властивості «гібридних» епоксипластів, а використання тканин органічного походження різної природи дозволить суттєво підвищити експлуатаційні характеристики матеріалів у комплексі та додатково зменшити їх вартість порівняно з традиційними.

Як основний компонент для зв'язувача при формуванні композитів вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Як модифікатор використано використано 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонову кислоту. Для зшивання композицій використано твердник поліетиленполіамін (ТУ 6-05-241-202-78). Для поліпшення властивостей епоксидних композитів у зв'язувач вводили вводили мікродисперсні наповнювачі і органічні тканини. Як мікродисперсний наповнювач використано синтезовану титано-алюмінієву шихту ($d = 9\text{--}11$ мкм) наступного складу: Ti (75 %) + Al_3Ti (15 %) + Ti_3AlC_2 (10 %). При формуванні епоксипластів використовували бавовняну і лляну тканини.

У роботі зроблено наступне. Вперше досліджено вплив модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти на процеси структуроутворення епоксидного зв'язувача і встановлено, що в результаті введення добавки за оптимального вмісту поліпшуються у комплексі механічні, адгезійні і теплофізичні властивості матриці внаслідок активації до хімічної взаємодії значної кількості бокових гідроксильних та епоксидних груп епоксидного олігомеру, а також гідроксильних, карбоксильних груп та первинних амінів модифікатора. У такому випадку максимально

збільшуються показники гель-фракції розроблених матеріалів, що відповідно забезпечує поліпшення їх властивостей.

Обґрунтовано закономірності впливу мікродисперсного наповнювача синтезованої порошкової титано-алюмінієвої шихти (Ti (75 %) + Al_3Ti (15 %), Ti_3AlC_2 (10 %)) ($d = 9\text{--}11$ мкм) на властивості композитів і встановлено, що введення його у епоксидний зв'язувач за критичного вмісту ($q = 0,25\text{--}0,50$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20) забезпечує формування матеріалів з високими показниками механічних характеристик за рахунок інтенсифікації міжфазової взаємодії при формуванні тривимірної сітки полімеру під час гелеутворення систем.

Вперше доведено поліпшення стабільності властивостей композитів за наявності мікродисперсної синтезованої порошкової титано-алюмінієвої шихти в умовах впливу статичних навантажень внаслідок збільшення інерційності релаксаційних процесів під час термічного оброблення композитів, що передбачає перегрупування надмолекулярних наноструктур у зовнішніх поверхневих шарах матриці навколо часток наповнювача, а для руйнування фізичних і хімічних зв'язків необхідні більші затрати зовнішньої енергії.

Встановлено, що введення у комплексі інгредієнтів у вигляді модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти та дисперсних часток синтезованої титано-алюмінієвої шихти сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення композитів. Це зумовлено наявністю активних центрів у вигляді Al_3Ti і Ti_3AlC_2 на поверхні дисперсної фази і карбонільних $\text{C}=\text{O}$, карбоксильних COOH - та гідроксильних -OH - груп, а також бокових груп первинних амінів -NH_2 у хімічній структурі модифікатора. Взаємодія таких активних центрів і груп із сегментами та боковими групами епоксидного олігомеру забезпечує поліпшення когезійної міцності епоксикомпозитів, що передбачає зменшення показників повзучості вже на початкових етапах статичних навантажень.

Доведено, що використання «гібридних» композитів забезпечує синергетичний ефект у поліпшенні властивостей матеріалів, оскільки вони поєднують дисперсний і волокнистий наповнювачі. Використання дисперсних і активних до міжфазової взаємодії часток покращує ізотропні властивості композитів на мікрорівні, тоді як застосування армуючих добавок у вигляді тканин передбачає анізотропію матеріалів на макрорівні, що зумовлює підвищення показників повзучості композитів.

Висновок. У результаті виконання роботи розроблено технологію формування і запропоновано конструкцію захисного «гібридного» покриття за рахунок поєднання бавовняної тканини з поліпшеними демпфуючими властивостями у вигляді проміжного шару (у нашому випадку 1-го) і лляної тканини з підвищеними показниками зносостійкості у вигляді поверхневого функціонального шару (у нашому випадку 2-го), який виконує основні захисні функції у вигляді протидії впливу абразивних часток при гідроударі. Такий підхід дозволяє максимально знизити проникнення гідроабразивної суміші у об'єм поверхневого шару покриття внаслідок незначного руйнування лляної тканини (у результаті її підвищеної зносостійкості) і значних демпферних властивостей бавовняної тканини.

Bukovskyi O.M., Vysloukh S.P. National Technical
University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", Kyiv

FORMATION OF ADAPTIVE ALGORITHMS FOR MONITORING THE PARAMETERS OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS

In modern instrumentation, quality control of interconnects during their manufacture is an important task that ensures the reliability and safety of electronic systems. With the rapid development of technology and increasing performance requirements for electronic devices, controlling critical parameters such as electrical conductivity, insulation resistance, and circuit integrity is becoming an integral part of the manufacturing process. Monitoring these characteristics at the manufacturing stage reduces the likelihood of untimely detection of defects, which in turn has a positive impact on the quality of the final product [1].

The formation of adaptive algorithms for monitoring the parameters of interblock electrical connections is a necessary stage in the development of an automated system for their control. The main goal of this stage is to create algorithms that provide dynamic adaptation to changing production conditions, increase control accuracy, and eliminate the influence of the human factor. This, accordingly, contributes to an increase in the overall productivity and quality of cable and wire products [2].

Adaptive algorithms are designed to solve three main tasks: noise filtering; parameter estimation; and material detection. Noise filtering provides cleaning of measured signals from random and correlated interference that may occur due to electromagnetic noise, temperature fluctuations, or mechanical impacts. It has been established that the adaptive algorithms LMS (Least Mean Squares) and RLS (Recursive Least Squares) are extremely effective for noise filtering [3]. The LMS algorithm is simple to implement and allows for quick adaptation to changes in signal characteristics, while the RLS provides high stability when processing correlated data.

When evaluating parameters in the process of determining insulation resistance, circuit continuity, electrical conductivity, and breakdown voltage, high accuracy (more than 95%) is required in real time. Adaptive LMS and RLS algorithms not only provide accurate measurements, but also allow their parameters to change in accordance with current conditions, which makes it possible to control in conditions where the characteristics of connections can vary significantly.

The task of anomaly detection includes the identification of deviations from the standard values, for example, insulation resistance of less than 50 M Ω . With the help of adaptive algorithms, it is possible to receive timely warnings to the operator about potential problems, which helps to avoid damage and guarantees the stable operation of the control system.

The process of forming adaptive algorithms involves analyzing data that will be used to make decisions in control systems. In particular, data coming from sensors must undergo primary processing to remove noise. After that, parameter estimation operations are performed, which makes it possible to detect anomalies in electrical connections. Thus, the algorithms ensure that the control results are clear and prompt.

Another important task is to integrate algorithms with hardware modules that perform measurements. Choosing the right hardware is critical to ensuring measurement accuracy and speed. Hardware components must be compatible with software algorithms to ensure uninterrupted system operation and timely data acquisition.

The introduction of automated control systems involves the use of another technology – real-time monitoring of electrical connection parameters. Accordingly, the development of adaptive algorithms involves ensuring high data processing speed (no more than 50 ms per cycle) and measurement reliability, which allows for prompt monitoring of the quality of connections and detection of their defects.

The development of adaptive algorithms involves choosing a model for assessing the state of connections. The LMS and RLS filtering algorithms provide the ability to reduce the impact of external and internal factors on the control results. For example, when filtering noise, the LMS algorithm uses the mean square error in the correction mode to optimize its weights, and the RLS algorithm adjusts them for correlated signals, which increases its accuracy in the long run.

Thus, the formation of adaptive algorithms for monitoring the parameters of interconnection electrical connections opens up new opportunities in control automation. This approach can significantly improve the quality and safety of cable and wire products, reducing the likelihood of errors during the inspection process. Automation of control processes at the final stage of product manufacturing not only ensures its high accuracy but also helps to reduce the costs associated with the return or repair of defective products, which in turn increases the market competitiveness of enterprises. By integrating adaptive solutions, it is possible to achieve not only technological but also economic efficiency, supporting the development of high technologies in the field of instrumentation.

Literature

1. Bukovskyi O. M., Vysloukh S. P. Automation of the Process of Monitoring the Parameters of Interblock Electrical Connections // Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2024. – № 331.1. – P. 325–329.
2. King M. S., Iannello C. J. Evaluation of Cable Harness Post Installation Testing // NASA Technical Reports Server. – 2011. – 48 p.
3. Bukovskyi O. M., Vysloukh S. P. Efficiency of Adaptive Algorithms for Controlling the Parameters of Interblock Electrical Connections // Perspective Technologies and Devices. – 2024. – T. 1, № 25. – P. 7–11.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-ІГРОВИХ АЛГОРИТМІВ КОМПЕНСАЦІЇ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ НА ТОЧНІСТЬ НАВЕДЕННЯ БПЛА НА МАНЕВРЕНУ ЦІЛЬ

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють ключову роль у промислових і транспортних задачах, зокрема в операціях, що вимагають точного наведення на маневрені цілі. Однак робота таких систем ускладнюється впливом зовнішніх збурень, які можуть мати як детермінований, так і випадковий характер із невідомими статистичними властивостями. Ефективність наведення значною мірою залежить від якості стабілізації нормального перевантаження БПЛА, що потребує розробки нових підходів до управління [1].

Проблема стабілізації перевантаження БПЛА в умовах збурень є актуальною через складність прогнозування їхнього впливу на траєкторію польоту. Традиційні методи управління, як-от стохастичні чи адаптивні, не завжди забезпечують достатню точність, особливо коли статистичні характеристики збурень невідомі.

У цьому контексті диференціально-ігровий підхід пропонує перспективне рішення, адже дозволяє враховувати як дії системи управління, так і протидію зовнішніх факторів у реальному часі [2].

Щоб детально дослідити цей підхід, ми математично моделювали рух БПЛА та цілі, а також до аналізували результати із використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

У рамках дослідження розглянуто задачу наведення БПЛА на маневрену ціль, рух якої описується системою диференціальних рівнянь.

Кутова швидкість лінії візування цілі визначається такими виразами:

$$\begin{aligned}\frac{d\varphi}{dt} &= \frac{1}{r} [V_{1f} \sin(\theta_{1f} - \varphi) - V \sin(\theta - \varphi)]; \\ \frac{dr}{dt} &= V_{1f} \cos(\theta_{1f} - \varphi) - V \cos(\theta - \varphi),\end{aligned}$$

де r – похила дальність до цілі, V_{1f} – швидкість цілі, θ_{1f} – кут нахилу вектору швидкості цілі, V – швидкість БПЛА, θ – кут нахилу траєкторії БПЛА, φ – кут лінії візування.

Наведення реалізовано за методом пропорційної навігації з коефіцієнтом пропорційності $k_n = 3$.

Для компенсації зовнішніх збурень у контурі стабілізації перевантажень запропоновано диференціально-ігровий алгоритм синтезу управління [3].

Цей алгоритм передбачає введення додаткового управляючого сигналу, який враховує обмеження на управління БПЛА $u_{\max} = 20$ та збурення $\xi_{\max} = 0,1$. Ефективність підходу оцінювалася за допомогою програмного комплексу Stabilizacia, розробленого на мові Object Pascal у середовищі Delphi.

Комплекс дає змогу моделювати різні сценарії, зокрема задавати програми руху цілі, як-от:

$$\alpha_{\text{ц\acute{e}л\acute{i}}}(t) = \alpha_{\max} \cdot \sin(6,28t), \text{ де } \alpha_{\max} = 0,436;$$

$$\alpha_{\text{ц\acute{e}л\acute{i}}}(t) = \begin{cases} \alpha_{\max}, & 0 \leq t < T_1 \\ 0, & t \geq T_1 \end{cases}$$

а також типи збурень, наприклад, гармонічне $\xi(t) = \xi_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ чи найгірше можливе $\xi(t) = \xi_{\text{worst}}$

Моделювання проводили для гіпотетичного БПЛА, аналогічного зенітно керованій ракеті «Patriot», із такими характеристиками: довжина $l = 5,3$ м, маса $m = 395$ кг, площа найбільшого поперечного перерізу $S = 0,13$ м², початкові умови: $V(0) = 1700$ м/с, $y(0) = 8000$ м.

Результати моделювання демонструють порівняння промаху з компенсацією збурень J_1 і без неї J_2 .

Наприклад, для програми руху гармонічне $\alpha(t) = \alpha_{\max} \cdot \sin(6,28t)$ і збурення гармонічне $\xi(t) = \xi_{\max} \cdot \sin(100t)$ промах зменшився з $J_2 = 5,7$ м до $J_1 = 4,5$ м.

Динаміку нормального перевантаження при і гармонічне $\xi(t) = \xi_{\max} \cdot \sin(100t + \varphi)$ в контурі стабілізації ілюструє залежність, яка порівнює поведінку базового контуру (без компенсації) та модифікованого контуру з диференціально-ігровим алгоритмом.

Аналіз результатів моделювання свідчить, що модифікований контур швидше стабілізує перевантаження (N_y), зменшуючи коливання, що сприяє підвищенню точності наведення (рис. 1). Це підтверджує переваги використання диференціально-ігрового підходу в умовах невизначеності.

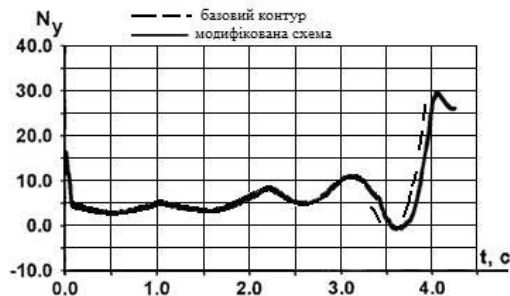


Рис. 1 – Залежність нормального перевантаження (N_y) в процесі наведення БПЛА, t – час (с)

Запропонований диференціально-ігровий алгоритм компенсації збурень у контурі стабілізації перевантаження БПЛА забезпечує суттєве підвищення точності наведення на маневрену ціль за методом пропорційної навігації.

Моделювання за допомогою програмного комплексу Stabilizacia показало, що промах зменшується на 30–50% залежно від типу збурення та характеру руху цілі.

Отримані результати відкривають можливості для вдосконалення систем управління БПЛА, які застосовуються в промисловості та на транспорті, особливо в умовах складних експлуатаційних сценаріїв.

Література

1. Bukovska D. V., Antoniuk V. S. Osoblyvosti puskovykh ustanovok dlia bezpilotnykh litalnykh apparativ // Збірник праць XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні"; 20-21 грудня 2023 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — С. 86-88.
2. Arjomandi M., Agostino S., Mammone M., Nelson M., Zhou T. Classification of Unmanned Aerial Vehicles. — Adelaide, Australia: The University of Adelaide, 2006.
3. Lu Gan, et al. An architecture decomposition method of pneumatic catapult system based on OPM and DSM // Chinese Journal of Aeronautics. — 2023.

СУЧАСНА МОЖЛИВІСТЬ ПОКРАЩЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН КООРДИНАТНО- ВИМІРЮВАЛЬНИМИ МАШИНАМИ

Для якісної механічної гібридної обробки виробів зараз застосовуються сучасні засоби, які вже використовують різучі інструменти та засоби вимірювальної техніки [1]. В окремому обладнанні сучасної обробки вимірюються координати як в площині так і в просторі для визначення або контролю геометричних величин. На залізничному транспорті багато уваги приділяють координатному способу представлення як залізничних об'єктів на полігоні так і рухомих одиниць[2]. В зазначеній роботі контролюється положення рухомих одиниць в лінійному вимірі та вираховується безпечний інтервал попутного слідування. Такий підхід покращить якість експлуатації залізничного транспорту. Більш ретельно розглядається якість інформаційно-вимірювальних систем на залізничному транспорті в роботі [3]. Проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування на прикладі руху поїздів аналізуються в роботі [4] з підсиленням уваги на якість методик аналізу розрахунку електронних компонентів як апаратної реалізації керування проаналізовано в праці[5].

Приділяється дуже велика увага перегляду методик нормування та реалізації норм засобами програмного забезпечення з мінімальною або навіть нульовою зміною апаратної компоненти у інноваційних процедурах.

В роботі [6], автор піднімав питання перегляду методик нормування розрахунку надійності електронних компонентів автоматики, однак не торкається робота програмної реалізації інформаційно-вимірювальних компонентів спеціалізованих комп'ютерних систем залізничного транспорту.

В свою чергу, робота [7] присвячена розробці структури програмної реалізації мобільного додатка подорожувальника яка переконливо доводить, що є певна частина задач оптимізації або сервісу, які можливо реалізовувати не змінюючи апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальних функцій. Користуючись

тільки удосконаленими програмними компонентами та оновленими методиками з відповідними базами даних на їх основі, можливе підвищення параметричної якості подорожі. Аналогічно з зазначеними підходами пропонується удосконалення вимірювань геометричних величин тільки удосконаленням методик та обчислювальних методів. Особливо часто застосовується удосконалення через комплексне оновлення обладнання разом з програмним забезпеченням. Але, у випадках невеликого бюджету та несуттєвих змінах у роботі обладнання, є можливість наведена у доповіді про модернізацію тільки методики та програмного забезпечення. Це з однієї сторони дозволяє підвищити комплексну якість вимірювань та з іншої сторони не потребує великої кількості затрат, особливо при масштабному застосуванні координатно-вимірювальних машин з подібним обладнанням. Кадровий потенціал більшості підприємств самостійно може замінити програмне забезпечення для потреб однорідних підприємств, які використовують обмежені можливості обладнання. Саме на оптимізації під локальні задачі можливо розробити як методики удосконалення, програми моделювання так і програми функціонування відповідного обладнання. Саме така гіпотеза є основою для подальших досліджень в цьому напрямку удосконалення вимірювань.

Висновок. В роботі переконливо доведено, що одним з ефективнішим засобом удосконалення вимірювань для підвищення якості вимірювань геометричних величин є удосконалення методик та відповідна модернізація програмного забезпечення з використанням нових сучасних технологій. Особливо це видається перспективним на однотипному обладнанні, що масово використовується на підприємствах різних галузей економіки з метою покращення якості виробництва продукції.

Література

1. Salenko O., Klymenko S., Orel V., Kholodny V., Gavrushkevich N. Using the functional approach in the development of hybrid processes in engineering: theoretical base // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 41–55.
2. Moiseenko V., Golovko O., Butenko V., Trubchaninova K. Modeling of vehicle movement in computer information-control systems // *RADIOELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEMS*. – 2022. – С. 36–49. – DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2022.1.03>.

3. Якість інформаційно-вимірювальних систем на залізничному транспорті України // Зб. науков. праць. УкрДАЗТ. — Харків: УкрДАЗТ, 2008. — Вип. 99. — С. 151–155.

4. Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М., Головка О. В., Чуб С. Г. Проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування та регулювання руху поїздів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2020. — Т. 25, № 3. — С. 31–38. — ISSN: 2413-3833.

5. Бутенко В. М., Головка О. В., Чуб С. Г. Аналіз методик розрахунку надійності систем залізничної автоматики з електронними компонентами // Зб. науков. праць. УкрДУЗТ. — Харків: УкрДУЗТ, 2023. — № 204. — С. 115–124.

6. Бутенко В. М. Перегляд методик нормування розрахунку надійності електронних компонентів автоматики // Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: матеріали 24-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 24–26 вересня 2024 р. — Київ: АТМ України, 2024. — 144 с. — ISBN 978-617-581-644-8. — С. 32–34.

7. Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М., Соколов А. К., Яранцев В. Розробка мобільного додатку подорожувальника // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2024. — № 2. — С. 18–24. — ISSN: 2413-3833.

Виговський Г.М., Глембоцька Л.Є., Плисак М.М.
Державний університет «Житомирська
політехніка», Житомир

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧОГО РІЗАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА З СТАБІЛЬНИМ ПОЛОЖЕННЯ

Під час фінішної обробки торцевим фрезеруванням, різальні елементи (РЕ) входять/виходять із зони різання, викликаючи нерівномірне силове навантаження на технологічну систему (ТС). Коливання цих сил викликають змінні деформації ТС та різні величини відтиску різального інструменту від обробленої поверхні, що позначається на мікро- та макроеометрії оброблених поверхонь, тому виникаюча нестабільність осевого положення чистового РЕ буде копіюватися на обробленій поверхні. Застосування ступінчастого торцевого фрезерування, на відміну від звичайних процесів фрезерування, має можливість забезпечення чистового РЕ необхідною

геометрією та розташуванням. Разом з тим, нерухоме закріплення чистового РЕ призводить до того, що деформації корпусу фрези від підвищених сил різання на чорнових РЕ призводять до осьових деформацій та осьового переміщення чистового РЕ, що погіршує якість обробки. Тому виконання чистового РЕ в осьовому напрямі з пружним контактом з нерухомим копіром дозволяє формувати плоску поверхню відповідно до профіля копіра незалежно від сил різання, які будуть діяти на чорнові РЕ.

Метою роботи було дослідити розроблену конструкцію торцевої ступінчастої фрези, що оснащена НТМ при однозубому фрезеруванні сірого чавуну СЧ-21 (270 НВ) на якісні характеристики поверхневого шару, застосовуючи рухомий РЕ з контактом відносно копіру і нерухомо закріплений РЕ відносно корпусу фрези.

Торцева ступінчаста фреза (рис. 1) складається із корпусу 1, який закріплений на шпинделі 2 верстата гвинтами 3. У корпусі 1 фрези встановлені чорнові РЕ 4, що нерухомо закріплені гвинтами 5 відносно корпусу 1 фрези та розміщені за спіралями зі збільшенням вильотів відносно торця корпусу 1 фрези при зменшенні радіальних розташувань елементів. До нерухомої частини 6 верстата приєднаний гвинтами 7 копір 8. До копіра 8 пружиною 9, яка встановлена на рухомому чистовому РЕ 10, притиснутий підшипник 11, що встановлений на чистовому РЕ 10. Рухомий чистовий РЕ 10 у радіальному напрямі розміщений на найменшій відстані від осі фрези, а в осьовому напрямі з найбільшим вильотом по відношенню до нерухомих чорнових РЕ, що дозволяє забезпечити формоутворення обробленої поверхні чистовим РЕ 10, що пружно контактує під дією зусилля пружини 9 через підшипник 11 з копіром 8. Величина осьового переміщення чистового РЕ 10 залежить від висоти копіру 8 на ділянці процесу різання плоскої поверхні деталі.

В результаті проведеного експерименту, застосовуючи рухомий РЕ з контактом відносно копіру (рис. 2) на наступних режимах різання: швидкості обертання $V = 11,27$ м/с, подачі $S_z = 0,0156$ мм/зуб, глибини різання $t = 0,125$ мм, було отримано значення шорсткості поверхні $Ra\ 0,6$, відхилення від площінності $0,002$ мкм, для подачі $S_z = 0,039$ мм/зуб відповідно шорсткість поверхні становила $Ra\ 1,1$, відхилення від площінності $0,008$ мкм. Застосовуючи нерухомо закріплений відносно корпусу фрези РЕ на однакових режимах різання, було отримано значення шорсткості поверхні $Ra\ 1,3$, відхилення від площінності $0,01$ мкм для подачі S_z

= 0,039 мм/зуб відповідно шорсткість поверхні становила $Ra\ 2$, відхилення від площинності 0,006 мкм.

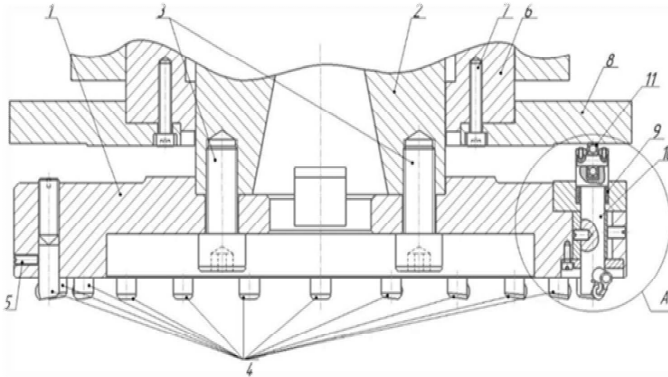


Рис. 1 – Конструкції торцевої ступінчастої фрези [1, 2]



Рис. 2 – Установка для проведення експерименту: 1 – копій; 2 – спроектована торцева ступінчаста фреза; 3 – рухомий РЕ з контактом відносно копіру; 4 – динамометр; 5 – заготовка СЧ-21; 6 – вертикально-фрезерний станок 6Р12

Література

1. Пат. № 158589 Україна, МПК В23С 5/06 (2006.01). Торцева ступінчаста фреза / Виговський Г. М., Балицька Н. О., Глембоцька Л. Є., Мельник О. Л., Плисак М. М., Громовий О. А. – № U 2024 03433; заявл. 01.07.2024, опубл. 26.02.2025, Бюл. № 9.

2. Виговський Г. М., Плисак М. М., Глембоцька Л. Є., Голубовський А. В. Удосконалення конструкції торцевої ступінчастої фрези для фінішної обробки плоских поверхонь деталей // Технічна інженерія. – 2024. – Вип. 1(93). – С. 45–51. – DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-45-51](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-45-51).

ГАРЯЧЕПРЕСОВАНА КЕРАМІКА ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ КАРБІДІВ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК

Серед сучасних матеріалів важлива роль кераміки обумовлена широким діапазоном її фізичних та хімічних властивостей. Багатофункціональність кераміки дає можливість її використання у різних сферах діяльності – від техніки до медицини.

Гетерофазну структуру кераміки на основі карбіду бору отримували шляхом введення в склад вихідної шихти компонентів іншої фази, що є ефективним способом підвищення її міцності та тріщиностійкості. В таких матеріалах реалізується декілька механізмів збільшення в'язкості руйнування за рахунок зміни в характері поширення тріщин, обумовленої присутністю другої фази.

В експериментах по отриманню гетерофазної кераміки на основі порошків B_4C використовували порошки технічного карбіду бору. Виконані рентгенівські дослідження вмісту вуглецю в порошках B_4C у вільному та зв'язаному стані, які свідчать, що вміст вуглецю у вільному стані може сягати 5%мас., а зв'язаного – 21,5% ат. Нами було встановлено, що хімічний склад партії карбіду бору відрізняється, як загальним вмістом вуглецю в широкому діапазоні, так і у вільному стані. Проведений цикл експериментальних робіт по відпрацюванню процесу диспергування порошків B_4C до мікронного розміру показав, що застосування планетарного млина найбільш ефективно впродовж перших двох годин процесу.

Вибрано склад шихти для отримання кераміки на основі карбіду бору. В якості активуючої процес спікання добавки застосовували оксиди TiO_2 , ZrO_2 та Cr_2O_3 , які як домішки вводили в склад шихти до 30%об, при цьому, оптимальною є кількість не більше 15% об. Процес гарячого пресування здійснювали на установці СПД-120 в графітових прес-формах при питомому тиску $p = 20\text{--}25$ МПа в діапазоні температур 1800–2100 °С і тривалості ізотермічної витримки 15 хв. В процесі реакційного спікання під тиском в результаті взаємодії між карбідом бору, оксидами і вуглецем утворювались керамічні матеріали складу $B_4C\text{--}TiB_2$, $B_4C\text{--}ZrB_2$, $B_4C\text{--}CrB_2$.

Досліджені структура та деякі фізико-механічні властивості зразків кераміки на основі чистого B_4C та гетерофазного складу показали, що однофазна кераміка на основі карбіду бору має неоднорідну пористу структуру, що обумовлено нерівномірним ростом зерен в процесі збиральної рекристалізації, і має порівняно низькі показники тріщиностійкості ($K_{IC} = 3,0\text{--}3,6 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$) та міцності ($\sigma_{зг} = 300\text{--}360 \text{ МПа}$), в той час як гетерофазна кераміка характеризується коефіцієнтом тріщиностійкості $K_{IC} = 5,1\text{--}5,8 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ і міцності $\sigma_{зг} = 600\text{--}700 \text{ МПа}$.

В результаті проведених робіт було оптимізовано склад та технологічні умови отримання кераміки поліфункціонального призначення на основі тугоплавких карбідів. Знайдено оптимальний набір перерахованих вище добавок, що активують процес формування керамічного матеріалу з однорідною дрібнозеренною структурою і рівномірним розподілом фаз, який забезпечує отримання необхідних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик композиційного матеріалу в залежності від його призначення.

Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В.
Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича, Київ

НОВІ НАПРЯМКИ ОТРИМАННЯ ВИСОКОМІЦНОЇ КЕРАМІКИ НА ОСНОВІ КАРБІДУ БОРУ ДЛЯ БРОНЬОВОГО ЗАХИСТУ

Карбід бору має широкий спектр застосування, в тому числі й для виготовлення захисних пластин для бронежилетів і техніки.

Жорсткий, спрямований ковалентний зв'язок в карбіді бору і, як наслідок, низька пластичність та високий опір ковзанню по межах зерен, аж до температур близьких до температури плавлення, при яких спостерігається сублімація карбіду бору, створюють виняткові труднощі при виготовленні матеріалів на основі карбіду бору. Як правило, це матеріали, отримані спіканням або гарячим пресуванням із застосуванням різних активуючих добавок. Систематичне дослідження процесів гарячого пресування порошків чистого та технічного карбіду бору (метод вуглетермічного відновлення в дуговій печі) показало, що інтенсивне ущільнення зразків відбу-

вається в дуже вузькій області передплавильних температур ($0,8-0,9 \cdot T_{пл}$). При цьому, основним механізмом перенесення маси слід вважати механізм активованого ковзання по межах зерен, що забезпечує ущільнення (80–90%) у початковий період ізотермічної витримки через анігіляцію. Подальше ущільнення протікає шляхом об'ємної самодифузії. При надзвичайно розвиненій сітці меж, у разі використання дисперсних порошків з великою кількістю дефектів, створених подрібненням, ці процеси активуються.

Як показали дослідження, порошки з розміром більше 8 мкм практично не спікаються, а при розмірі частинок менше 2 мкм можна отримувати вироби з пористістю $\sim 1\%$. Тому пошук шляхів одержання ультрадисперсних порошків є актуальним. У цьому відношенні перспективним є використання ультрадисперсних порошків, отриманих методом резонансно-вихрового подрібнення.

Головною відмінністю резонансно-вихрового методу є те, що в розробленій установці для реалізації процесу отримання порошків високотвердих матеріалів подрібненням за допомогою вказаного методу, в робочій камері відсутні механічні деталі, що обертаються і труться, тому при подрібненні матеріалів практично немає зносу матеріалу камери і «намолу» сторонніх домішок. Використання установки забезпечує отримання чистих подрібнених порошків нанодисперсного діапазону для формування гарячепресованої кераміки з дрібнокристалічною зерненою структурою та підвищеними фізико-механічними характеристиками.

*Волошин Д.І., Сайчук К.О. Український державний
університет залізничного транспорту, Харків*

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ШЛІФУВАННЯ РЕЙКИ З ХВИЛЕПОДІБНИМ ЗНОСОМ

При підвищенні ефективності та якості шліфування велика увага приділяється рейці з хвилеподібним зносом. Як відомо, тепловий ефект має величезний вплив на процес шліфування. Його вплив настільки великий, що шліфування, як таке, може практично припинитися. Це добре ілюструється на прикладі шліфування рейок закріпленими абразивними брусками, які використовуються як

інструмент на рейкошліфувальних поїздах з пасивним принципом дії робочих органів. Зняття металу рейкової сталі, за один прохід становить, в середньому, 0,01–0,02 мм, при дільничній швидкості 20–60 км/год. Закрита зона різання є причиною низької продуктивності та якості шліфування цього методу.

Зовсім інша картина спостерігається при шліфуванні абразивним кругом (активне шліфування), яке застосовується в деяких країнах. Зняття металу рейкової сталі за один прохід становить до 0,4 мм при дільничній швидкості до 6 км/год. Тепловий ефект при цьому значно менший в порівнянні з пасивним шліфуванням абразивними брусками, але його вплив також може викликати і припали, і мікротріщини, і декарбонізацію по поверхні шару рейкової сталі тощо.

Дослідження, проведені на абразивних прямокутних брусках з поперечними прорізами робочої поверхні, показали, наскільки важливу роль вони відіграють при шліфуванні плоскими брусками. Переривчастість, створена кількома поперечними прорізами, скоротила шлях викиду продуктів шліфування. Це покращило умови роботи абразивних зерен, знизило теплове насичення, підвищило працездатність абразивного інструменту.

Ефект зменшення теплового впливу ще більший при використанні переривчастого шліфування абразивними кругами. Температура поверхні шліфування переривчастим кругом на 30–40% нижче температури шліфування суцільним кругом. Вона не перевищує 800–850 °С, тоді як температура при шліфуванні суцільним кругом досягає 1000–1200 °С.

Найбільш перспективним для видалення хвилеподібного зносу рейок може бути використання високопродуктивного високоякісного виду обробки металів різанням – це стрічкове шліфування. Цей спосіб шліфування був обраний авторами для створення робочого органу нового типу рейково-шліфувальних поїздів. Його перевага перед іншими видами шліфування незаперечна. Цьому виду шліфування притаманні позитивні характеристики шліфування абразивних брусків і абразивних кругів. До переваг відносяться стабільність процесу різання, безперервна зміна робочої поверхні, високошвидкісні режими, можливість агрегації, управління та автоматизації процесу, безпека та надійність робочого циклу, забезпечення високої точності.

Особливо слід відзначити високу продуктивність стрічкового шліфування при виробництві операції плоского шліфування, яке

так необхідно для обробки поверхні катання головки рейок. Його продуктивність в 10–20 разів перевищує шліфування брусками і кругами, при цьому питомий зріз металу вище в 4–5 разів.

Встановлено, що переривчасте стрічкове шліфування не тільки підвищує продуктивність шліфування, але й стійкість абразивного інструменту, знижує споживану потужність і температуру в зоні різання, покращує якість оброблюваної поверхні, знижує витрати на матеріали і обробку.

Проведені дослідження показали, що при шліфуванні загартованих рейок твердістю до 400 НВ слід використовувати крейдиано-зернисті абразивні матеріали (зернистістю 40–80 мкм). Добре зарекомендували себе при шліфуванні бруски, виготовлені з електрокорунду нормального і білого при твердості С1–СТ2.

*Грязев О.В., Девін Л.М., Ричев С.В.,
Нечипоренко В.М., Міцкевич Е.І. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ*

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІВ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ (ПКНБ) ПРИ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Кубічний нітрид бору (КНБ) – синтетичний надтвердий матеріал, що має високу твердість, хімічну інертність і високу теплопровідність. Ці властивості роблять КНБ незамінним матеріалом у різних галузях промисловості, включаючи машинобудування, аерокосмічну галузь та виробництво високоточного вимірювального інструменту. КНБ широко застосовується для виготовлення різальних інструментів, що використовуються для обробки загартованих сталей, чавунів та інших матеріалів, що важко обробляються. Висока надійність інструменту з ПКНБ дозволяє підвищити продуктивність та точність обробки. Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації зразків з КНБ, а також для оптимізації технологічних процесів обробки необхідно вивчення його механічних властивостей як при статичних, так і при динамічних (ударних) навантаженнях. Статична міцність КНБ оцінюється з використанням таких методів, як випробування на стиск, вигин та визначення в'язкості руйнування.

При визначенні міцностних характеристик матеріалів завжди важливими є засоби та методи вимірювання і реєстрації експериментальних даних. Від цих засобів суттєво залежить обсяг і точність даних, а також зручність та швидкість їх обробки.

Для отримання даних про характеристики міцності матеріалів, під час статичного завантаження, в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України була створена автоматизована інформаційно-вимірювальна система (AIBC) дослідження процесу навантаження матеріалів на базі гідравлічного преса «PRESS-10T», блок-схема якої представлена на (рис. 1).



Рис. 1 – Блок-схема AIBC на базі гідравлічного преса

Тензорезисторний датчик (тензодатчик) складається із пружного елемента та тензометричного мосту (рис. 2). Для підсилення сигналу з тензомоста використовували розроблений нами тензопідсилювач (рис. 2).

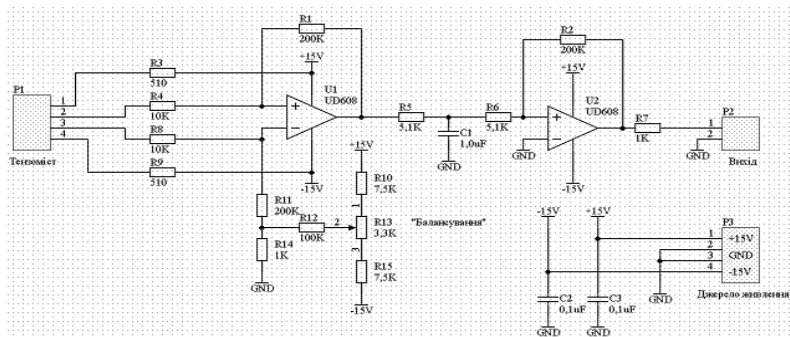


Рис. 2 – Диференціальний тензопідсилювач

Процес вимірювання руйнуючої сили в АІВС полягає у тому, що її вимірюють за допомогою тензодатчика, яка перетворюється в електричний сигнал, який через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) ADA-1406 (з частотою $f = 350$ кГц), у цифровому вигляді подається на ПК, де із застосуванням програмного комплексу «PowerGraph» [1], відбувається реєстрація та обробка даних.

Гідропрес «PRESS-10T» дозволяє створювати навантаження силою до 100 кН з точністю, яка контролюється еталонним динамометром ДС-5. Тому АІВС дає змогу отримати достовірні дані для визначення характеристик міцності, а також швидко їх обробляти.

Для забезпечення надійної експлуатації виробів з ПКНБ, необхідно детальне вивчення його механічних властивостей, особливо при впливі динамічних навантажень.

Для визначення та аналізу динамічних характеристик міцності ПКНБ, а також виявлення особливостей його поведінки в умовах високошвидкісного навантаження, в ІНМ використовується високошвидкісна установка «копер» (рис. 3, а) з електромагнітним прискорювачем (гармата Гауса) [2], яка працює на основі вимірювальних стрижнів Гопкінсона-Кольського [3]. Ця установка дозволяє вимірювати енергію руйнування, реєстрацію параметрів удару, з використанням високошвидкісного аналого-цифрового перетворювача АЦП Е20-10. Сила удару на цій установці може досягати понад 50 кН.

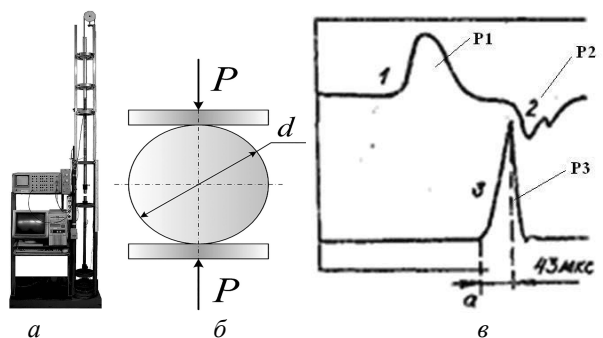


Рис. 3 – Установка «копер» (а); схема випробувань зразка (б); хвилі, що реєструються (в)

На установці «копер» одержують імпульси деформації (рис. 3, в) в мірних стрижнях прямої хвилі (1), відбитої (2) і той, що пройшла через зразок (3). Наприклад, схема випробувань зразка при

діаметральному стисканні показана на рис. 3, б. Між двома стрижнями однакового діаметру розміщують зразок з досліджуваного матеріалу товщиною t . В момент удару бойка по плоскому торцю верхнього стрижня, в ньому збуджується пружна хвиля стискання. Плоска пружна хвиля стискання переміщається по стрижню зі швидкістю звуку.

Межу міцності при розтягуванні σ_p^{dc} визначають по формулі

$$\sigma_p^{dc} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot t},$$

де P – руйнівне навантаження; d і t – діаметр та товщина диска.

Таким чином, при динамічних випробуваннях зразків з ПКНБ, в залежності від методу навантаження, можна визначати такі силові характеристики, як: міцність під час розтягування, стиснення або згинання, тріщиностійкість.

Результати дослідження дозволяють глибше розуміти динамічну поведінку ПКНБ за ударних навантажень. Отримані дані можуть бути використані для:

- оптимізації параметрів технологічних процесів обробки ПКНБ, таких як шліфування та різання, з метою підвищення якості та довговічності виробів;
- розробки нових марок КНБ з покращеними характеристиками;
- прогнозування надійності та довговічності виробів із КНБ, що працюють в умовах ударного навантаження.

Дослідження статичних і динамічних властивостей кубічного нітриду бору (КНБ) дозволяє виявляти взаємозв'язок між мікроструктурою матеріалу та його характеристиками міцності.

Література

1. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). — 2008. — № 3. — С. 24–26.
2. Devin L. N. Peculiarities of Determining the Physico-Mechanical Characteristics of Brittle Materials on Small-Sized Specimens // Strength of Mat. – 2018. – Vol. 50. – P. 909–917.
3. Новиков Н. В., Девин Л. Н., Иванов С. А. Силоизмерительное устройство для динамических испытаний материалов // Завод. лаб. – 1980. — № 7. — С. 65–67

ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЧАСУ СПІКАННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІВ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

Для оцінки експлуатаційних характеристик, таких як надійність, важливе значення мають модуль пружності та межа міцності. 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].

Для дослідження було виготовлено партію зразків з кубічного нітриду бору і алмазного порошку (шихта зі вмістом алмазу 5%), технологію отримання яких описано в [2, 3]. В процесі спікання переважали реакції в системі cBN-Al , а в продуктах реакції був відносно високий вміст AlN і AlB_2 [3, 4]. Отримання зразків проходило в три стадії: холодне пресування при $p = 2,5$ ГПа, $T = 300$ К, потім відбувалося попереднє просочування алюмінію під тиском, що знаходиться в шихті при $p = 2,5$ ГПа, $T = 1200$ К, $\tau = 40$ с. Завершальне спікання проходило при $p = 4,2$ ГПа, $T = 1750$ К, час τ варіювався для кожного зразка від 1 до 7 хв.

В роботі ми використовували вимушені коливання дискових зразків малих розмірів, в яких збуджували коливання змінної частоти і фіксували частоти, при яких в зразку виникав 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) 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 на зразках малих розмірів розглянуто в [5]. Невеликі розміри характерні для зразків з полікристалів надтвердих матеріалів

Для визначення резонансних частот власних коливань використовували стійку приладу "Звук-107" [1] (рис. 1, а), між опорами якої (збудником та приймачем коливань) розміщували дослідні зразки. Для підсилення потужності сигналу синусоїдальної форми на виході генератора 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 фіксували резонансні піки.

Для оцінки міцності при динамічному навантаженні використовували копер на базі мірних стрижнів Гопкінсона-Кольського (рис. 1, б) [5], руйнуючу силу реєстрували за допомогою АЦП Е20-10 та записували на комп'ютер в програмі PowerGraph [6].

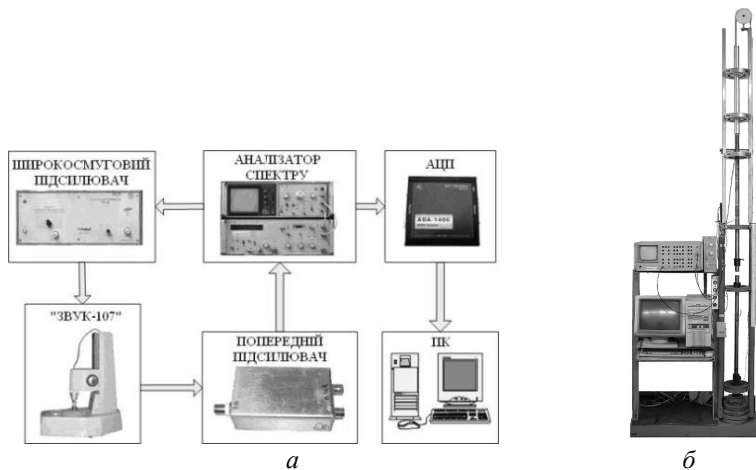


Рис. 1 – Блок – схема системи вимірювання логарифмічного декременту коливань δ та модуля пружності E (а) та установка для динамічних досліджень кераміки та ПНТМ (б)

Після проведених досліджень були отриманні величини добротності Q , логарифмічного декременту коливань δ , модуля пружності E , швидкості звуку c , а також межі міцності при розтягу в залежності від часу спікання (рис. 2)

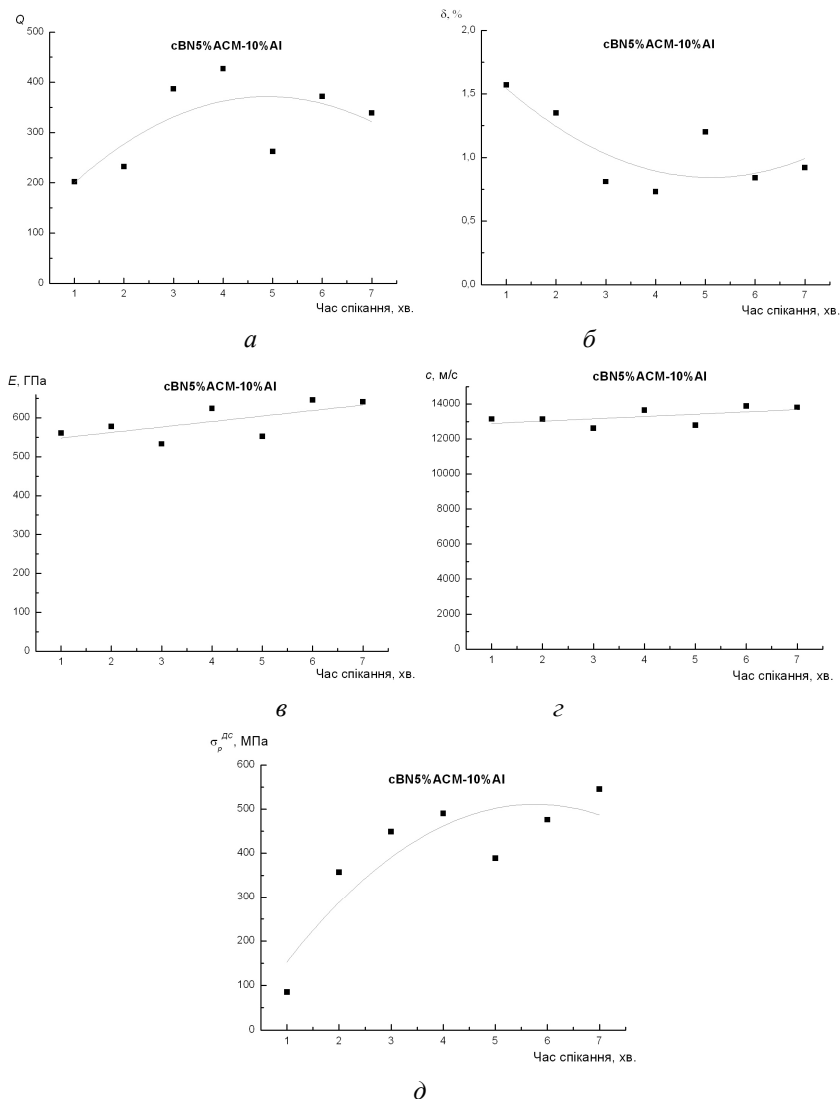


Рис. 2 – Залежності добротності Q (а), логарифмічного декременту коливань δ (б), модуля пружності E (в) та швидкості звуку c (г) та межі міцності на розтяг при діаметральному стиску (д) від часу спікання зразків

Як видно з отриманих залежностей (рис. 2), час спікання суттєво впливає на фізико-механічні характеристики зразків. Так межа міцності на розтяг (рис. 2, *д*) для зразків спечених з $\tau = 1$ хв. майже в 5 разів нижча ніж для зразків спечених при $\tau = 5$ хв., подальше збільшення часу спікання не так суттєво впливало на значення межі міцності. Проаналізувавши в цілому фізико-механічні характеристики зразків можна зробити загальний висновок, що оптимальний час спікання τ знаходиться в межах 4 – 5 хв, так як подальше його збільшення не суттєво впливає на значення модуля пружності, межі міцності та декременту коливань.

Література

1. Глаговский Б. А., Московенко И. Б. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1997. – 208 с.
2. Devin L. M., Bezhenar M. P., Rychev S. V. Specific Features of Measuring the Elasticity Modulus and the Decrement of Oscillations in Superhard Material Polycrystals by the Dynamic Method // J. of Superhard Mat. – 2023. – Vol. 45. – № 4. – P. 249–254.
3. Беженар М. П., Божко С. А., Біловина Н. М., та ін. Фазовий склад композитів, отриманих реакційним спіканням в системі кубічний нітрид бору-алмаз-алюміній при високому тиску // Сверхтв. мат. – 2007. – № 6. – С. 27–37.
4. Беженар М. П., Нагорний П. А., Боженко В. Н. Твердость и абразивная стойкость керамики на основе кубического нитрида бора и возможности их повышения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. трудов. – Вып. 7. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2004. – С. 164–168.
5. Devin L. N. Peculiarities of Determining the Physico-Mechanical Characteristics of Brittle Materials on Small-Sized Specimens // Strength of Mat. – 2018. – Vol. 50. – P. 909–917.
6. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). — 2008. – № 3. – С. 24–26.

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ЙМОВІРНІСТЬ РУЙНУВАННЯ РІЗЦІВ З НИХ ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ШХ15

Полікристалічні надтверді матеріали інструментального призначення на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) мають високу твердість, термостійкість, теплопровідність і більшу хімічну інертність до залізвуглецевих сплавів, ніж алмазні полікристали. Такі властивості ПКНБ, особливо групи ВН (з високим вмістом КНБ) зумовлюють їх ефективне застосування при обробці загартованих сталей [1, 2].

Високі швидкості різання призводять до зростання коливань, що при токарній обробці сприяє появі в зоні різання вібрацій, 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 середньоквадратичні відхилення (СКВ), які виникають на гранях різця.

В даній роботі були досліджені дві партії полікристалів кубічного нітриду бору групи ВН, які відрізнялись питомою поверхнею вихідної шихти S (табл.1). Спікання проводили в сталевому апараті високого тиску “ковадло з заглибленням” з діаметром лунки 40 мм [4] при тиску 4,2 ГПа і температурі 1700 К. Вихідний порошок – кубічний нітрид бору марки КМ зернистістю 3/2 виробництва концерну «АЛКОН» НАН України і порошок алюмінію марки АСД (фракція 40). Зміною зернистості порошоків намагались впливати на питому поверхню вихідної шихти (табл. 1). В якості вихідної шихти використовували два варіанти суміші: 1 – КМ 3/2 + Al – 40 (9:1); 2 – КМ 3/2 + КМ 60/40 + Al – 40 (7:2:1).

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 ШХ15 твердістю 55–60 HRC.

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

Номер партії	Питома поверхня вихідної шихти S , м ² /г	Фазовий склад композитів	Твердість по Кнупу, ГПа	Міцність під час розтягування, R_m , МПа	СКВ міцності
1-004	2,80	87% cBN+13% AlN	25	357	52
2-024	2,20	87% cBN+13% AlN	26	487	63

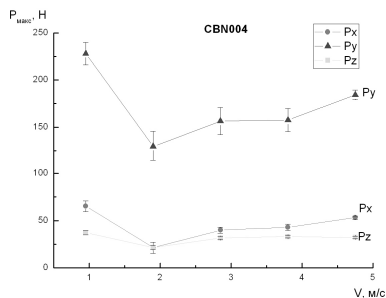
Випробування різців з КНБ при точінні здійснювали на автоматизованому стенді на базі токарного верстата високої точності ТПК-125ВМ [6]. Складові сили різання вимірювали за допомогою універсального динамометра УДМ-100 із записом інформації на комп'ютер за допомогою АЦП АДА 1406 під керуванням пакету Power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

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

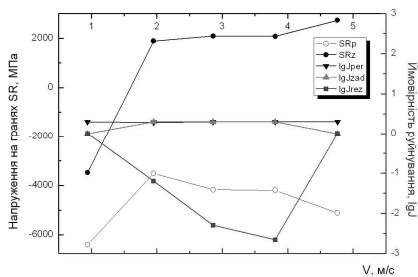
Результати вимірювання максимальних складових сил різання для зразка 1-004 наведені на рис. 1, *а*. Видно, що зі збільшенням швидкості різання v всі складові сили різання P зменшуються в діапазоні швидкостей від 1 до 2 м/с. Це пов'язано зі збільшенням температури при збільшенні швидкості різання, за рахунок зменшення меж міцності і текучості оброблюваного матеріалу. Збільшення сил різання в діапазоні 2–5 м/с може бути пов'язано зі збільшенням вібрацій в процесі інтенсифікації режимів обробки загартованої сталі ШХ15. Однак з рис. 2, *б* видно, що при цьому ймовірність руйнування різця J_{rez} збільшується при швидкості різання більше 4 в/с.

Це можна пояснити зміною напружень SR на гранях різця, наведене на рис. 1, *б*. Видно, що напруження на передній поверхні SR_p є стискаючими і мало залежать від швидкості різання. Однак на задній грані S_{Rz} стають розтягуючими і зростають від -3478 до 2721 МПа зі збільшенням швидкості різання v . Це призводить до збільшення ймовірності руйнування J_{rez} .

Аналогічне зниження складових сил різання мало місце і для зразків партії 2-024. Однак із рис. 2, *а* видно, що для зразків партії 2-024 ймовірність руйнування різця J_{rez} невисока та зменшується з ростом швидкості різання.

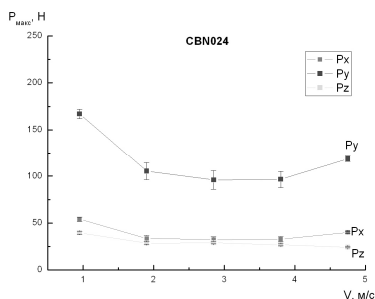


a

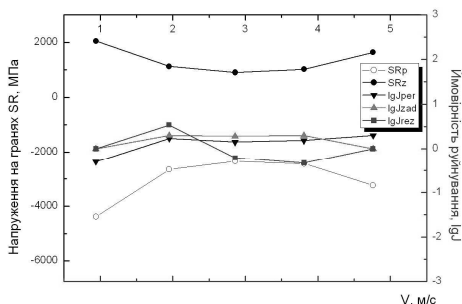


б

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



a



б

Рис. 2 – Вплив швидкості різання v зразка 1 - 024 на максимальні сили (P) (*a*) та на ймовірність руйнування (lgJ) і максимальні напруження на передній (SRp) і задній (SRz) поверхнях різця (*б*)

Це пов'язано з тим, що напруження розтягу SRz на задній поверхні різців 2-024 менше (від 1632 до 2043 МПа), ніж для різців 1-004 (від 1888 до 2700 МПа), а міцність пластин ($Rm = 487$ МПа), навпаки, більше, ніж для партії зразків 1-004 ($Rm = 356,5$ МПа).

Встановлено, що зі збільшенням швидкості різання величини складових сил різання зменшуються в діапазоні від 1 до 2 м/с, але при цьому на задній 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 $S = 2,80$ м²/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. Пластини такого складу не бажано застосовувати при обробці загартованої сталі ШХ15 твердістю 55–60 HRC.

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. Тимошенко, 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., Ричев С.В., Тищенко Н.Є. Інститут
надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ

ДІАГНОСТИКА СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Для діагностики стану різця в процесі обробки необхідно знати напруження в найбільш навантажених частинах різального клину. Для цього потрібно вимірювати сили різання або ж використовувати

ти емпіричні залежності, які дуже приблизні, а крім того для їх використання необхідно провести дуже багато експериментів [1].

Значно простіше вимірювати вібрації, які виникають під час різання. Вони теж пов'язані з процесами в зоні. Але всі ці процеси дуже взаємозв'язані і встановити прямі зв'язки сил різання з параметрами вібрацій не вдається. Тому в даній роботі зроблена спроба оцінити складові сили різання по вібраціям при точінні загартованої сталі ШХ15 твердістю 55–60 HRC різцями з 5-ма полікристалічними матеріалами з на основі кубічного нітриду бору [2]. Для цього ми використали штучну нейронну мережу, попередньо навчену на експериментальних даних, отриманих на автоматизованій системі дослідження процесів різання в Інституті надтвердих матеріалів НАН України.

Останнім часом багато авторів використовували штучні нейронні мережі під час моделювання процесів механічної обробки. В роботі [3] із застосуванням штучних нейронних мереж було визначено знос різця з алмазно-твердосплавних пластин та шорсткість обробленої поверхні поршнів двигуна внутрішнього згоряння з силумінового сплаву. Методика включала реєстрацію сигналів акустичної емісії із зони різання, виділення обвідної АЕ з первинного сигналу, розкладання її в спектр із застосовуванням згладжування на часовому інтервалі тривалістю 2 с. Похибка визначення значень зносу різця у порівнянні з безпосередніми вимірами на мікроскопі «МБС-10» не перевищувала 6%.

Проблема дослідження процесів різання полягала в необхідності запису інформації від декількох датчиків одночасно. Як мінімум, це три складові сили різання та вібрації. Це потребує використання багатоканальної вимірювальної системи. Крім того, процес різання є швидкодіючим, а значить для запису таких сигналів потрібні швидкодіючі аналого-цифрові перетворювачі (АЦП). Нами ця проблема була вирішена у програмному продукті PowerGraph. Блок-схема автоматизованої вимірювальної системи наведено на рис. 1.

Система складається з токарного верстата підвищеної точності ТПК-125ВМ, 3-компонентного динамометра УДМ100, тензостанції «Топаз», акселерометра KD 35a німецької фірми Metra Messund Frequenztechnik, розробленого нами узгоджувального підсилювача і АЦП ADA 1406 фірми «ХОЛІТ ДейтаСистемс». Управління АЦП також здійснювали у програмному пакеті PowerGraph. Цей пакет у комплекті з платою АЦП дозволив записувати сигнал з 4-х каналів із частотою опитування 5 кГц. Було досліджено п'ять партій полік-

ристалів кубічного нітриду бору, які відрізнялись питомою поверхнею вихідної шихти $S_{ш}$ (табл.1). Властивості кожного з матеріалів КНБ наведені в таблиці 1. Зі зразків було виготовлено квадратні ($SNUN$) різальні пластини, які механічно закріплювали в державці різця. Геометричні параметри різця: передній кут $\gamma = 10^\circ$; задній кут -10° , кут у плані -45° .

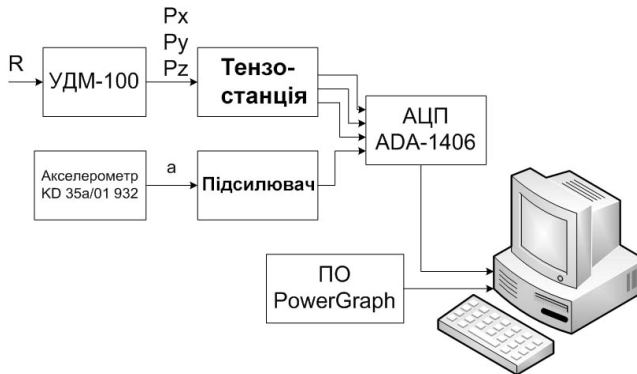


Рис. 1 – Блок-схема автоматизованої вимірної системи

Режими різання: глибина $t = 0,1$ мм; подача $S = 0,1$ мм/об. Швидкість різання V змінювали від 0,95 до 4,74 м/с. Оброблювальний матеріал – загартована сталь ШХ15 твердістю 59–60 HRC.

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

№ зразка	$S_{ш}$, м ² /г	Фазовий склад композитів, %	НК, ГПа	R_{cm} , МПа	σ , МПа
004	2,80	87cBN+13AlN	25	357	52
024	2,20	87cBN+13AlN	26	487	63
054	1,46	87cBN+13AlN	27	580	20
074	0,71	88cBN+10AlN+1AlB ₂ +1Al	27	404	76
094	0,11	86,7cBN+10AlN+3AlB ₂ +0,3Al	28	408	80

$S_{ш}$ – питома поверхня вихідної шихти, м²/г; НК – Твердість за Кнупом, ГПа; R_{cm} – границя міцності при розтягу, МПа; σ – середнє квадратичне відхилення міцності, МПа, % – відсоток cBN, AlN, AlB₂ та Al, відповідно

Для моделювання силових параметрів процесу різання використовували ШНМ у вигляді багатошарового персептрона з вхідним шаром із 1011 нейронів, що відповідають числу найбільш значущих

параметрів, що описують характеристики інструментального матеріалу на основі кубічного нітриду бору (S_{in} , HK , R_{ct} , σ і фазовий склад композиції, $\%$). HI та амплітудно – частотну характеристику (АЧХ) вібрацій – FR .

Нейронна мережа мала 6 прихованих шарів (256 в шарах 1-3, 128 в шарі 4, 64 – в шарі 5, 32 в шарі 6) та вихідний шар із 6 нейронами на виході (3 складові сил різання P_x , P_y , P_z і ще 3 – середньо квадратичні відхилення складових сил – σP_x , σP_y , σP_z (рис. 2).

Процедура визначення цих коефіцієнтів (навчання ШНМ), полягала в пред'явленні ШНМ відомих як вхідних, так і вихідних даних.

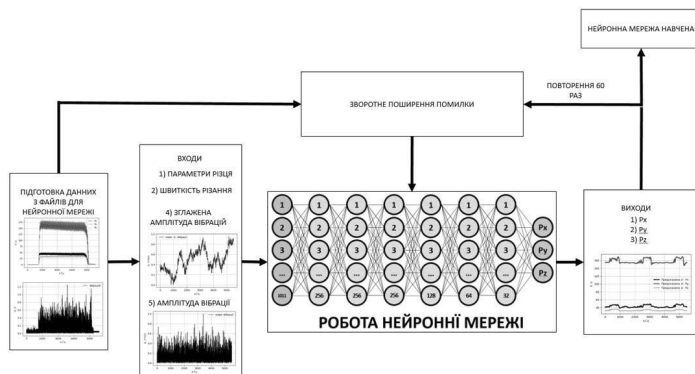


Рис. 2 – Структура штучної нейронної мережі

Ми прийняли підхід, коли кожен нейрон обчислює свій вихід на основі вхідних сигналів і вагових коефіцієнтів. Цей процес називається прямим поширенням. Після отримання виходу мережа порівнює його з відомим цільовим значенням, обчислюючи похибку (різницю між прогнозом і реальним значенням). Ця похибка є найбільш важливою для подальшого навчання. Цей цикл повторюється багаторазово, поки мережа не досягне прийняттого рівня точності або не буде виконано певну кількість ітерацій.

Для створення ШНМ на Python використовували високорівневі бібліотеки TensorFlow). Процедура навчання та оцінки точності моделі передбачала такі важливі аспекти, як кількість епох навчання, розмір пакетів даних та методи оцінки точності.

В нашому випадку навчання проходило за 60 епох, оскільки в кінці цього періоду ШНМ не покращувала свої результати.

Графік Для навчання ШНМ та практичної реалізації різець встановлювали у динамометр УДМ100, на різець закріплювали акселеро-

метр KD 35a німецької фірми Metra Messund Frequenz technik, який дозволяв вимірювати прискорення вібрацій (рис. 4, а). Акселерометр KD 35a є п'єзoeлектричним датчиком з великим вихідним опором. Графік зменшення похибки ШНМ представлений на рис. 3.

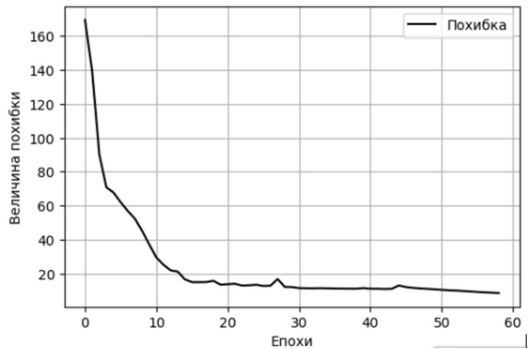
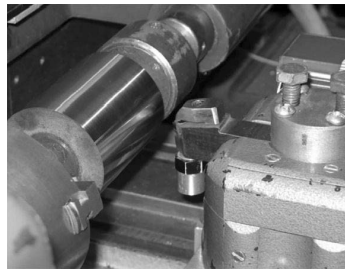


Рис. 3. – Графік зменшення похибки ШНМ

Датчик закріплювали у нижній частині різця, максимально наближено до зони різання (рис. 4, б).



а



б

Рис. 4 – Різець із датчиком прискорення (а), а також закріпленний у динамометрі (б)

Використання ШНМ дозволило визначати складові сили різання при точінні загартованих сталей твердістю 59-60 HRC різцями з кубічного нітриду бора. В якості вхідних даних для мережі мають бути запис коливань в реальному часі. На відміну від традиційних методів, де необхідно вручну вводити технологічні параметри та властивості оброблюваного та інструментального матеріалів, нейронна мережа може працювати тільки на основі отриманих в процесі різання сигналів вібрації.

Література

1. Булига, Ю. В., Веселовська, Н. Р., Міськов, В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання / Ю. В. Булига, Н. Р. Веселовська, В. П. Міськов // Практикум. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67 с.
2. Девін, Л. М., Беженар, М. П., Стахнів, М. Є. Прогнозування ймовірності руйнування різців із полікристалів надтвердих матеріалів при точінні загартованої сталі / Л. М. Девін, М. П. Беженар, М. Є. Стахнів // Проблеми міцності. – 2022. – № 3. – С. 90–99. doi.org/10.1007/s11223-022-00418-y
3. Девін, Л. М., Найденко, О. Г. Аналіз акустичної емісії при точінні алюмінієвих сплавів різцями з АТП із використанням нейронних мереж / Л. М. Девін, О. Г. Найденко // Сб. Тр. ХПІ «Різання та інструменти в технологічних системах». – Харків : НТУ «ХПІ», 2003. – Вип. 64. – С. 53–58.

Іваненко Р.О. Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експерти,
Діордіца І.М., Волошко О.В. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ ІНСТРУМЕНТА

В процесі різання обробка заготовки на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) відбувається в умовах інтенсивного зношування інструменту при підвищених силових та температурних контактних навантаженнях. Це призводить до зниження розмірної точності обробки та поломки інструменту. Таким чином, виникає необхідність введення корекцій траєкторії руху для компенсації похибок обробки [1–3].

Забезпечення стабільності розмірної точності обробки на верстатах з ЧПК обумовлює необхідність автоматизації процесів визначення величин та введення корекцій у поєднанні з ефективним керуванням режимами різання. Реалізація діагностики та оперативного керування обробкою потребує використання сучасних систем ЧПК, що розширюють функціональні можливості технологічного

обладнання у поєднанні з підвищенням надійності прогнозування працездатності інструменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити систему вимірювання та реєстрації геометричних параметрів криволінійних лез різального інструменту, що забезпечує можливість використання системи корекцій процесу обробки для підвищення точності на верстатах з ЧПК;
- дослідити процеси навантаження елементів технологічних систем (ТС) складовими сили різання, розробити систему оперативної діагностики характеристик приводів верстатів та реалізувати керування обробкою з оперативним введенням корекцій у траєкторії руху робочих органів верстатів з ЧПК;
- розробити алгоритми та програмне забезпечення керування комплексом діагностичних модулів, елементів ТС, а також алгоритми формування та введення корекцій для підвищення точності формотворення поверхонь деталей на верстатах з ЧПК.

Авторами розглянуто сутність методу комплексної оптимізації, алгоритм визначення оптимальної геометрії інструменту, режимів різання і траєкторії руху інструменту та експериментальне підтвердження коректності математичної моделі. Дослідження присвячена створенню методики автоматизованого розрахунку оптимальних режимів криволінійних поверхонь на верстатах з ЧПК з урахуванням різних умов різання, що забезпечують максимальну продуктивність та мінімальну собівартість обробки. Розроблена методика використовується в промисловості у вигляді системи автоматизованого розрахунку оптимальних режимів різання. Застосування результатів досліджень дозволило підвищити продуктивність обробки деталей на верстатах з ЧПК, підвищити точність обробки, скоротити час налагодження керуючих програм на верстаті. Метод комплексної оптимізації є оптимальним з точки зору витрат часу на обчислення, він дозволяє знайти глобальний екстремум функції на базі спільного використання методів структурної і параметричної оптимізації при вирішенні задачі нелінійного програмування. Застосування методу дозволяє отримати оптимальні режими різання, побудувати оптимальну траєкторію руху різального інструменту в складному геометричному контурі. Вибір різального інструмента і визначення оптимального варіанту обробки на основі мінімізації тривалості процесу обробки за допомогою запропонованого алгоритму,

реалізованого на верстатах з ЧПК, дозволяє підвищити загальну продуктивність виготовлення деталі в середньому до 10–15%.

Література

1. Вислоух, С. П., Волошко, О. В., Тимчик, Г. С., Філіппова, М. В. Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 37,37 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 228 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42195>
2. Вислоух, С. П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва : монографія / С. П. Вислоух. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 480 с.
3. Скицюк, В. І., Діордіца, І. М., Науменко, В. І. Дослідження властивостей поверхні деталі за допомогою токарного інструменту // Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2006. – Вип. 1 (12). – С. 151–158.

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

ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ З ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ, ОБРОБЛЕНОЇ ТОЧІННЯМ З УДАРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ІНСТРУМЕНТІ

Для визначення ефективності застосування певного технологічного процесу механічної обробки вкрай необхідною є оцінка стану обробленої поверхні, зокрема її шорсткості, величина якої суттєво впливає на експлуатаційні характеристики виробу. Висота мікронерівностей обробленої поверхні переважно залежить від режимів різання, в першу чергу величини подачі, геометричних параметрів різця, механічних властивостей оброблюваного матеріалу, величини зносу та стану контактних поверхонь інструменту. Особливо актуально питання якості обробленої поверхні виникає при точінні ін-

струментами, оснащеними композитами на основі КНБ (ПКНБ), виробів із високотвердих конструкційних сталей з ударними навантаженнями на різальну кромку. На відміну від безударного чистового точіння руйнування інструменту в умовах різання з ударом відбувається значно інтенсивніше. Утворення навіть невеликих мікросколювань на контактних ділянках інструменту під дією динамічних навантажень призводить до значного зростання висоти мікронерівностей на обробленій поверхні.

Дослідження шорсткості обробленої поверхні при обробці в умовах динамічних навантажень проводились при точінні вала із загартованої сталі ХВГ (62–64 HRC) з шістьма повздовжніми пазами розміром 10×10 мм. Геометричні параметри різальної частини інструменту становили : передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$, що забезпечувало високу міцність різального клину. При проведенні досліджень використовувались змінні круглі різальні пластини, що не переточуються, RNMN 12T300 з ПКНБ борсинит.

Визначення висотних параметрів шорсткості обробленої поверхні проводилось як в стаціонарних умовах з використанням профілографу-профілометра мод. 170621 заводу «Калібр» так і безпосередньо на верстаті за допомогою профілометра мод. 170311. Вимірювання проводились як на початковій ділянці, так і на ділянці після двох хвилин обробки та у подальшому результати усереднювались.

Як показали результати проведених досліджень при обробці високотвердих загартованих сталей інструментом, оснащеним ПКНБ, без зміцнюючої фаски, в умовах динамічного навантаженнями найбільш ефективно застосування косокутної схеми різання. Косокутний інструмент дозволяє проводити продуктивну обробку із більшими подачами (до $S = 0,65$ мм/об) при високій стійкості інструменту. Для визначення оптимального кута нахилу різальної кромки, що забезпечує формування мінімальної висоти мікронерівностей обробленої поверхні, проведено дослідження із зміною кута λ в межах 30–50° (режими різання: $v = 120$ м/хв; $S = 0,19$ мм/об; $t = 0,2$ мм).

Має місце екстремальна залежність між висотними параметрами мікронерівностей та кутом нахилу різальної кромки інструменту.

При обробці інструментом з кутом нахилу $\lambda = 30^\circ$ середнє арифметичне відхилення профілю обробленої поверхні складає $Ra\ 0,65$. У той же час, висота нерівностей профілю по 10 точках має відносно високе значення і становить $Rz\ 3,68$. Мінімальна шорст-

кість обробленої поверхні утворюється при точінні інструментом із кутом $\lambda = 40^\circ$ (рис. 1, а). Подальше збільшення кута нахилу різальної кромки інструменту призводить до суттєвого зростання висоти мікронерівностей і при обробці із кутом $\lambda = 50^\circ$ середнє арифметичне відхилення профілю обробленої поверхні складає Ra 1,2. Тому, не дивлячись на те, що інструмент, оснащений ПКНБ, при обробці в прийнятих умовах характеризується високою стійкістю, подальше збільшення кута нахилу різальної кромки є недоцільним через погіршення якості обробленої поверхні.

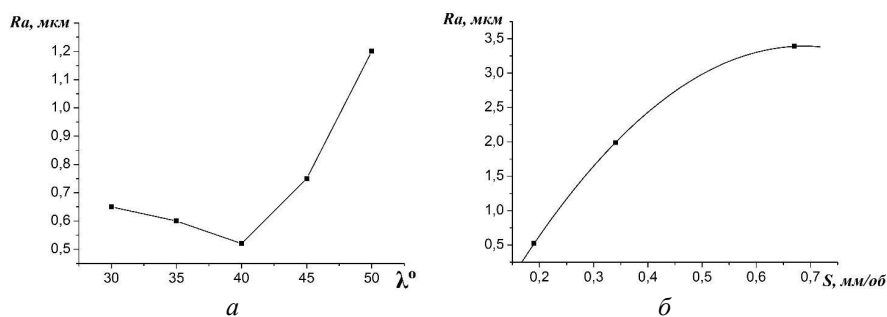


Рис. 1 – Залежність шорсткості поверхні Ra деталі від кута нахилу різальної кромки λ ($v = 120$ м/хв; $S = 0,19$ мм/об; $t = 0,2$ мм) (а) та від подачі S ($v = 120$ м/хв; $t = 0,2$ мм; $\lambda = 40^\circ$) (б)

На рис. 1, б наведена залежність середнє арифметичного відхилення профілю Ra обробленої поверхні від подачі після обробки інструментом із оптимальним кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 40^\circ$. Аналіз отриманих результатів свідчить, застосування високопродуктивних режимів обробки (із подачами понад 0,3 мм/об) ефективно тільки при чорновій та напівчистій обробках, коли до якості обробленої поверхні не висуваються суттєві вимоги. Чистову обробку доцільно проводити із подачами до 0,2 мм/об.

Проведені дослідження дозволили встановити величину кута нахилу різальної кромки інструменту, оснащеного ПКНБ, при точінні загартованої сталі з ударними навантаженнями, що забезпечує отримання на обробленої поверхні мікронерівностей мінімальної висоти.

РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ З НТМ ДЛЯ ТОЧІННЯ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

В сучасних умовах машинобудування зростає потреба у підвищенні ефективності обробки виробів з важкооброблюваних матеріалів. Одним із підходів, що впливає на якість обробки, є використання прогресивних конструкцій різального інструменту. Стандартні різці, оснащені змінними різальними пластинами, особливо з сучасних полікристалічних надтвердих матеріалів, не забезпечують достатньої надійності кріплення робочих елементів, що призводить до їх передчасного зносу або руйнування.

На рис. 1 показана стандартна конструкція різця, яка використовується для точіння загартованих сталей. В подібних конструкторських рішеннях, встановлення різальної пластини безпосередньо на державку не забезпечує надійної роботи інструменту з робочою пластиною із надтвердих матеріалів.

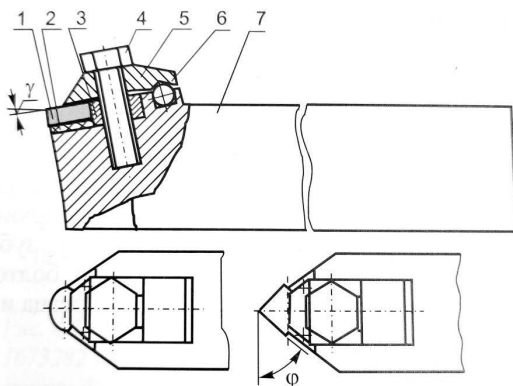


Рис. 1 – Стандартна конструкція різця з НТМ для обробки загартованих сталей: 1 – різальна пластина; 2 – опорна пластина; 3 – сепаратор; 4 – болт; 5 – прихват; 6 – куля; 7 – державка

В таких системах при тривалій роботі інструменту внаслідок нагрівання опорної поверхні відбувається місцеве зниження характеристик міцності матеріалу державки, що в умовах значних дина-

мічних навантажень може привести до значної деформації опорної поверхні. Це підвищує вірогідність поломки різальної пластини. Крім того, притискач швидко зношується стружкою. Щоб виключити розкріплення пластини, частина притискача, яка контактує зі стружкою, бажано робити з твердого сплаву.

Мета даної роботи – на основі розгляду сучасних конструктивних рішень, надати пропозиції щодо підвищення довговічності і надійності різців. Розглянуто системи кріплення різальних пластин з надтвердих матеріалів, які можуть вирішити ці проблеми.

Запропонований спеціальний різець для важких умов роботи, у якому закріплення різальної пластини в державці здійснюється за допомогою притискача що пружно деформується (рис. 2).

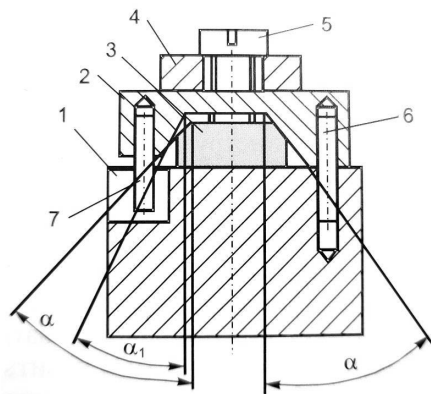


Рис. 2 – Спеціальний різець для важких умов роботи:

1 – державка; 2 – сепаратор; 3 – різальна пластина; 4 – прихват; 5 – болт;
6 – штифт нерухомий; 7 – штифт рухомий

Сепаратор 2 встановлюється на різальну пластину 3 та зверху фіксується в державці різця 1 за допомогою штифтів 6 та 7. Виступи сепаратора з'єднані пружною перемичкою, яка забезпечує збіг кутів скосів пластини і сепаратора при закріпленні різального елемента. Таким чином досягається надійне кріплення різального елемента на опорній пластині державки. Конструкція дозволяє встановлювати за допомогою одного притиску 4, що закріплюється болтом 5, різні за формою різальні пластини одного розміру.

При фінішній обробці різці з циліндричною або конічною передньою поверхнею та криволінійною різальною кромкою мають низку переваг перед традиційним інструментом. Враховуючи це,

розроблено спеціальну конструкцію чистового токарного різця (рис. 3).

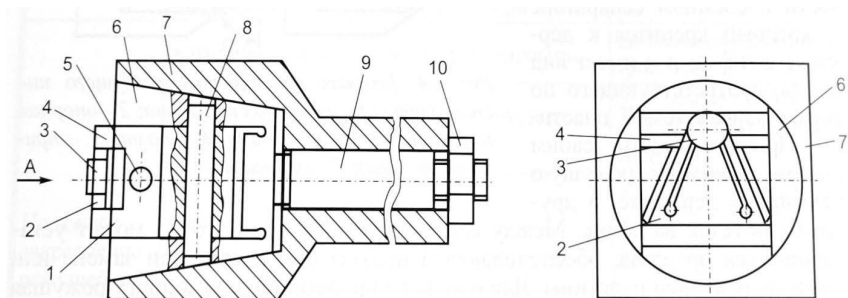


Рис. 3 – Конструкція чистового токарного різця:

- 1 – прихват; 2 – сепаратор; 3 – різальна пластина; 4 – пелюстка; 5 – болт;
6 – цанга; 7 – державка; 9 – тяга; 10 – гайка

Сепаратор інструменту 2, який виконаний у вигляді розрізної скоби трикутної форми, розміщується на задній поверхні державки інструменту. Пружними бічними пелюстками сепаратора охоплює різальну пластину 3. При необхідності для забезпечення виступу вершини пластини на пелюстках сепаратора зроблені скоси під кутом $30-60^\circ$ до задньої поверхні різця. На передній поверхні інструменту розташований прихват, який є вилкою, зуби якої охоплюють пелюстки сепаратора. При стисканні прихватів відбувається закріплення сепаратора на державці і різальної пластини в сепараторі. У затиснутої таким чином пластини залишаються відкритими циліндрична або конічна передня та плоска задня поверхні, що дозволяє забезпечувати відведення стружки і обробляти деталі різних розмірів. Таким чином, в результаті кріплення одним прихватом сепаратора і різальної пластини з одночасним взаємним їх базуванням підвищується надійність і спрощується конструкція інструменту.

Розробка нових конструкцій різальних інструментів відіграє важливу роль у підвищенні точності та надійності металообробки. Розглянуті приклади інструментів пройшли широке лабораторне та промислове випробування.

ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ІЗ PCBN ПІД ЧАС ОБРОБКИ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ

Полікристалічний нітрид бору (PCBN) широко застосовується в металообробці для обробки різанням важкооброблюваних матеріалів, таких як високоміцні чавуни. При цьому, знос різального інструменту є ключовим фактором, що визначає його ефективність та економічну доцільність його використання. У даній роботі розглядаються основні механізми зносу PCBN-інструменту, фактори, що впливають на нього, і підходи до забезпечення його стійкості з акцентом на наявність у структурі матеріалу вільного графіту.

Під час обробки високоміцних чавунів зношування різального інструменту з PCBN пов'язане з такими видами взаємодії в зоні різання:

- абразивне (спричиняється твердими включеннями, які призводять до мікроскопічних руйнувань різальної кромки інструменту);
- адгезійне (виникає внаслідок формування і руйнування містків схоплювання на ділянках контакту інструменту з оброблюваним матеріалом);
- дифузійне (відбувається за високих температур, коли атоми елементів зі складу інструментального матеріалу дифундують в матеріал, який обробляють);
- окисне (пов'язане із хімічними реакціями між елементами зі складу інструментального матеріалу та киснем повітря);
- термічне руйнування (зумовлене різкими перепадами температур у зоні різання, що може спричинити появу тріщин і сколювання різальної кромки інструменту).

Графіт є однією з ключових складових високоміцних чавунів, і його вплив на знос інструменту неоднозначний:

- абразивний вплив (хоча графіт сам по собі м'який матеріал, але взаємодія вуглецю з його складу з елементами складу оброблюваного матеріалу утворює абразивне середовище, яке прискорює зношування інструменту; частинки графіту можуть сприяти утворенню мікротріщин на різальній кромці інструменту);

- зменшення коефіцієнта тертя (графіт має змащувальні властивості, що може зменшити механічні навантаження на різальну кромку інструменту);
- в ряді випадків це сприяє зниженню інтенсивності зношування інструменту;
- підвищення дифузійного зношування (термобаричні умови в зоні різання сприяють взаємодії графіту з нітридом бору, що може призводити до змін у структурі інструменту і погіршити механічні властивості його матеріалу);
- вплив на тепловідведення із зони різання (графіт має високу теплопровідність, що може змінювати температурний режим різання; в деяких випадках це допомагає розподіляти тепло більш рівномірно, але в інших призводить до локального перегріву інструменту).
- Таким чином, вплив графіту на знос PCBN-інструменту залежить від конкретних умов обробки, складу чавуну і режимів різання.

Знос різального інструменту з PCBN залежить від багатьох факторів, серед яких ключовими є:

- властивості оброблюваного матеріалу (висока твердість і абразивність високоміцних чавунів прискорюють процес зношування);
- режими різання (швидкість різання, подача і глибина різання безпосередньо впливають на температуру в зоні контакту та механічний вплив на інструмент);
- мастильно-охолоджувальне технологічне середовище (МОТС) (використання МОТС допомагає знизити температуру різання, зменшити тертя і підвищити стійкість інструменту);
- склад і структура PCBN (інструмент із високою часткою нітриду бору (група ВН) має більшу зносостійкість в умовах динамічного навантаження);
- геометричні параметри інструменту (оптимальні кути і конструкція інструменту дають змогу знизити напруження і продовжити термін його служби).

Для зниження інтенсивності зношування та підвищення ефективності обробки різанням високоміцних чавунів можна застосовувати такі методи:

- оптимізація режимів різання (зниження швидкості різання та подачі можуть зменшити термічний вплив на інструмент);

- використання модифікованих складів PCBN (композити з оптимальним вмістом нітриду бору та зв'язувальних елементів забезпечують більшу працездатність інструменту);
- застосування захисних покриттів (нанесення зносостійких покриттів на інструмент знижує вплив високих температур і хімічної взаємодії в зоні обробки);
- поліпшення охолодження (застосування МОТС з високою теплоємністю і спрямованого охолодження зменшує температурне навантаження на різальний інструмент;
- діагностика стану різального інструменту (своєчасне заточування і заміна інструменту запобігають його критичному зношуванню і поломкам).

Таким чином, зношування різального інструменту з PCBN під час обробки високоміцних чавунів – складний процес, що залежить від багатьох факторів. Графіт, присутній у чавуні, чинить подвійний вплив: з одного боку, знижує тертя, а з іншого – сприяє прискореному зносу інструменту. Оптимізація режимів різання, використання високоякісних інструментальних матеріалів, застосування захисних покриттів і ефективного охолодження дозволяють значно продовжити термін служби інструменту і підвищити ефективність обробки.

Комарова Г.Л., Каштур А.П. Український державний
університет залізничного транспорту, Харків,
Приміський І.В. Національний технічний
університет України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського", Київ

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ДИМНОСТІ ТА ЇХ МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Сучасні методи вимірювання димності та їх метрологічні аспекти охоплюють широкий спектр технологій, що використовуються для оцінки екологічної безпеки промислових дизельних двигунів. Димність визначається концентрацією твердих частинок у викидах та рівнем поглинання світла цими частинками, а методи вимірювання базуються на фізичних явищах, таких як поглинання

та розсіювання світла, фотоелектричне визначення оптичної щільності, гравіметричне осадження частинок, лазерна спектроскопія та аналіз розсіювання. Традиційні методи включають світлопоглинальний метод, який базується на визначенні інтенсивності світлового потоку, що проходить через димовий струмінь, та гравіметричний метод, що передбачає осадження твердих частинок на фільтрувальному матеріалі з подальшим їх зважуванням. Ці методи мають певні обмеження, пов'язані з їх застосуванням у реальному часі.

Сучасні методи вимірювання включають оптико-електронні системи, що використовують лазерну спектроскопію, дифракційні та розсіювальні методи, а також оптичні датчики для вимірювань у реальному часі. Важливим напрямом є застосування нейронних мереж для автоматизованої обробки вимірювань, що підвищує точність та ефективність аналізу. Додатково використовується метод цифрової мікроскопії, що дає змогу отримувати дані про розмірний розподіл частинок та їх кількісні характеристики за допомогою високошвидкісних камер та алгоритмів машинного навчання. Інтегровані системи контролю, що поєднують IoT-технології та хмарні обчислення, дозволяють автоматизувати збір та обробку даних, підвищуючи точність вимірювань та зменшуючи людський фактор у процесі аналізу. Дедалі ширше застосування отримують технології багатоканального аналізу оптичних сигналів, які дозволяють розділяти складові випромінювання і оцінювати їх вплив на точність вимірювань.

Метрологічні аспекти методів вимірювання включають оцінку таких характеристик, як чутливість та діапазон вимірювань, відтворюваність та точність результатів, вплив зовнішніх факторів (температура, вологість, тиск), методи калібрування та верифікації засобів вимірювань, оцінка невизначеності вимірювань та методи її зниження. Важливим є дотримання актуальних метрологічних вимог міжнародних стандартів ISO, OIML, ГОСТ. Подальше удосконалення метрологічного забезпечення вимірювачів димності вимагає комплексного підходу, що включає розробку нових методів калібрування, вдосконалення метрологічних стандартів та впровадження сучасних цифрових технологій у процеси вимірювання. Зокрема, важливим напрямом є створення автоматизованих систем самокалібрування, які зможуть адаптуватися до змін умов вимірювань, мінімізуючи похибки. Впровадження багатоспектрального аналізу дозволить підвищити точність визначення димності шляхом

розширення діапазону оптичних вимірювань. Крім того, необхідно вдосконалювати методи математичного моделювання для прогнозування та коригування похибок вимірювань. Оптимізація програмного забезпечення для аналізу та обробки результатів дозволить забезпечити швидшу та точнішу інтерпретацію отриманих даних, що особливо актуально для промислових умов. Інтеграція нейронних мереж у процес вимірювання сприятиме більш ефективному виявленню аномальних значень та автоматизованому налаштуванню параметрів вимірювачів. Важливим завданням є розробка єдиних методик оцінювання димності, що відповідатимуть міжнародним метрологічним вимогам та забезпечать високу відтворюваність результатів у різних експлуатаційних умовах. Впровадження новітніх квантових технологій у метрологію оптичних вимірювань також відкриває нові можливості для підвищення точності та стабільності вимірювань. Створення розгалуженої системи міжнародного співробітництва сприятиме гармонізації стандартів та обміну передовими технологіями між країнами, що дозволить забезпечити високу якість контролю димності викидів промислових дизельних двигунів. Передбачає впровадження алгоритмів самокалібрування для зменшення похибок, оптимізацію програмного забезпечення для обробки результатів вимірювань, розробку нових методик оцінювання димності із застосуванням нейронних мереж та використання квантових технологій у метрології оптичних вимірювань. Особливу увагу слід приділяти підвищенню стабільності вимірювальних систем, впровадженню методів компенсації випадкових похибок та застосуванню інтелектуальних алгоритмів для автоматизованого визначення аномальних значень вимірювань.

Розглянуті методи мають різні переваги та обмеження, що визначає їх доцільність використання залежно від умов експлуатації. Найбільш перспективними є оптико-електронні та комбінвані методи, що забезпечують високу точність і швидкість вимірювань. Удосконалення метрологічних характеристик вимірювачів димності потребує подальшого розвитку алгоритмів обробки даних та калібрування засобів вимірювань відповідно до міжнародних стандартів. Важливим завданням є створення стандартизованих методик вимірювання, які забезпечать однаковість результатів для різних типів обладнання. Крім того, розвиток метрологічної інфраструктури та розширення міжнародного співробітництва у сфері вимірювань сприятиме підвищенню достовірності та уніфікації методів оцінювання димності у промислових процесах.

Література

1. Комарова, Г. Л., Приміський, І. В. Використання аналітичних приладів та систем для моніторингу якості повітря // Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: матеріали 24-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 24–26 вересня 2024 р. – Київ: АТМ України, 2024. – С. 68–69.
2. Дядин, А. П., Васильєв, І. П. Разработка дымомеров для замера дымности тепловозных дизелей // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – Ч. 1. – № 5 (123). – С. 131–135.
3. Приміський, І. В. Спосіб вимірювання димності [Текст] / Патент України на винахід № 110167, опубл. 25.11.2015. – Бюл. № 22.

Комарова Г.Л. Український державний
університет залізничного транспорту,
Сергєєв Д.М. ПНВП МІКРОТЕХ, Харків,
Крамаренко С.Б. Міжгалузева науково-дослідна
установа цифровізації та технологій
штучного інтелекту, Київ,

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИБОРУ КООРДИНАТНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ МЕТРОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Прецизійні координатно-вимірювальні машини (КВМ) відіграють ключову роль у забезпеченні високої точності вимірювань у сучасному машинобудуванні, транспортній, енергетичній галузях та у виробництві складних технічних систем. Використання КВМ дозволяє проводити багатокоординатні вимірювання геометричних параметрів, що є основою для забезпечення взаємозамінності деталей, контролю відповідності проектним специфікаціям та оцінці якості виробів. Вибір оптимальної КВМ є складним завданням, що залежить від ряду метрологічних, конструктивних та експлуатаційних факторів (рис. 1).

При виборі координатно-вимірювальної машини насамперед слід враховувати її метрологічні характеристики, зокрема точність, повторюваність та стабільність вимірювань. Ці параметри визнача-

ються за методиками, що відповідають міжнародним стандартам, зокрема ISO 10360, який регламентує процедури тестування та оцінювання точності КВМ. Важливим параметром є клас точності, що визначає можливості машини щодо контролю виробів із високими вимогами до геометричних параметрів. Також слід враховувати діапазон вимірювань, оскільки він визначає можливість роботи з деталями різних розмірів і складності. Для забезпечення високої метрологічної якості вимірювань важливим є використання каліброваних стандартів, методів оцінювання невизначеності вимірювань та періодична метрологічна атестація обладнання.



ЗД ручна цехова КВМ FULCRUM

Fulcrum - це революційна ручна КВМ, яка завдяки використанню трьох осей обертання має...



Автоматична КВМ ЗД 1200x2000x1000 AZIMUTH

Автоматична координатно-вимірювальна машина ЗД 1200x2000x1000 AZIMUTH Для вимірювання...



ЗД АВТОМАТИЧНА ПОРТАТИВНА КВМ C4

C4 забезпечує унікальний циліндричний діапазон вимірювання з діапазоном діаметрів 700...



ЗД АВТОМАТИЧНА ЦЕХОВА КВМ EXTOL EXT-520

ЗД АВТОМАТИЧНА ЦЕХОВА КВМ EXTOL EXT-370 Розроблена з використанням недекларованої...

Рис. 1 – Сучасні координатно-вимірювальні машини

Тип вимірювальної системи має суттєвий вплив на точність і продуктивність КВМ. Використовуються оптичні, лазерні та тактильні датчики, які забезпечують різні рівні точності й

швидкості вимірювань. Оптичні системи забезпечують високу швидкість та безконтактність, що є особливо важливим для м'яких або делікатних поверхонь, тоді як тактильні щупи мають високу точність та застосовуються для механічного контакту з деталлю. Лазерні інтерферометри використовуються для забезпечення надвисокої точності вимірювань у нанометровому діапазоні. Вибір сенсорної системи повинен відповідати характеристикам об'єкта контролю та умовам експлуатації.

Прикладом використання високоточних КВМ є контроль якості авіаційних компонентів, де потрібні точні вимірювання складних поверхонь. У виробництві двигунів внутрішнього згоряння КВМ застосовуються для оцінки параметрів деталей, таких як циліндри та поршні, що дозволяє забезпечити відповідність жорстким технічним вимогам. У медичному обладнанні координатно-вимірювальні машини використовуються для перевірки геометричних параметрів імплантів, що є критичним для їх сумісності з анатомічними структурами людини.

У залізничній галузі координатно-вимірювальні машини застосовуються для контролю геометричних параметрів колісних пар, осей, підшипників та інших ключових елементів рухомого складу. Зокрема, вони дозволяють вимірювати профілі коліс та оцінювати їх знос, що є критичним для безпеки руху. Автоматизовані системи вимірювань, інтегровані з КВМ, використовуються для контролю точності рейкових з'єднань та стану шляхової інфраструктури. Удосконалені методи вимірювання забезпечують раннє виявлення дефектів, що знижує ризик аварійних ситуацій і сприяє підвищенню довговічності залізничного обладнання.

Конструктивні особливості КВМ безпосередньо впливають на їх метрологічну надійність та стабільність. До основних параметрів, що визначають точність вимірювань, належать жорсткість рами, стабільність робочої платформи, температурна компенсація та застосування матеріалів з низьким коефіцієнтом температурного розширення. Температурна компенсація є критичним фактором, оскільки навіть незначні зміни температури можуть впливати на геометричні параметри деталей та точність вимірювань. Використання матеріалів, таких як граніт та спеціальні композитні сплави, сприяє мінімізації деформацій та стабілізації процесу вимірювань. Додатково застосовуються активні системи компенсації температурних коливань, що дозволяють адаптувати вимірювальні параметри в режимі реального часу.

Автоматизація та цифровізація є важливими факторами для підвищення ефективності вимірювальних процесів. Сучасні КВМ комплектуються програмним забезпеченням для аналізу, обробки та управління вимірюваннями, що дозволяє інтегрувати їх у комплексні системи контролю якості. Інтелектуальні алгоритми та штучний інтелект використовуються для автоматичного розпізнавання геометричних параметрів та аналізу вимірювань у режимі реального часу. Використання CAD/CAM інтеграції дозволяє проводити порівняння фактичних вимірювань із проєктними 3D-моделями, що забезпечує високий рівень контролю якості. Крім того, впроваджуються хмарні технології для централізованого зберігання та обробки вимірювальних даних, що забезпечує зручний доступ до результатів у будь-який момент часу.

Застосування цифрових технологій у КВМ також включає використання бездротових датчиків та інтегрованих систем аналізу даних. Наприклад, у виробництві автомобільної промисловості автоматизовані КВМ використовуються для контролю параметрів кузовних деталей на конвеєрних лініях, що значно підвищує швидкість та якість перевірки. У верстатобудуванні КВМ дозволяють здійснювати контроль оброблених деталей безпосередньо на виробничих ділянках, що мінімізує ймовірність браку та підвищує продуктивність виробництва.

Таким чином, вибір координатно-вимірювальної машини повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі метрологічних параметрів, конструктивних особливостей, можливостей автоматизації та відповідності вимогам конкретного виробничого процесу. Урахування сучасних тенденцій розвитку метрології, впровадження цифрових технологій та штучного інтелекту дозволяє підвищити точність вимірювань, продуктивність і ефективність контролю якості, що є ключовим аспектом у сучасному високоточному виробництві.

Література

1. Сергєєв, Д. М., Комарова, Г. Л. Критерії обрання прецизійної координатно-вимірювальної машини / Д. М. Сергєєв, Г. Л. Комарова // Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: матеріали II Міжнародної наук.-практ. конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців, 29–30 листопада 2023 р., м. Київ. – Київ: Вид. «Київський інститут залізнично-

го транспорту Державного університету інфраструктури та технологій», 2023.

2. Волошина, Л. В., Роценко, О. В. Підвищення точності та якості вимірів при застосуванні прецизійного комп'ютерного інструменту / Л. В. Волошина, О. В. Роценко // Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: матеріали 23-ї Міжнародної наук.-практ. конференції, 27–28 вересня 2023 р., м. Київ. – Київ : АТМ України, 2023. – С. 16–17.

*Кордецький О.С., Середюк Д.О., Січкарук В. В.,
Солопчук Д. М., Ночвай В.М., Полонський Л.Г.
Державний університет «Житомирська
політехніка», Житомир*

ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Ліквідація наслідків спрацювання деталей машин вимагає значних витрат, що негативно впливає на хід виробничого процесу. Найбільш часто деталі машин виходять з ладу від зношування робочих поверхонь. Тому збільшення терміну служби деталей є актуальною проблемою.

В роботі [1] розроблено захисні покриття та технологічні процеси їх нанесення для зміцнення і відновлення спрацьованих деталей автомобілів.

Для ремонту деталей та обладнання застосовують наплавлення, яке дає можливість порівняно швидко відновити спрацьовану поверхню, отримати покриття, яке характеризується високою стійкістю проти спрацювання [2].

Широко застосовується хіміко-термічна обробка сталі з метою збільшення міцності і стійкості проти спрацювання деталей машин і обладнання [3]. Для відновлення спрацьованих деталей обладнання широко застосовують також газотермічні методи: газопорошкового наплавлення, газопорошкового і плазмового напилення, електродугової металізації [4].

Метою досліджень є збільшення терміну служби ротора турбокомпресора двигуна внутрішнього згорання під час виконання ремонту методом газополуменевого напилення покриттів.

Турбокомпресор двигуна складається з відцентрового компресора і газової турбіни. Колеса турбіни і компресора на номінальному режимі роботи двигуна обертаються з частотою 45000...90000 хв⁻¹. На валу ротора спрацьовуються посадкові місця під бронзовий підшипник ковзання, канавки під ущільнювальні кільця, поверхня валу під колесо компресора. Вал ротора турбокомпресора типу ТКР-11Н-1 має посадочне місце під підшипник ковзання з розмірами: довжина – 18±0,42 мм, діаметр – 18^{-0,07}_{-0,08} мм.

Збільшення терміну служби ротора отримано вибором методу зміцнення робочих поверхонь та вибором матеріалу покриття під час виконання ремонту спрацьованих валів ротора, а саме методу газополуменевого напилення покриттів з використанням порошку марки ПГ-10Н01.

Розроблений технологічний процес ремонту валу ротора турбокомпресора складається з таких основних операцій:

1) підготовка деталей (очищення від бруду та мастила; відбір деталей, що підлягають відновленню; зняття залишків нерівномірного спрацювання; знежирювання поверхні; активація і формування шорсткості поверхні;

2) підготовка порошку (просушування при температурі 130–150 °С протягом 2–3 годин; просіювання через сито 100 мкм);

3) нанесення покриття (встановлення та закріплення валу в центрах маніпулятора; нанесення покриття на опорні поверхні під підшипник ковзання до діаметра 21 мм);

4) оплавлення покриття (нагрівання напиленого покриття до температури 900–1050 °С; для нанесення і оплавлення покриттів застосовано пальник ГН-2, в якості пального газу – ацетилен; твердість покриття становить 55–62 HRC_e; тиск ацетилену – 0,01 Мпа; тиск кисню – 0,2 Мпа; витрати ацетилену – 350 л/год; витрати кисню – 350 л/год; витрати порошку – до 2 кг/год);

5) токарна обробка покриттів (режими чорнової обробки покриттів: $V = 20\text{--}25$ м/хв; $S = 0,15\text{--}0,2$ мм/об; $t = 0,3\text{--}0,4$ мм; матеріал різального інструменту – тверді сплави ВК3, ВК4, гексаніт; режими фінішної обробки покриттів: $V = 25\text{--}30$ м/хв; $S = 0,1\text{--}0,15$ мм/об; $t = 0,15\text{--}0,2$ мм; матеріал різального інструменту – тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р) [9];

6) обробка шліфуванням (корундові круги на м'якій основі зернистістю 46–60 марки Е60СМ; режими шліфування: швидкість круга $V_k = 25\text{--}30$ м/с; швидкість руху деталі $V_{\text{дет}} = 10\text{--}20$ м/хв; глибина різання $t = 0,015\text{--}0,030$ мм; подача $S = 5\text{--}10$ мм/об; охолоджувальна рідини – емульсія);

7) вихідний контроль (візуальний огляд; контроль твердості покриттів; контроль розмірів валу; контроль шорсткості поверхонь; контроль форми).

Після виконання операцій технологічного процесу ремонту та зміцнення спрацьованих роторів турбокомпресора проведено лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей покриттів (стійкості покриттів проти механічного зношування покриттів на машині тертя мод. М22П, міцності зчеплення покриття з основою на розтяг на розривній машині Р05, твердості напилених покриттів з використанням приладу ТК-14-250).

Експериментальна партія роторів з розробленими захисними покриттями була встановлена на турбокомпресори двигунів внутрішнього згорання СМД-60 і випробовували до першої відмови. Термін експлуатації ротора проектованого по відношенню до прототипу збільшився в 2–3 рази.

Література

1. Чабанний, В. Я., Магопєць, С. О., Мажейка, О. Й. та ін. Ремонт автомобілів: навч. посіб. / В. Я. Чабанний, С. О. Магопєць, О. Й. Мажейка та ін. – Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
2. Корсаков, В. С., Таурит, Г. Е., Василюк, Г. Д. та ін. Повышение долговечности машин технологическими методами / В. С. Корсаков, Г. Е. Таурит, Г. Д. Василюк та ін. – К. : Техніка, 1986. – 158 с.
3. Харламов, Ю. О., Будаг'янець, М. А. Основи технології відновлення і зміцнення деталей машин: навч. посіб. у 2 т. Т. 2 / Ю. О. Харламов, М. А. Будаг'янець. – Луганськ : вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2003. – 480 с.
4. Супрунчук, В. К., Роменський, М. П., Панчук, О. М. та ін. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції: довідник / В. К. Супрунчук, М. П. Роменський, О. М. Панчук та ін. – К. : Урожай, 1992. – 176 с.

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ В СТРУМОПІДВІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ ШАЙБ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ НА СТАЛЕВИЙ ЛИСТ БІЧНОЇ ФУТЕРОВКИ ЩОКОВОЇ ДРОБАРКИ

Технології наплавлення зношуваних робочих поверхонь застосовуються в промисловості для виробництва нових і ремонті зношених виробів. Серед багатьох відомих способів дугового наплавлення знайшли застосування в промисловості високопродуктивні технології електрошлакового наплавлення (ЕШН), які показали свої переваги у відновленні прокатних валків, штамсів, виробів гірничо-металургійного обладнання.

Незважаючи на високу якість металу, одержуваного за різних електрошлакових технологій, завдання його покращення, окрім зниження неметалевих включень і газів, полягає також в покращенні структури металу наплавленого шару. Одним із способів, що впливають на структуроутворення електрошлакового металу, є зміна умов його кристалізації в разі дії зовнішнього впливу. Найчастіше як такий розглядається електромагнітний вплив [1].

У технології ЕШН металевих виробів найбільш поширені системи, побудовані на основі водоохолоджуваних електрично нейтральних та струмопідвідних кристалізаторів (СПК). У перших електрична напруга подається на електрод, занурений у шлакову ванну, у других – безпосередньо на кристалізатор. Зупинимось на другому типі кристалізатора.

СПК – це оригінальний пристрій, розроблений в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, який самостійно забезпечує електромагнітний вплив на електрошлаковий процес [2, 3] і продукує обертальний рух розплавленого шлаку, який силами тертя продукує обертальний рух верхніх шарів розплавленого металу, що наплавляється. В технології ЕШН із СПК електричний струм проходить через попередньо розплавлений електричною дугою рідкий шлак і підтримує в ньому таку температуру, яка необхідна для розплавлення присадного металу (який подається зверху у шлакову ванну у вигляді електроду або дробу) та оплавлення поверхні виробу. Присадний метал розплавляється у шлаку й у вигляді крапель

піддається металургійному обробленню, очищується від небажаних домішок й опускаючись на дно шлакової ванни кристалізується, утворюючи наплавлений шар хімічно обробленого шлаком металу.

Коротко пояснимо основні електромагнітні явища, що відбуваються в робочому просторі двосекційного СПК з одним вертикальним розрізом, які стають причиною обертання шлакової ванни навколо поздовжньої осі симетрії кристалізатора. В першому наближенні встановимо основні шляхи протікання струмів, розповсюдження електромагнітних полів та напрямки викликаних ними електромагнітних сил, які діють на розплавлений рідкий шлак в кристалізаторі, визначимо можливості регулювання інтенсивністю і напрямком руху розплавленого шлаку.

На рис. 1, *а* схематично зображено двосекційний СПК. Через верхню секцію 1, зазвичай мідну, і цільне графітове кільце 4 від клемми 9 або 10, струм підводиться до шлаку 2. В аксіальному напрямку секція 1 має вертикальний розріз 3, який робить її подібною до одновиткового індуктора. Нижня формуюча нерозрізна секція 5 виконує функцію кристалізатора, встановленого на металеву заготовку 6, на яку наплавляється шар металу. Секції кристалізатора 1 і 5 розділені між собою електроізоляційною азбестовою прокладкою 7. Відведення струму здійснюється від заготовки через клему 8. Графітове кільце 4 захищає верхню секцію 1 від електрохімічної ерозії агресивного середовища рідкого шлаку і запобігає утворенню на своїй поверхні товстого шару слабо електропровідного шлакового гарнісажу. На рис. 1, *б* показано поздовжній розріз кристалізатора з осями координат $0z$ і $0r$, направленими відповідно в аксіальному і радіальному напрямках.



Рис. 1 – Двосекційний СПК – *а*; права частина поздовжнього вертикального розрізу кристалізатора – *б* [4, 5]

В разі підключення нижньої клеми 8 на заготовці 6 та однієї з клем 9 або 10 верхньої секції 1 до електричної напруги, внаслідок протікання струму через шлак від секції 1 в напрямку заготовки 6, в ньому відбувається значне тепловиділення. Крім того, створюється обертальний рух [3 – 5] рідкого шлаку навколо центральної осі Oz (в азимутальному напрямку за кутом φ) в один, або інший бік, залежно від підключення клем 9 або 10.

Для обертального руху розплавленого шлаку в кристалізаторі необхідна суттєва тангенціальна складова (паралельна дотичним до кола бічної поверхні кристалізатора) електромагнітної сили, що діє на шлак. У СПК це забезпечується ортогональними напрямленими струмами, що течуть відповідно у верхній розрізній секції в азимутальному напрямку і від верхньої секції через розплавлений шлак до металевої заготовки.

Якщо розглядати підключення живлення у верхній розрізній секції кристалізатора до однієї із клем 9 або 10 (рис. 1, *a*) та до нижньої клеми 8 на заготовці, то струм потече по верхній секції в азимутальному напрямку (по колу) від підключеної клеми до торців цієї секції біля розрізу. Величина струму по своєму шляху буде зменшуватися за рахунок його поступового відтоку через шлак до заготовки. Виникає різниця потенціалів електричної напруги між клемою із струмопідводом і торцями цієї секції біля розрізу. В роботах [3, 5] наочно представлена зміна рівня густини струму, що тече в азимутальному напрямку у верхній розрізній секції СПК. Верхня секція кристалізатора в цьому випадку забезпечує не тільки контакт зі шлаком через графітове кільце, а і подібна до індуктора. При протіканні цього струму, навколо верхньої секції утворюється магнітне поле, яке зменшує свою напруженість на шляху від клеми із струмопідводом до торців верхньої секції біля розрізу. Звичайно, що частина даного струму, буде проходити по колу і через графітове кільце з меншою електричною провідністю, в порівнянні із провідністю кристалізатора.

Шлях робочого струму, який нагріває шлак і рідкий метал, спрямований від верхньої секції через графітове кільце, рідкий шлак з іонною провідністю, рідкий метал, що наплавляється, з електронною провідністю, закристалізований наплавлений метал в нижній формуючій секції до металевої заготовки, а також, паралельно цьому шляху, по стінкам нижнього кристалізатора. Величина цього струму більша у місці струмопідводу і також поступово зменшується в азимутальному напрямку чим далі від нього, що зумов-

лює виникнення різниці потенціалів електричної напруги в шлаку в азимутальному напрямі і різну напруженість магнітного поля, викликаного даним струмом.

Інтенсивне протікання струму в азимутальному напрямку у верхній секції кристалізатора є передумовою появи обертального руху рідкого шлаку в кристалізаторі.

Направлення силових ліній магнітного поля, породжених струмом, що тече в азимутальному напрямку у верхній секції кристалізатора може визначатися за мнемонічним правилом правої руки. Струм, що протікає від верхньої секції кристалізатора до заготовки через рідкий шлак знаходиться під дією цього магнітного поля (породженого струмом, що тече в азимутальному напрямку верхньої секції). Направлення сил Лоренца, що діють на рідкий шлак, через який тече струм від верхньої секції кристалізатора до заготовки, може визначатися за мнемонічним правилом лівої руки. Саме ця сила діє на рідкий шлак і викликає його обертальний рух. В разі підключення клеми 9 обертання рідкого шлаку навколо вісі Oz буде направлено проти годинникової стрілки, а для підключеної клеми 10 – за годинниковою стрілкою.

Якщо переміщувати клему струмовідводу на верхній секції кристалізатора по азимуту за кутом ϕ від вертикального розрізу, можна зменшувати швидкість обертання рідкого шлаку [3, 5] за рахунок того, що струм потече в обидва боки від клеми у верхній секції до вертикального розрізу, зменшуючи при цьому результуючу силу Лоренца, що діє на рідкий шлак. При наближенні клеми до місця напроти вертикального розрізу на протилежній від нього стінці верхньої секції кристалізатора обертальний рух рідкого шлаку припиниться із-за рівності протилежно направлених електромагнітних сил.

Також обертальний рух рідкого шлаку в азимутальному напрямку буде відсутній, коли верхня секція кристалізатора не матиме вертикального розрізу і перетвориться в звичайний кільцевий струмопідвід, яких знаходиться під одним електричним потенціалом. Задля організації обертального руху шлаку в азимутальному напрямку в такій системі необхідний додатковий індуктор, який би концентрично охоплював кристалізатор [3].

Тут не враховувалася дія індукованого у рідкому шлаку струму, оскільки його вклад в нагрівання шлаку невелике (в порівнянні з основним струмом), а породжені ним електромагнітні сили [6, 7], мало впливуть на процес обертання шлаку навколо вертикальної осі симетрії кристалізатора.

Звісно, що це спрощене пояснення. Для отримання повної картини розповсюдження електромагнітних і температурних полів та гідродинамічних потоків необхідно виконувати тривимірне математичне моделювання цих процесів в комплексі, з використанням чисельних методів розрахунків і спеціалізованих комп'ютерних програм.

Розглянемо результат ЕШН наплавлення в СПК армуючих елементів (шайб) із високохромистого чавуну на сталевий лист бічної футеровки шокової дробарки СМД-111.

Бічні футеровки шокової дробарки призначені для захисту її поверхонь від зношування на заключній стадії виходу дробленої маси з робочого простору. На гірничорудних підприємствах для виготовлення футеровки дробильного обладнання, зазвичай застосовують марганцевисту сталь 110Г13Л (сталь Гадфільда), для якої в разі перероблення сировини підвищеної міцності (16–20 одиниць за шкалою М.М. Протодьяконова) і абразивністю, термін роботи не перевищує 3–5 місяців.

Прийняте рішення не заповнювати всю поверхню листа наплавленим металом, а виконати наплавлення шайб за допомогою СПК діаметром 152 мм. Зі сталевого листа марки Ст3 товщиною 30 мм були вирізані 140 кілограмові заготовки футеровки, на які наплавляли шайби завтовшки ~15 мм з площею покриття листа ~35–40%, які слугують опорними зонами захисту робочої поверхні від зношування. У якості наплавного матеріалу використовували дріб (або електрод) оптимального фракційного складу з високохромистого чавуну – 2,8% С і 28% Сг.

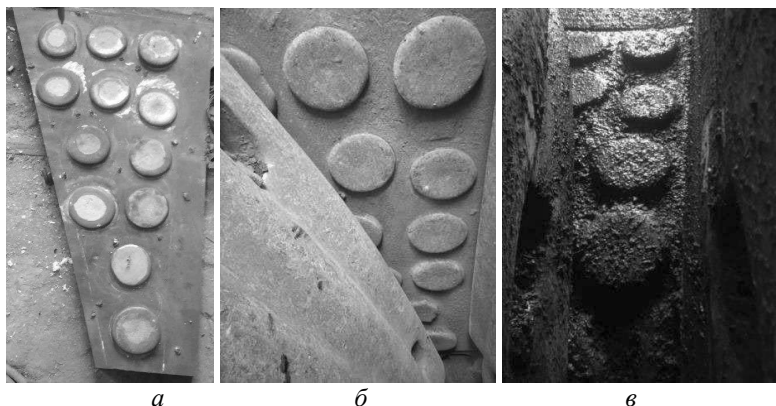


Рис. 2 – Зовнішній вигляд напавленої поверхні бічної футеровки шокової дробарки – а, через 4 місяці – б й 9 місяців – в експлуатації

На рис. 2, *а* показано наплавлену футеровку, а на рис. 2, *б* і *в* її стан після 4 й 9 місяців роботи при дробленні базальту (категорії міцності 20). Видно, що наплавлені шайби зберегли свою форму і мають відносно невелике зношування робочих поверхонь. Таким чином, підтверджено правильність запропонованого технологічного рішення наплавлення шайб, які приймають на себе основну дію абразивної породи під час експлуатації.

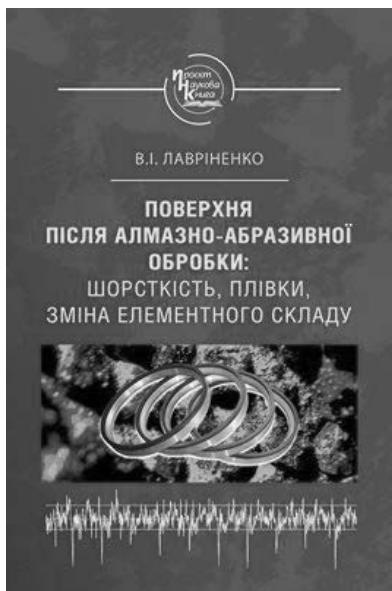
Література

1. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Ус В.И., Томиленко С.В. Разработка и исследование методов управления структурой кристаллизующегося слитка ЭСП путем наложения магнитного поля. Проблемы спецэлектromеталлургии. 1989. № 4. С. 3–7.
2. Кусков Ю.М., Скороходов В.Н., Рябцев И.А., Сарычев И.А. Электрошлаковая наплавка. М.: Наука и технологии, 2001. 180 с.
3. Ксендзык Г.В. Токоподводящий кристаллизатор, обеспечивающий вращение шлаковой ванны. Специальная электromеталлургия. 1975. № 27. С. 32–40.
4. Гориславец Ю.М., Бондар О.І., Проскудин В.М., Кусков Ю.М., Римар С.В., Нетяга А.В. Моделювання електромагнітних процесів в секційному струмопідвідному кристалізаторі для електрошлакового наплавлення металу. Технічна електродинаміка. 2022. № 4. С. 64–68. <https://doi.org/10.15407/techned2022.04.064>
5. Гориславец Ю.М., Бондар О.І., Проскудин В.М., Кусков Ю.М., Римар С.В., Нетяга А.В. Вплив струмопідводу на електромагнітні процеси в кристалізаторі для електрошлакового наплавлення металу. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2022. Вип. 62. С. 19–24. <https://doi.org/10.15407/publishing2022.62.019>
6. Письменный А.С., Баглай В.М., Письменный А.А., Рымар С.В. Интенсификация потоков расплавленного металла в жидкой ванне при индукционном нагреве. Современная электromеталлургия. 2010. № 2. С. 34–39.
7. Pismenny A.S., Baglaj V.M., Pismenny A.A., Rymar S.V. Induction System for Local Treatment of Surfaces by Liquid Metal Flows. The Paton Welding Journal. 2011. No. 6. 9–13.

**МОНОГРАФІЯ «ПОВЕРХНЯ ПІСЛЯ АЛМАЗНО-
АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ: ШОРСТКІСТЬ, ПЛІВКИ, ЗМІНА
ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ» – СУЧАСНЕ НАУКОВЕ
ВИДАННЯ ДЛЯ ФАХІВЦІВ-ТЕХНОЛОГІВ**

У щойно виданій монографії вперше зроблено узагальнення нових відомостей, отриманих автором, у напрямку ефективного застосування надтвердих матеріалів в шліфувальному інструменті з точки зору отримання необхідної для певних умов застосування шліфованої поверхні при механообробці в машинобудуванні. Надтверді матеріали є сучасним наукоємним високотехнологічним продуктом, що є важливою ланкою у вирішенні питань ефективної металообробки важкооброблюваних матеріалів ХХІ сторіччя. Завдяки своїм унікальним властивостям вони широко застосовуються у сучасному машинобудуванні, як ефективний інструментальний матеріал. Разом з тим, чинником подальшого підвищення ефективності застосування таких матеріалів є новітні розробки по отриманню якісної шорсткої поверхні із наперед визначеними показниками.

Тому в монографії окремо по розділам викладені сучасні напрацювання по особливостям формування оброблюваної поверхні в процесах алмазно-абразивної обробки з урахуванням мікропрофілю поверхневого шару, формування природних або примусово сформованих плівок на ній та представлено особливості зміни елементного складу обробної поверхні при обробці, а також дані рекомендації по спрямованому формуванню необхідної поверхні в умовах алмазно-



Лаврінченко В.І. Поверхня після алмазно-абразивної обробки: шорсткість, плівки, зміна елементного складу. Київ: Наукова думка, 2024. 188 с. ISBN: 978-966-00-1936-2
<https://doi.org/10.15407/978-966-00-1936-2>

абразивної обробки інструментальних та композиційних матеріалів в машинобудуванні. Подано особливості зв'язку між показниками шорсткості оброблюваної поверхні: Ra , R_{max} , Sm , tp , а також показано, як можливо спрямовано змінити наповненість профілю шорсткої поверхні при алмазно-абразивній обробці, Наведений вплив на шорсткість обробної поверхні процесів формоутворення ріжучої поверхні шліфувального круга в процесі обробки. Показаний вплив сполучення різних абразивів в робочому шарі круга та особливостей вдосконалення алмазно-абразивних порошків як факторів впливу на шорсткість обробленої поверхні. Наведені рекомендації по спрямованому формуванню спеціального мікропрофілю оброблюваної поверхні із «мастильними кишнями». Також викладені особливості формування обробленої поверхні у процесах алмазно-абразивної обробки із додатковим енергетичним впливом.

Автор висловлює щиру вдячність рецензентам за доброзичливі критичні зауваження, що сприяли поліпшенню змісту монографії: доктору технічних наук, професору В.С. Антонюку та доктору технічних наук, доценту В.І. Сідорку, а також доктору технічних наук, старшому науковому співробітнику Шейкіну С.Є. за корисні поради та зауваження при написанні даної монографії. Монографія призначена інженерно-технічним працівникам, яких цікавить правильне та ефективне використання інструментальних матеріалів для обробки різноманітних сталей і сплавів у виробничих умовах, а також автор має надію, що вона буде корисною для викладачів та аспірантів вищих навчальних закладів.

*Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Смоквина В.В.,
Логінова О.Б., Зайцева І.М., Тимошенко В.В.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ

ВИВЧЕННЯ ДЕФЕКТНОСТІ ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ МАРКИ АС6 РІЗНОЇ ЗЕРНИСТОСТІ

У машинобудуванні широке поширення знайшли синтетичні алмази і інструменти з них. Алмазні порошки, одержувані згідно з сучасними технологіями, розрізняються між собою за розміром зе-

рен, формою кристалів, кількістю та різноманітністю структурних дефектів, що безпосередньо впливає на їх фізико-механічні властивості. Кількість та характер дефектів є функцією способу та умов отримання кристалів алмазу.

Під час синтезу зростання кристалів алмазу супроводжується утворенням поверхні кристалів, загальна термодинамічна властивість якою є надмірність поверхневої енергії по відношенню до обсягу а також наявність поверхневого натягу, що впливає на кристалізацію алмазів і реконструкцію поверхні. При цьому створюються кристали алмаза з різною поверхнею від атомногладкої до розвиненої дефектної. Дефекти поверхні кристалів алмаза мають підвищену хімічну активність і впливають на характеристики міцності кристала.

Мікрорельєф граней тісно пов'язаний з якістю кристалів і відбиває особливості їх зростання. На гранях синтетичних алмазів зустрічаються кулі росту, які завжди мають макроступені, спостерігаються спіралі росту округлої або прямокутної форми із зазубреними або гладкими краями куль, ямки травлення. Поверхня кристала алмазу має підвищену хімічну активність і може впливати на зниження міцності кристала.

Тому метою даної роботи є вивчення дефектності поверхні зерен синтетичного алмазу широкого діапазону міцності алмазів марки АС6 зернистостей від 160/125 до 50/40.

Для кожної окремої зернистості визначали міцність зерен алмазу у вигляді показника міцності при статичному стисненні (P , Н), питому магнітну сприйнятливість ($\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг).

Дослідження поверхні порошків алмазу проводили класичним методом адсорбції газів при низьких температурах відповідно до принципу BET за допомогою газоадсорбційного аналізатора NOVA 2200 (Quantachrome, USA) і Accusorb 2100 (Культронікс), які призначені для вимірювання пористості, питомої площі поверхні, радіусу пір та ін. Принцип дії – статичний манометричний метод.

На приладі «Accusorb 2100» згідно з методикою знімали ізотерми адсорбції та десорбції при температурі рідкого азоту (відтворюваність $\sim 0,5$ %), використовуючи гази особливої чистоти марки А: азот – як адсорбат, гелій – для визначення об'єму. Дані датчика вводяться в розроблену програму UNIADS, яка представляє результат у вигляді залежностей: графік ізотерми адсорбції – залежність адсорбції азоту від відносного тиску азоту, де Am (мл/г) – об'єм моношару, S_{BET} (м²/г) – питома площа поверхні; графік диференціаль-

ної залежності обсягу пор порошку від радіусу пор; графік інтегральної пористості, де V_p (мл/г) сумарна пористість (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики вихідних шліфпорошків синтетичного алмазу марки АС6 різних зернистостей

Зернистість, мкм	Найменування показників			
	міцність, Н	однорідність за міцністю $K_{\text{одн.міц.}}$, %	питома магнітна сприйливість χ , $\cdot 10^8$ м ³ /кг	марка за ДСТУ 3292-95
160/125	10,5	25	21,8	АС6
125/100	9,1	23	19,4	
100/80	7,8	24	16,8	
80/63	6,7	24	14,5	
63/50	5,8	21	9,9	
50/40	4,1	21	7,8	

Як впливає з табл.1, шліфпорошки алмазу різних зернистостей від 160/125 до 50/40 за міцністю відносяться до марки АС6 з достатньо низьким коефіцієнтам однорідності.

Таблиця 2 – Фізико-хімічні характеристики вихідних шліфпорошків синтетичного алмазу марки АС6 різних зернистостей

Зернистість, мкм	Найменування показників			
	середній діаметр частинок, $d_{\text{ср.}}$, мкм	питома площа поверхні $S_{\text{БЕТ}}$, м ² /г	об'єм пор, $V \cdot 10^{-3}$, мл/г	середній радіус пори, R , Å
160/125	142,5	0,182	0,84	97,7
125/100	112,5	0,170	1,23	145,3
100/80	90,0	0,295	1,17	110,3
80/63	71,5	0,315	1,19	94,4
63/50	56,5	0,420	$1,27 \cdot 10^{-3}$	60,6
50/40	45,0	0,501	$2,53 \cdot 10^{-3}$	51,1

За результатами таблиці впливає, що з зменшенням середнього розміру зерен тобто зменшенням їх зернистості, їхня питома площа поверхні зерен зростає. Однак на основі ізотерм адсорбції азоту можна сказати, що дані матеріали мають поверхню близьку до геометричною (менше 1 м²/г) тобто практично не мають пор, а наявність мізерної кількості мезопор імовірно виникають швидше за все, при агрегації частинок.

Лавріненко В.І., Пошванюк Н.Ф., Бондарчук Л.П.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Тищенко В.А. Дніпровський
державний технічний університет, Кам'янське

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В НАПРЯМКУ ПОНОВЛЕННЯ РІЗУЧОЇ ЗДАТНОСТІ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

У багатьох випадках, особливо при шліфуванні важкооброблюваних матеріалів, з часом погіршується ріжуча здатність шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів і тому виникає необхідність в її поновленні. Відомо, що найбільш поширеними є два основних метода такого поновлення, це механічний, абразивними брусками, та електроерозійний. В даному повідомленні нами зупинена увага на сучасних (за останні 3 роки) публікаціях, пов'язаних із новітніми розробками саме у вказаному вище напрямку.

В дослідженні [1] вивчається механізм шліфування за допомогою ультразвукової еліптичної вібрації композитів 2.5DC/SiC. Експериментальні результати показують, що видалення матеріалу включає руйнування матриці і волокна (рис. 1). Ультразвукова вібрація викликає переривчасте різання, продукує більш дрібні частинки стружки і численні поперечні мікроканавки, що знижує пошкодження поверхні. Модель прогнозування шорсткості добре узгоджується із експериментальною тенденцією. При збільшенні швидкості шліфування з 1 м/с до 8,9 м/с шорсткість поверхні R_a знижується на 30,1%. При збільшенні швидкості подачі з 50 мм/хв. до 650 мм/хв. шорсткість поверхні R_a підвищується на 47,6%. При збільшенні глибини шліфування з 0,01 мм до 0,04 мм шорсткість поверхні R_a підвищується на 53,2%.

В дослідженні [2] пропонується новий метод поновлення різальної здатності алмазних шліфувальних кругів застосуванням технології гідроабразивної обробки (AWJ) для вирішення проблем пошкодження заготовки і засалення круга, які виникають при шліфуванні важкооброблюваних матеріалів звичайними алмазними шліфувальними кругами. Основні параметри процесу були визначені на основі теоретичної моделі правки алмазних шліфувальних кругів із застосуванням AWJ (рис. 2). Ця стаття дає теоретичні рекомендації по текстуруванню ріжучої поверхні алмазних кругів.

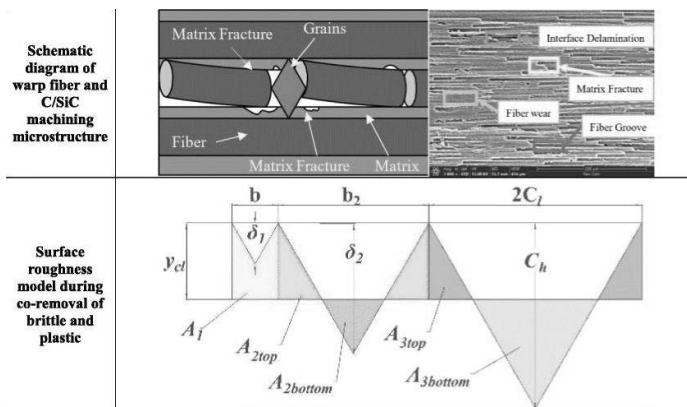


Рис. 1 – Схематична діаграма перерізу волокна основи при механічній обробці C/SiC та модель шорсткості поверхні при спільному видаленні крихкої основи і пластичного волокна в композиті [1]

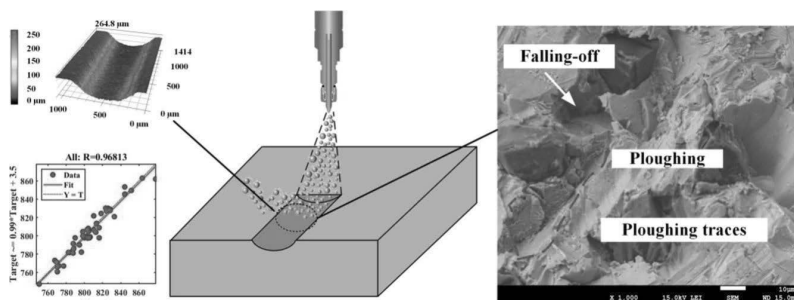


Рис. 2 – Формування мікроканалов при AWJ обробці та реальні сліди на ріжучій поверхні алмазного круга із місцями випадання алмазів [2]

Робота [3] присвячена шліфуванню реакційно-зв'язаного RB-SiC алмазним шліфувальним кругом з AWJ (рис. 3). Вивчався вплив параметрів обробки на силу шліфування і шорсткість обробленої поверхні. Показано, що при обробці відбувається ерозія зв'язуючого матеріалу внаслідок його мікрорізання, причому алмазні зерна швидше вириваються, аніж сколюються. Результати відбивають певну кореляцію між топографією обробленої поверхні і правкою алмазного круга. Технологія AWJ поліпшила шліфуємість RB-SiC і скоротила час поновлення ріжучої здатності круга.

В статті [4] поданий процес правки гальванічного алмазного шліфувального круга без погіршення алмазних зерен. В запропонованому новому методі застосовуються промислові субна-

носекундні лазери. Лазерна правка має широкі перспективи застосування, але проблема термічних пошкоджень алмаза ще не вирішена. Для її вирішення запропонований новий метод лазерної правки за допомогою розпилювача (spray-mist assistant – SMA). Результати свідчать, що ефект лазерної SMA тісно пов'язаний із тиском розпилення. Був запропонований новий метод оцінки процесу лазерної правки за допомогою розпиленого туману, що дозволило оцінити зміну алмазних зерен на поверхні шліфувального круга в процесі лазерної правки (рис. 4). Вплив лазерної SMA правки на виступання абразивних зерен на поверхні шліфувального круга можливо розділити на три ключових етапи: етап швидкого зменшення, етап повільного зменшення і етап стабілізації. Зафіксоване уповільнення графітизації алмаза за допомогою лазерної SMA-обробки, а і навіть можливе повне усунення явища графітизації.

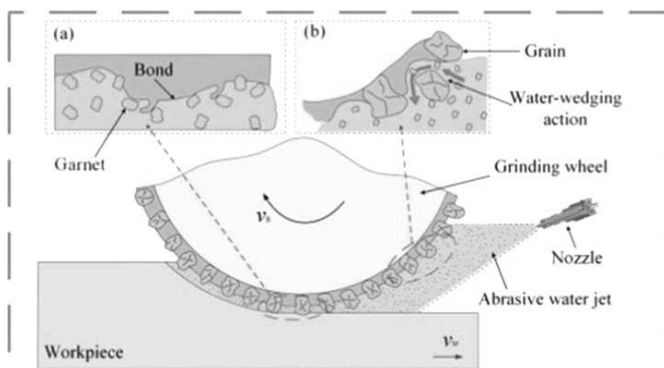


Рис. 3 – Схематичне представлення процесу алмазного шліфування з AWJ обробкою та дії гідроабразиву на ріжучу поверхню алмазного круга [3]

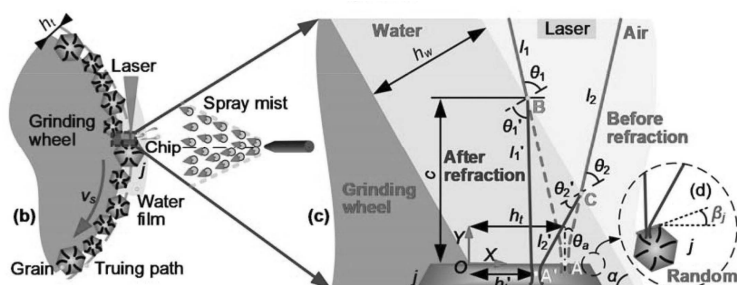


Рис. 4 – Принцип роботи спрею та лазера в умовах SMA: схема лазерної правки SMA (b), схема механізму впливу водної плівки на лазерний ефект правки (c), випадкова орієнтація абразивних зерен (d) [4]

В статті [5] описаний вище метод лазерної правки застосований вже для V-образного крупнозернистого шліфувального круга з кубічного нітриду бору (CBN) з гальванічним покриттям (рис. 5). Результати засвідчили, що більша швидкість шліфувального круга n визначається і більшим значенням енергії шліфування і її більш стабільним розподілом. При цьому глибина правки h не впливала на значення і стабільність енергії. Звернена увага на те, що CBN не піддавався фазовому переходу и міг витримувати більшу потужність лазера P_{avg} . Із збільшенням часу правки t геометрична точність V-образного шліфувального круга може бути поліпшена. Кут при вершині V-образного шліфувального круга міг досягати $90,15^\circ$ (відхилення $0,02^\circ$), радіус заокруглення вершини склав 53 мкм (менше 100 мкм). Шорсткість поверхні і зусилля шліфування, що відповідали лазерній правці, були меншими, аніж при механічній правці, необхідний час правки скоротився на 72–83%, а відповідний кут профілю вершини і його округлення були в основному такими ж. Тобто, лазерна правка може підвищити якість та ефективність шліфування за рахунок забезпечення V-образного профілю і може стати гарною альтернативою механічній правці.

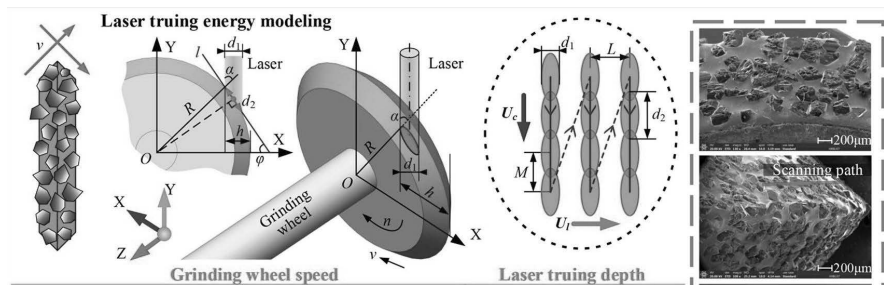


Рис. 5 – Імпульсний лазерний принцип правки V-подібного крупнозернистого гальванічного CBN шліфувального круга [5]

Таким чином, з наведеного вище видно, що нині дослідники застосовують новітні методи впливу на ріжучу поверхню круга: гідроабразивний та лазерний вплив. Причому гідроабразивний вплив є більш ефективним для багатошарових шліфувальних кругів, а лазерний виявився кращим для одношарових гальванічних шліфувальних кругів, як з алмазів, так і кубічного нітриду бору. Ультразвукова вібрація додає позитиву, коли необхідно досягти переривчастого різання, особливо при крихко-пластичному переході.

Література

1. Zhou Y., Jia S., Lu Y., Liu J., Ma L., Li M., Li D., Yin G. Study on ultrasonic elliptical vibration-assisted grinding mechanism and surface quality of C/SiC composite material. *Diamond and Related Materials*. 2024. Vol. 149, 111565. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2024.111565>
2. Zhang S., Zhang Z., Xing H., Hao G., Liang X. Analysis and optimization of abrasive waterjet dressing parameters for surface texturing of diamond grinding wheels. *Diamond and Related Materials*. 2024. Vol. 149, 111661. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2024.111661>
3. Zhang Z., Wang R., Wang C., Zhang H., Liang X. Enhancing the grinding performance of RB-SiC ceramic using abrasive water jet dressed diamond grinding wheels. *Tribology International*. 2024. Vol. 194, 109477. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109477>
4. Meng Q., Guo B., Wu G., Xiang Y., Guo Z., Zhao Q., Li K., Chen B. Precision truing of electroplated diamond grinding wheels via spray-mist-assisted laser technology. *Materials & Design*. 2022. Vol. 224, 111409. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111409>
5. Guo B., Meng Q., Li S., Wu G., Xiang Y., Zhao Q. Pulse laser precision truing of the V-shaped coarse-grained electroplating CBN grinding wheel. *Materials & Design*. 2022. Vol. 217, 110650. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110650>

*Лавріненко В.І., Смоквина В.В., Ільницька Г.Д.,
Олійник Н.О., Базалій Г.А., Бологов П.І., Кошкін О.М.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ ФЛОТАЦІЙНИМ РОЗДІЛЕННЯМ

В машинобудуванні порошки синтетичного алмазу невеликої міцності марок АС6–АС32 широко застосовуються в процесах механообробки, однак працездатність будь-якого алмазомісткого інструменту значною мірою визначається властивостями шліфпорошку алмазу.

В сучасних публікаціях розглядається використання флотації як способу покращення якості уже виготовлених кондиційних алмазних порошків не тільки за статичною міцністю, але і за абразивною здатністю та за окремими морфометричними характеристиками.

Дослідження проводили на шліфпорошках алмазу марки АС20 зернистості 100/80, що синтезовані у системі Ni-Mn-C, та продуктах його флотаційного розділення: пінного та камерного. Методика дослідження включала визначення впливу різних способів попередньої обробки зерен шліфпорошків алмазу при флотаційному розділенні на зміну показників їх фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик. Після розділення встановлювали фізико-механічні характеристики шліфпорошків алмазу: статичну міцність при стисканні (Р, Н); загальний вміст домішок та включень; вміст розчинних домішок; показник оцінки зернового складу (мас.% крупної, основної та дрібної фракції); питому магнітну сприйнятливість ($\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг); показник міцності зерен шліф порошків алмазу при статичному стиску та однорідність за міцністю, за методиками створеними у Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля (табл. 1)

Таблиця 1 – Характеристики властивостей вихідного шліфпорошку марки АС20 зернистості 100/80 та продуктів його флотаційного розділення

Показники	Вихідний порошок	Продукти розподілу порошку		Різниця показників продуктів
		пінний	камерний	
Масова частка зразка порошку, %	100	13,41	86,55	< 6,5 разів
Питома магнітна сприйнятливість, (середнє значення), $\chi \cdot 10^{-8}$ м ³ /кг	0,810	0,002	0,780	різняються на 2 порядки
Масова частка домішок – неспалимий залишок, % за масою	1,48	0,20	0,99	< 5 разів
Показник міцності при статичному стиску, Н	13,0	16,5	12,5	> 1,3 рази
Однорідність за міцністю, %	16,0	20,0	14,0	> 1,4 рази

Окрім цього, встановлено, що під впливом флотаційного розділення алмазного порошку марки АС20 зернистості 100/80, яке відбувається у гравітаційному полі, можна отримати порошки фізико-механічні характеристики яких суттєво відрізняються від характеристик вихідного порошку. Зокрема, в процесі дослідження отри-

мано пінний продукт з підвищеним показником міцності при статичному стисканні на 23,8%, підвищеною однорідністю за міцністю на 25,0%, суттєво зниженою часткою домішок та включень. А застосування способу, що включає підготовку порошку ВЕР обробленням до розділення при флотації дозволило отримати порошок, який характеризується збільшеним показником міцності при статичному стиску на 23,8%, збільшеною однорідністю за міцністю на 25,0%, суттєво зниженою кількістю включень.

Отримані флотаційним розділенням алмазні шліфпорошки АС20 100/80 (вихідний, камерний та пінний) були застосовані при виготовленні алмазних шліфувальних кругів форморозміру 12А2-45° 125×5×3×32 на полімерній зв'язці В2-08 з відносною концентрацією алмазів в робочому шарі – 100%. Для обробки цими кругами був вибраний важкооброблюваний вольфрамо-кобальтовий твердий сплав марки ВК6 з розмірами зразка 63×15×7 мм. Шліфування провадилося без охолодження, щоби не вносити додаткових збурень в процес обробки. Режими шліфування: швидкість обертання круга – 18 м/с, поперечна подача – 0,05 мм/подв. хід, повздовжня подача – 0,57 м/хв. (для продуктивності обробки 200 мм³/хв.) та 1,14 м/хв. (для продуктивності обробки 400 мм³/хв.). Оцінювалася зносостійкість шліфувального інструменту за показником відносних витрат алмазів (q_p) та шорсткість обробленої поверхні за показником (Ra). Результати випробувань наведені в табл. 2.

Таблиця 2– Експлуатаційні показники алмазних шліфувальних кругів із різними варіантами флотаційного сортування алмазних зерен

Характеристика алмазних порошків АС20 100/80	Продуктивність обробки:			
	200 мм ³ /хв		400 мм ³ /хв	
	q_p , мг/г	Ra , мкм	q_p , мг/г	Ra , мкм
пінний продукт	3,2	0,42	11,1	0,37
камерний продукт	5,4	0,30	21,3	0,44
вихідний продукт	3,6	0,43	19,5	0,46

Тобто, з боку зносостійкості алмазного круга саме пінне флотаційне сортування алмазного шліфпорошку є найбільш ефективним. Причому із підвищенням продуктивності шліфування така ефективність зростає. Так, при продуктивності шліфування у 200 мм³/хв. підвищення зносостійкості відносно вихідного круга складає 1,125 разів, а при 400 мм³/хв вже 1,76 раз. Тоді як застосу-

вання алмазів від їх камерного флотаційного сортування гарантовано підвищує знос кругу відносно застосування вихідних алмазів (див. табл. 2). Отримані результати засвідчують можливість підвищення зносостійкості алмазного інструменту якщо впливати на характеристики алмазу методами флотації.

Лавріненко В.І. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Солод В.Ю., Кашинський І.С. Музичка Д.Г. Дніпровський
державний технічний університет, Кам'янське

НОВІТНІ РОЗРОБКИ В НАПРЯМКУ ВИГОТОВЛЕННЯ 3D- ДРУКОМ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Методи адитивного виробництва (additive manufacturing – AM) мають суттєві переваги для отримання індивідуальних виробів та прототипів, дозволяють знизити витрати, а також прискорити вихід продукції на ринок. Нині технологія 3D-друку дісталася до шліфувальних інструментів, а навіть інструментальних матеріалів. В даному повідомленні нами зупинена увага на сучасних (переважно 2024 р.) публікаціях, пов'язаних із новітніми розробками саме у останньому напрямку.

Метою статті [1] є розширення знань в області шліфування шляхом вивчення зв'язуючих на основі акрилатної смоли з різними механічними і термічними характеристиками для 3D-друку шліфувальних кругів. Помітне поліпшення характеристик шліфування було досягнуте за рахунок застосування термостійкої зв'язки, як для м'якого алюмінію, так і загартованої сталі. Встановлено, що застосування зв'язки з більш високими механічними і термічними характеристиками дозволяє забезпечити гарне утримання зерна при підвищених температурах, що сприяє зменшенню зусилля шліфування (до 58% та 18% для м'яких і твердих металів відповідно). Як наслідок, це дозволяє значно подовжити строк служби інструмента, а також підвищити точність розмірів. Застосування лише термостійкої смоли привело лише до невеликого збільшення строку служби інструмента при шліфуванні твердих металів з-за дуже агресивних умов шліфування. Шорсткість обробленої поверхні, значно по-

ліпшилася за рахунок використання термостійкої смоли, зафіксоване зниження значень шорсткості на 33% та 30% для алюмінію і твердого металу відповідно, у порівнянні з тими, які були відшліфовані кругом із смолою з більш низькою термостійкістю.

В статті [2] представлено нову стратегію виготовлення 3D-друком шліфувальних інструментів з умовно кристалічною структурою із застосуванням технології багатоструменевого синтезу (multi jet fusion – MJF), і п'ять структур були вибрані для оцінки її здійснимості та досягнення продуктивності шліфування. Аналіз результатів свідчить, що кристалічна структура забезпечує однакову макроскопічну жорсткість інструментів і вносить мікроскопічну анізотропію податливості (рис. 1).

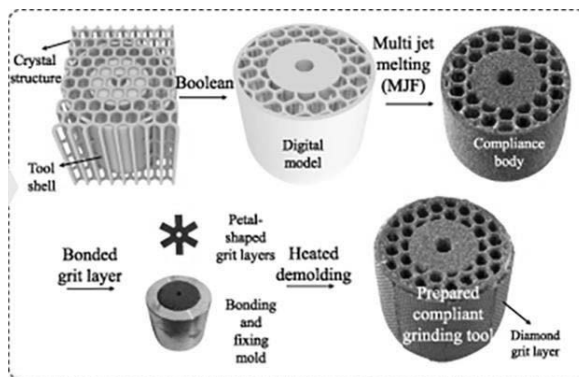


Рис. 1 – Схематична послідовність отримання алмазного інструменту кристалічної структури методом 3D-друку [2]

Кристалічна структура призвела до зменшення коефіцієнта висмикування зерна більш ніж на 82,60%, а також полегшила адгезію і запобігла відпаданню абразивного шару, що призвело до подовження терміну служби інструменту. Крім того, шліфувальні інструменти з кристалічною структурою досягли кращої здатності видалення матеріалу, меншої шорсткості поверхні та вищої енергоефективності. Крім того, вони використовували лише від 29,06% до 36,22% матеріалів, на відміну від інструмента із щільною структурою. Примітно, що швидкість видалення матеріалу інструмента зі зірчастою структурою може досягати 94,72% інструмента з щільною структурою. Інструмент із алмазною структурою продемонстрував найнижчий рівень R_a , що супроводжувалося зниженням температури шліфування на 19,4 °С.

Широке застосування керамічних виробів в різних галузях промисловості обумовлює необхідність пошуку методів їх ефективної обробки. В статті [3] проаналізовані характеристики і величина зносу абразивного інструмента з поліаміду PA2200, надрукованого методом селективного лазерного спікання (selective laser sintering – SLS), призначеного для односторонньої притирки технічної кераміки Al_2O_3 . Розроблений прототип інструмента, характеризувався порівняно низьким значенням зносу при обробці цієї кераміки (рис. 2). Технологічний результат показав втрату маси зразка в розмірі 12,13 г після 360 хв шліфовки і втрату маси зразка в розмірі 18,43 г після 840 хв шліфовки зразка.

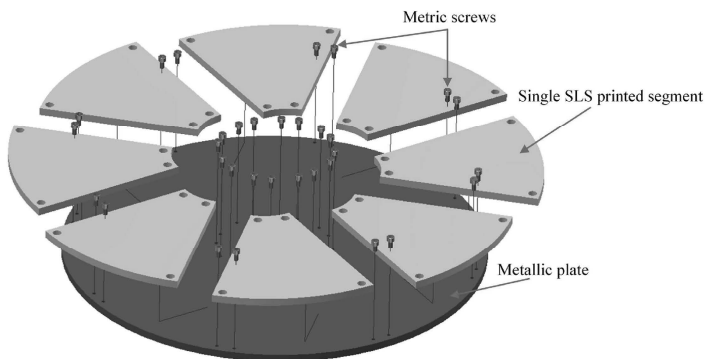


Рис. 2 – Схематичне зображення притирального диска, що складається з восьми абразивних сегментів отриманих 3D-друком, закріплених на металевій пластині [3]

Топографія поверхні притирального інструмента була проаналізована після обробки керамічного матеріалу протягом 840 хв і показала, що найбільш висока зона контакту інструмента із заготовкою знаходиться у діапазоні радіуса інструмента 75–105 мм. Найбільш низька просторова шорсткість заходиться на радіусі 85 мм із значенням $Sa = 5,32$ мкм, і це місце позиціонується як місце найбільшого зносу притирочного інструмента. Прийнятий комплекс технологічних параметрів дозволив добитися суттєвого згладжування обробленої поверхні кераміки и зниження значень параметрів шорсткості з вихідного рівня $Sa = 1,84$ мкм, $Sq = 2,24$ мкм до значень $Sa = 0,64$ мкм, $Sq = 0,96$ мкм після 600 хв притирки. В цілому, надрукований SLS інструмент показав гарне видалення матеріалу і порівняно низькі швидкості зносу. Експериментальні спостереження підтвердили ре-

зультати моделювання, які засвідчили, що ближній внутрішній радіус притирального інструмента мав найбільший знос, що заслуговує уваги і дає важливу інформацію для подальшого поліпшення конструкції інструменту.

Наведене вище відносилось до полімерних зв'язуючих, але останнім часом з'являються публікації по 3-D друку з металевими зв'язуючими [4]. Деякі дефекти, такі як дрібні пори, термічне пошкодження алмазних частинок і мікротріщини між алмазом та металічною матрицею, присутні в алмазних інструментах з металічною зв'язкою, виготовлених методом селективної лазерної плавки (selective laser melting – SLM). В роботі [4] була розроблена модель мультифізичного поля, основана на обчислювальній гідродинаміці, для дослідження еволюції розплавленої зони і механізму утворення дефектів в алмазних композитах Cu-Sn20, виготовлених методом SLM. За результатами моделювання, металічні частинки плавляться і течуть вперед під дією лазера (рис. 3). Також наявність алмазних частинок може перешкоджати нормальній течії розплавленої маси Cu-Sn20. Збільшення потужності лазера може розширити і стабілізувати зону розплаву, але усугубити термічне пошкодження алмазних частинок.

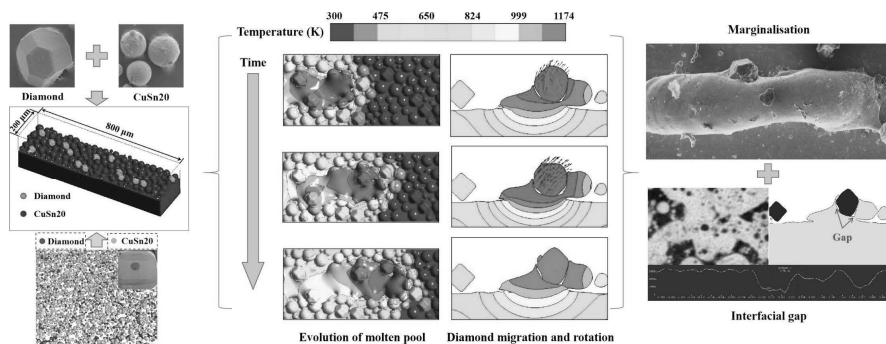


Рис. 3 – Особливості процесу формування алмазного ріжучого шару інструментів на металічній зв'язці, виготовлених методом SLM [4]

Так, шляхом моделювання і експериментальними результатами були виявлені міграція і маргіналізація алмазних частинок під час утворення зони розплаву [4]. При цьому неминуче виникають очевидні розриви в області міжфазного з'єднання алмаза та Cu-Sn20 за комплексних причин температурного градієнту, відмінностей в

теплофізичних властивостях двох матеріалів, неперервної міграції і крутної поведінки алмазних частинок.

Наведене вище вказує на те, що важливо звертати увагу на вихідний порошок для лазерного спікання. Лазерне сплавлення порошкового шару (L-PBF) дозволяє отримувати індивідуальні структури шляхом пошарового сплавлення металевих порошоків. Вплив на сипучість і якість шару порошку контролювався за допомогою спеціально розроблених експериментів і тестів на зсув порошку. Окиснення порошку покращило технологічність L-PBF шляхом покращення однорідності розподілу порошку та формування стабільних лазерних кульок (рис. 4). Застосуванням при L-PBF сильно окиснених порошоків був синтезований сплав нержавіючої сталі з керамічним покриттям, армований однорідними оксидами на основі (Si, Mn). Встановлено, що механічна міцність цього сплаву подібна до того, що був отриманий з використанням первинних порошоків [5].

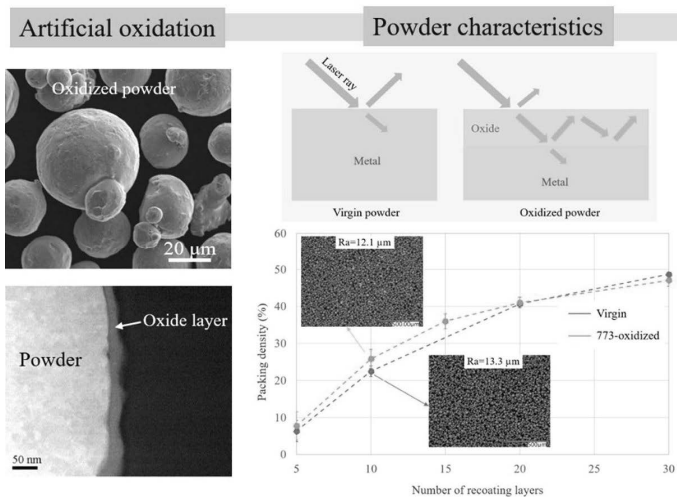


Рис. 4 – Особливості впливу окисненого шару на металевих порошках на їх властивості для лазерного сплавлення порошкового шару (L-PBF) [5]

Останнім часом виробничники отримують деякі інструментальні та мартенситностаріючі сталі за допомогою селективної лазерної плавки (selective laser melting – SLM). В роботі [6] досліджувалися тертя та знос SLM інструментальних матеріалів при ковзанні по твердому сплаву (WC – 5–7% Co) при різних температурах. За еталон застосована інструментальна сталь, отримана традиційним

способом. Встановлено, тертя і знос інструментальної сталі АМ і еталонної інструментальної сталі дуже схожі (рис. 5), тому ніяких ознаків впливу технології АМ на трибологічні властивості не спостерігалось. Обидві інструментальні сталі показали зниження об'єму зносу із ростом температури, в той же час для контртіла WC-Co більш висока температура привела до збільшення кількості W, переносимого на сліди зносу інструментальної сталі. Мартенситностаріюча сталь АМ показала більш високий і більш нестабільний рівень тертя, а також значно більший об'єм зносу при всіх температурах. В цілому, утворення трибошару (або його відсутність) було домінуючим аспектом в трибологічних реакціях.

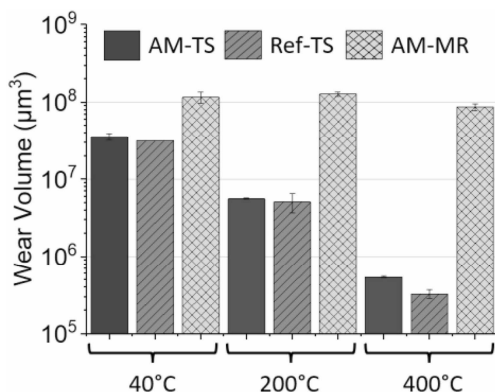


Рис. 5 – Об'єм зносу інструментальних матеріалів при різних температурах при ковзанні по WC-Co: вуглецева мартенситна інструментальна сталь (X35CrMoV5-2), виробництва SLM (AM-TS); традиційно виготовлена (лиття зливків і електрошлаковий переплав) інструментальна сталь вказаного вище складу (Ref-TS) і отримана технологією SLM мартенситностаріюча сталь з низьким вмістом Ni (AM-MR) [6]

АМ виробництво дозволяє виготовляти компоненти з титанового сплаву близькими до їх кінцевої форми, що знижує необхідність в їх обробці. Але обробка після АМ стає необхідною для поточного корегування конструкції, зміни розмірів і поліпшення якості поверхні. Характерні для адитивного виробництва теплові ефекти ускладнюють їх обробку з-за змінених механічних властивостей у порівнянні з металургійним аналогом, включаючи підвищену міцність і твердість при зниженій пластичності. Для поліпшення оброблюваності таких сплавів застосовуються текстуровані різальні ін-

струменти. В статті [7] на передній поверхні пластин з твердого сплаву на основі карбіду вольфраму текстури типу мікростовпчиків (рис. 6), створювалися за допомогою мікроелектроерозійної обробки, що застосовувалося при вивченні оброблюваності титанового сплаву Ti6Al4V, отриманого за технологією SLM. При мінімальній кількості змащування (MQL) текстуровані інструменти дозволяють досягти подрібнення стружки, а відповідне зменшення на 38% площі контакту інструмента зі стружкою вказує на зниження температури на різальному клині інструмента. За умов MQL спостерігається максимальне 28,9% зниження сили подачі, що свідчить про поліпшення умов тертя в зоні різання.

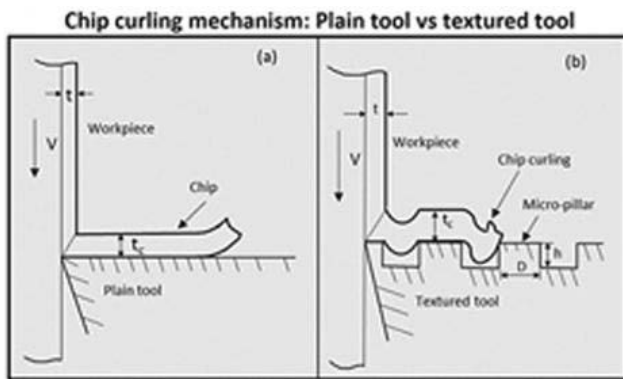


Рис. 6 – Формування на передній поверхні пластин з твердого сплаву на основі карбіду вольфраму текстури типу мікростовпчиків [7]

Література

1. Barmouz M., Steinhäuser F., Azarhoushang B., Khosravi J. Influence of bond thermal and mechanical properties on the additively manufactured grinding wheels performance: Mechanical, wear, surface integrity, and topography analysis. *Wear*. 2024. Vols. 538–539, 205215. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205215>
2. Li M., Huang Y., Wang W., Yan S., Liu Y., Zou L. A novel 3D printed compliant ball-end grinding tool with crystal structure: Feasibility and performance analysis. *Materials & Design*. 2024. Vol. 237, 112591. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.112591>
3. Deja M., Zieliński D., Workineh Agebo S. Study on the wear characteristics of a 3D printed tool in flat lapping of Al₂O₃ ceramic materials. *Wear*. 2024. Vols. 556–557, 205515. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205515>

4. Xu Y., He Y., Huang G., Sun Y., Li T., Xu X. Numerical simulation and experimental investigation of the molten pool evolution and defects formation mechanism of Selective laser melted CuSn20/Diamond composites. *Materials & Design*. 2024. Vol. 243, 113082. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113082>

5. Zhou W., Takase N., Dong M., Watanabe N., Guo S., Zhou Z., Nomura N. Elucidating the impact of severe oxidation on the powder properties and laser melting behaviors. *Materials & Design*. 2022. Vol. 221, 110959. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110959>

6. Macêdo G., Pelcastre L., Prakash B., Hardell J. Effect of temperature on the tribological behavior of additively manufactured tool materials in reciprocating sliding against cemented carbide. *Wear*. 2024. Vols. 552–553, 205453. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205453>

7. Saraf G., Imam S., Nirala C.K. Machinability analysis of additively manufactured Ti6Al4V using micro-pillar textured tool under various cutting fluid strategies. *Wear*. 2024. Vols. 556–557, 205514. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205514>

Леценко О.І. Приазовський державний
технічний університет, Маріуполь–Дніпро

ПАРАМЕТРИ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ НА ЇХ ВПЛИВ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ТА ЯКІСТЬ РЕЙКОВОГО ПРОКАТУ

Велике значення для отримання якісного рейкового прокату (рис. 1, *a*) мають такі фактори, як якість металу, правильність розрахунку калібрування валків та якість їх виготовлення.

Одним з найбільш важливих питань при калібруванні будь-якого профілю є розширення, від якого залежить заповнення калібру металом і, відповідно, отримання профілю заданої форми. Для прокатки рейок характерно обмежене розширення, коли перебігу металу в поперечному напрямку перешкоджають контактні сили тертя. У звичайних умовах прокатки зі збільшенням контактного тертя підвищується розширення. Пояснюється це тим, що зі зростанням коефіцієнта тертя за інших рівних умов зростає надлишок сил тертя в поздовжньому напрямку. В результаті відбувається зменшення поздовжньої та збільшення поперечної деформації, тоб-

то збільшення розширення. У формулі А.М. Чекмарьова значення розширення сортового прокату пропорційне назад коефіцієнту тертя, значення якого безпосередньо пов'язане з висотою мікронерівностей профілю калібрів валка. Для визначення максимального стиснення в прокатці застосовуються формула В.Р. Губкіна, котра включає коефіцієнт, що представляє добуток коефіцієнтів, які оцінюють багато параметрів, включаючи тертя, шорсткість поверхні валка, вплив якої враховується за допомогою коефіцієнта 0,7–1,1.

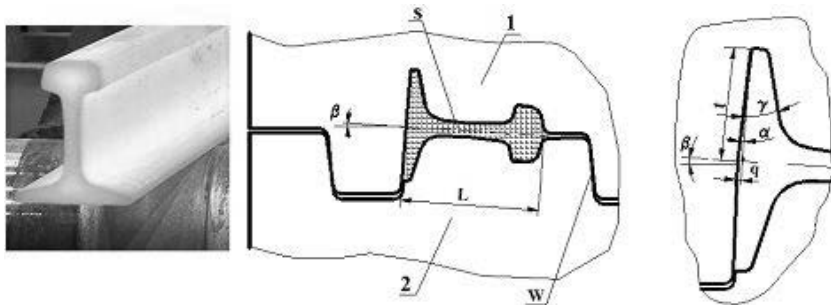


Рис. 1 – Калібруванні профілю рейкового прокату:

1 – струмки верхнього валка, *2* – струмки калібру, нижнього валка, *S* – калібр
W – «замок» та геометрія валків, що формує підшви рейки

Г. І. Бельченко в такий спосіб пояснює механізм руйнування калібрів: мікронерівності на формуючій поверхні сприяють налипанню на неї частинок металу («ковування» і «навари»), що негативно впливає на якість прокату і знижує термін служби валка. Найбільші вимоги щодо точності профілю пред'являються до валків чистового прокату рейки (рис. 1, б), для яких застосовують калібр *S* сформований струмками двох валків: – верхнім *1*, із закритими струмками (лінія роз'єму в межах контуру струмка) та нижнім *2*, з відкритими (лінія роз'єму за межами контуру).

Отримання кінцевого профілю з розмірами в межах поля допуску ускладнюється тим, що рейкові калібри несиметричні щодо своєї вертикальної осі, внаслідок чого при прокатуванні виникає тиск, що призводить до збільшення товщини підшви та зменшення товщини головки. Щоб зменшити вплив цієї особливості у валках передбачають односторонні опорні замки *W* – робочі конусності, верхнього та нижнього валків. Ці конічні поверхні працюють як підшипники ковзання, що компенсують осьові навантаження, викли-

кані зусиллями деформації заготовівлі, що прокочується, тому до них пред'являються підвищені вимоги по точності і шорсткості.

Згідно з дослідженням з теорії прокатки рейка правильної форми з точним виконанням опуклості головки, може бути отримана тільки в калібрі, який з боку головки матиме роз'єм по осі симетрії, а з боку підосви – за межами врізування в заготовку валка при його механообробці.

Саме тому валки мають закриті та відкриті струмки. Однак при такій конструкції калібру неминучий знос стінки t що формує підосву рейки та викликає вигин виробу в горизонтальній площині (серповидність). Щоб запобігти похибці форми, поверхні струмка формуючого підосву рейки, надають опуклість у межах $q = 0,1-0,2$ мм. Тоді, наприклад, для рейки Р65 при $t = 75$ мм кут конусності повинен знаходитися в межах $\alpha = 0,08-0,15^\circ$.

За даними площа S чистового калібру повинна перевищувати площу перерізу готового профілю в 1,011–1,015 – допуск менше 0,5%. Така умова є вирішальною для розміру рейки – висоти L .

Не допустити гвинтоподібність профілю, можна якщо вісь калібру розташована під деяким кутом до осі валків. При косо розміщених калібрах нівелюється вплив розширення і стає можливим вести прокат з негативним розширенням. З цією метою, нейтральний переріз калібру розташовують під кутом β до осі валка, що створює додатково нетехнологічні умови, з точки зору механообробки.

Необхідним елементом калібрів є заокруглення (галтелі) у місцях сполучення дна струмка зі стінками випуску. Встановлено, що при виробництві сортових профілів зношуються ділянки струмків калібрування – галтелі та бічні поверхні, тому для зниження тертя до них пред'являються високі вимоги щодо точності та шорсткості.

Висновки. Таким чином, причиною отримання неякісного прокату може бути безліч факторів, проте проведений аналіз охоплює ті з них, які безпосередньо залежать від точності виготовлення профілю калібру, але і вони не вичерпують всіх обставин, що впливають на геометрію калібру, а лише виділяють основні вимоги до технології розточування валків рейкособалочних та великосортних прокатних станів. Також, проведений аналіз показав тісний взаємозв'язок точності профілю калібру, з параметрами сортового прокату.

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ ТЕХНІЧНИХ ПОСЛУГ ПІД ЧАС МОНТАЖУ І ДІАГНОСТИКИ В ЕНЕРГЕТИЦІ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто проблеми розвитку ринкової економіки. Показано, що успішне вирішення проблеми підвищення якості, конкурентоспроможності та безпеки зварної конструкції визначається ефективністю системи управління якістю при виробництві, монтажі, неруйнівному контролі і ремонті.

В умовах необхідності виходу українських промислових підприємств на світовий ринок актуальною проблемою є підвищення якості продукції, що випускається і відповідність її характеристик міжнародним стандартам. Як відомо, один з ефективних шляхів вирішення цієї проблеми – впровадження системи управління якістю продукції за стандартом ISO 9001:2015. Підготовка підприємства і впровадження цієї системи дозволяє:

- підвищити якість продукції і створити умови його безперервного зростання;
- забезпечити стабільні поставки і якість сировинних матеріалів, комплектуючих і зварних конструкцій;
- встановити ділові партнерські відносини з Замовниками, що дозволить підвищити конкурентоспроможність продукції та технічних послуг;
- створити струнку систему управління підприємством.

Як свідчить досвід розвитку ринкової економіки, успішне вирішення проблеми підвищення якості, конкурентоспроможності та безпеки зварної конструкції визначається ефективністю системи організації та управління при виробництві, монтажі та ремонті.

Розробка стратегії конкуренції в значній мірі пов'язана з визначенням формулювання того, яким буде бізнес, якими повинні бути цілі і яка політика якості є необхідною для її досягнення.

Стратегія конкуренції в зварювальному виробництві є комбінацією кінцевої мети організації (фірми) і засобів, якими вона прагне досягти цю мету – забезпечити стабільні поставки і якість сировинних матеріалів, комплектуючих або монтаж зварних конструкцій.

На вищому рівні формулювання стратегії випробувань передбачені три основні чинники, що визначають межі успішної діяльно-

сті організації. Сильні і слабкі місця в фірмі – це характер її активів і досвіду але порівняно з конкурентами, включаючи фінансові ресурси, компетентність в області неруйнівного контролю і технічної діагностики (НК і ТД), стан технологічних процесів зварювання (WPS), наявність системи управління якістю (ISO 9001:2015).

Персональні цінності організації – це мотиваційні установки, вимоги керівників та інших співробітників, які повинні впроваджувати обрану стратегію і систему управління якістю (ДСТУ ISO 9001, ДСТУ ISO 3834). Сильні і слабкі місця, в поєднанні з ціннісними орієнтирами системи управління якістю, визначають внутрішні (для фірми) кордони стратегії конкуренції, які вона може успішно взяти на озброєння при виконанні технічних послуг в області НК і ТД, а також зварювання конструкцій (при ремонті і монтажі).

Стандарти серії ДСТУ ISO 3834 «Вимоги до якості зварювання. Зварювання плавленням металевих матеріалів» конкретизують вимоги до системи якості па основі стандартів серії ДСТУ ISO 9000 стосовно зварювального виробництва. Вони забезпечують систему управління виробництвом критеріями оцінки засобів досягнення встановленої якості фірмами та організаціями, які виконують зварювально-монтажні, ремонтні роботи (послуги), НК і ТД.

Виконання вимог стандартів серії ДСТУ ISO 9004 і ДСТУ ISO 3834 в зварювальному виробництві неможливо без підтвердження відповідності наданих послуг вимогам стандарту ISO 14731 «Координація зварювальних робіт. Завдання і відповідальність». Цей стандарт конкретизує вимоги до координації зварювальних робіт і містить рекомендації щодо виконання цих вимог.

Згідно ISO 14731 завдання і відповідальність персоналу, діяльність якого відноситься до зварювання і контролю (включаючи планування, керівництво, нагляд і контроль) повинні бути ясно визначені.

Головною проблемою при побудові системи управління якістю є визначення завдань і відповідальності, які спрямовані на забезпечення якості конструкції (послуг). Тому вони включаються в координацію виробничої діяльності, пов'язаної зі зварюванням і контролем.

Принципи координації зварювальних робіт можуть встановлюватися виробником, за контрактом або стандартом на продукцію при виготовленні або у роботі відповідальних конструкцій і «Керівництвом з якості» (ISO 9001:2015) підприємства (фірми).

При цьому вводиться термін персонал для координації зварювальних робіт (персонал, який відповідає за виробничі операції зі зварювання, НК і ТД, діяльність, пов'язану зі зварюванням, компе-

тентність і знання якого підтверджені навчанням, освітою або відповідним виробничим досвідом і атестацією та внутрішній аудитор з якості).

Виробник повинен призначити наказом щонайменше одного відповідального з внутрішнього аудиту зварювальних робіт і контролю з правом підпису спеціальних, технологічних документів. За всіма визначеними завданнями персонал повинен мати відповідні технічні знання, які є достатніми для задовільного виконання своїх функцій, і бути атестованим. Обсяг необхідного виробничого досвіду, освіти і технічних знань повинен бути встановлений спеціалізованою організацією і залежати від конкретних завдань і відповідальності фахівців.

В результаті компанія зможе зміцнити свою конкурентну позицію, а також досягти підвищення ступеня задоволеності споживачів після зварювання, НК і ТД конструкцій.

Відповідно до закону конкуренції в світі відбувається об'єктивний процес підвищення якості технічних послуг і зниження їх питомої ціни. Конкуренція сприяє «вимиванню» з ринку неякісних, дорогих технічних послуг.

Існує три підходи до визначення конкуренції. Перший визначає конкуренцію як змагальність на ринку технічних послуг; другий розглядає конкуренцію як елемент ринкового механізму який дозволяє врівноважити попит і пропозицію. Третій підхід визначає конкуренцію як критерії, за яким визначають тип галузевого ринку.

Перший підхід найбільш поширений і ґрунтується на повсякденному розумінні конкуренції як суперництва за досягнення кращих результатів на ринку технічних послуг при монтажі і НК, ТД.

Основою конкурентоспроможності є якість технічних послуг. Крім якості в поняття конкурентоспроможність входить ціна, терміни виконання робіт, гарантії, сервісне обслуговування і ряд інших складових. Але при цьому якість послуг є визначальним при виборі споживачем потрібної йому технічної послуги.

Не можна розраховувати на стабільне забезпечення якості технічних послуг без впровадження системи менеджменту якості, що відповідає рівню організаційних робіт в галузі зварювання, НК і діагностики відповідно до стандартів ДСТУ ISO 9004, ДСТУ ISO 3834, ДСТУ ISO 14731 і навчання керівників вищої ланки світового досвіду вдосконалення.

Вміле використання трьох загальних стратегій вимагає різних ресурсів і навичок. Загальні стратегії також передбачають різні організаційні заходи, процедури контролю та системи вимірювань,

тому для досягнення успіху необхідно дотримуватися однієї з цих стратегій як першочергової мети.

Для ефективного контролю зварних конструкцій необхідно дотримуватися системи контролю, що охоплює оцінки всіх робіт, матеріалів і устаткування, які використовуються для виконання технологічних процесів.

Контроль виготовлення зварних конструкцій на всіх стадіях виготовлення зведений до: вхідного, операційного, лабораторного, приймально-здавальні.

Інтелектуальний та емоційний капітал речі тісно пов'язані. М-р Томас Стюарт у своїй книзі говорить про існування трьох типів інтелектуального капіталу: «людського капіталу»; «Структурного капіталу»; «Споживчого капіталу».

«Людський капітал» це єдина концепція, що описує два феномена: що думаємо і відчуваємо. Обидва ці феномени потребують визначення та оцінки з точки зору додаткової вартості, яку приносять організація (фірма).

Це ще раз доводить, що саме знання в галузі зварювання, НК і ТД повинні використовуватися, щоб підвищити цінність підприємства і для підвищення шансів вижити при глобальній економічній кризі. А знання, що таїться в людських головах, цінно тільки тоді, коли персонал хоче його використовувати. Все це очевидно для надання технічних послуг і удосконалення підприємств по ISO 9001:2015.

Лопата В.Н. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України,
Лопата О.В. Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ
Солових А.Є., Катеринич С.Є. Центральноукраїнський
національний технічний університет, Кропивницький

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ШВИДКОЗНОШУВАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ БРОНЕТЕХНІКИ ЕЛЕКТРОДУГОВИМ НАПИЛЕННЯМ

Термін служби бронетехніки найчастіше визначається терміном служби двигунів. У процесі експлуатації бронетранспортерів за двигунами ведеться постійний контроль і ретельне обслуговування. Однак, вони першими з усіх агрегатів виходять з ладу, тому що деталі

двигуна навантажені значними зусиллями і піддаються хімічному та механічному впливу. Термін служби двигунів залежить від довговічності його відповідальних деталей. Найбільш швидко зношуються поршневі кільця, канавки поршнів, циліндри, шийки колінчастого валу. Несправності та дефекти інших вузлів і деталей впливають на технічний стан двигуна, але їх ремонт не потребує повного його розбирання, і ці дефекти можуть бути усунені шляхом заміни несправних вузлів і деталей новими. Термін служби деталі в першу чергу залежить від якості матеріалу, з якого вона виготовлена, її термічної та механічної обробки, точності складання та інших конструктивних та виробничих факторів. Практика показує, що вирішальний вплив на термін служби деталей двигунів мають умови експлуатації. Так, під час роботи двигунів найважливіші чинники, які впливають на зношування деталей, – абразивне середовище, кількість пусків і зупинок двигуна, температурний і навантажувальний режими, вібрація і деформація деталей. Темп зношування багатьох деталей двигуна переважно залежить від умов їх роботи і таких факторів, як: пило забрудненість повітря, кількість запусків двигуна та їх тривалість, температура навколишнього повітря, нерівномірність навантажувального та температурного режимів тощо. Якість і властивості олива сильно впливають на знос колінчастого валу та підшипників. Практика показує, що незадовільний стан олива та вузлів системи змащення, особливо фільтруючих пристроїв, значно посилює зношування шийок колінчастих валів. Абразивні частинки та продукти зносу, потрапляючи з маслом у підшипники та зношують шийки валу. Поява несправностей деталей двигунів бронетехніки призводить до необхідності розбирання двигуна з подальшим ремонтом. Відомі способи відновлення із застосуванням наплавлення або плазмового напилення трудомісткі, не забезпечують необхідної якості деталей, енергоємності та економічно недоцільні. Тому особливу увагу слід приділяти оснащенню ремонтного виробництва низьковартісними та низькоенергоємними методами та матеріалами, технологіями та обладнанням для відновлення та зміцнення деталей.

Мета цієї роботи – розробка та апробація низькоенергоємної та дешевої технології підвищення ресурсу деталей бронетехніки.

Розроблено технологію відновлення деталей двигунів і ходової частини бронетранспортерів електродуговим напиленням (ЕДН) сталей мартенситного та аустенітного класів, а також порошкових дротів ФМІ (склад дротів розроблений Фізико-механічним інститутом НАН України, м. Львів), що дозволяє отримувати робочі поверхні відпові-

дних деталей. із покриттями підвищеної зносостійкості. Приклади відрновлених деталей бронетранспортерів наведені рис. 1.

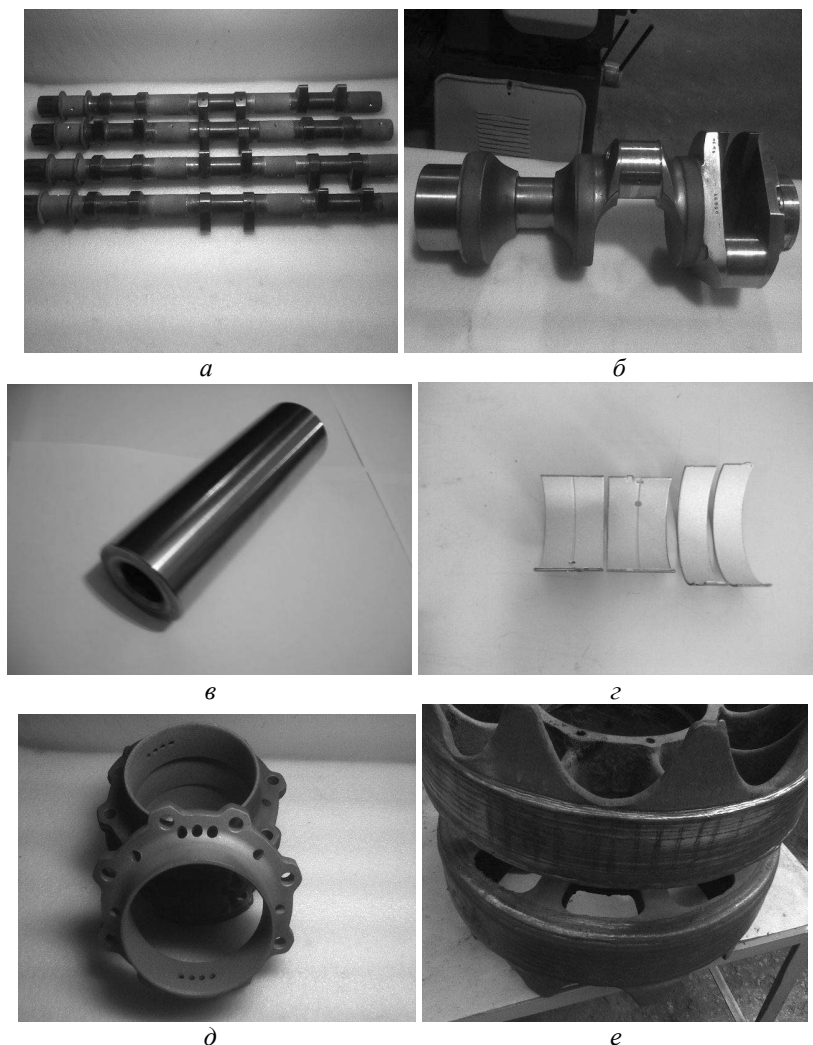


Рис. 1 – Відновлені деталі бронетехніки:

a – вал розподільний; *б* – вал колінчастий; *в* – палець поршневий; *г* – вкладиш опорної шийки коленвала; *д* – втулка лабіринтна; *е* – каток опорний

В основі методу ЕДН лежить процес плавлення дротів електричною дугою та розпилення розплавленого металу високошвидкісним струменем продуктів згоряння пропано-повітряної суміші. Ви-

користання в якості газу, що розпилює, продуктів згоряння пропано-повітряної суміші дозволяє знизити окислення металу, що напилюється, і вигорання легуючих елементів. Відсутність кисню як окислювача палива значно знижує собівартість покриттів і підвищує надійність і безпеку робіт, що проводяться. Висока продуктивність – перевага електродугового напилення. Продуктивність апарату для ЕДН сталі становить 18–32 кг/год. До переваг обладнання слід віднести легку та швидку заміну дротів і перехід з одного діаметра дроту на інший, швидкий доступ до всіх вузлів апарата, проста заміна роликів, що подають дріт без розбирання апарата, швидке техобслуговування та ремонт. Стабільність ведення процесу, великий час безперервної роботи гарантовані конструкцією та застосуванням високоякісних комплектуючих. Як матеріал для відновлення деталей бронетранспортерів використовували дріт зі сталей мартенситного класу 40X13 та порошковий дріт ФМІ. Можливе використання дротів з будь-яких металів, що випускаються промисловістю (вуглецева та нержавіюча сталь, цинк, алюміній, мідь, латунь, бронза, ніхром), і комбінація з будь-яких двох дротів. Товщина покриттів може становити 0,1–7,0 мм і більше.

Висновки. Пропонується розробка технологічних процесів зміцнення та відновлення деталей бронетранспортерів та нанесення антикорозійних покриттів, надання допомоги в організації ділянок під ключ, постачання та авторський нагляд за роботою обладнання. Можливе нанесення покриттів на великогабаритні деталі безпосередньо у замовника або виготовлення невеликих партій деталей на своєму виробництві.

Лопата Л.А., Рутковський А.В., Калініченко В.І.
Інститут Проблем міцності імені Г.С. Писаренка
НАН України, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розвиток сучасного вітчизняного транспорту (автомобільного, морського, авіаційного та іншого призначення) нерозривно пов'язаний з проблемою підвищення довговічності деталей його вузлів та

агрегатів. Більшість відмов засобів транспорту відбувається в результаті поверхневого руйнування і зношування. Причиною, яка зумовлює зниження надійності робочих параметрів транспортних засобів є знос їх деталей. Ремонтні транспортні підприємства витрачають більше 40% металу на виготовлення запасних деталей різних вузлів та агрегатів засобів транспорту. Розробку ефективних способів боротьби із зносом, збільшення довговічності деталей з метою підвищення ресурсу засобів транспорту можна віднести до одних з важливих проблем транспортної галузі. Дослідження в області тертя, зношування і нових матеріалів та багатофункціональних покриттів є передумовою для створення на цій основі нових способів і технологій відновлення та ремонту деталей вузлів та агрегатів засобів транспорту, спрямованих на вирішення питань збільшення довговічності їх швидкозношуваних деталей.

Одним із шляхів підвищення працездатності деталей засобів транспорту від зносу і корозії є нанесення багатофункціональних покриттів на їх робочі поверхні [1]. Характерною особливістю технологій нанесення покриттів є те, що не вдається отримати одночасне підвищення всіх властивостей деталі для всіх режимів експлуатації. Навіть один і той же матеріал покриття, але нанесений різними способами, показує різні експлуатаційні властивості. Для усунення цього недоліку при проектуванні покриттів використовують два метода [1]: 1) нанесення багатошарових, багатофункціональних покриттів; 2) розвиток комбінованих (інтегрованих, гібридних) багатоопераційних технологій.

З комбінованих (інтегрованих) технологій найбільший ефект за несучою здатністю забезпечують дуплексні покриття, що поєднують іонне азотування і нанесення вакуум-плазмового покриття [1]. Знаходять застосування комбіновані (інтегровані) технології в комбінації лазерного легування і хіміко-термічної обробки [2]. Ця комбінація дозволяє отримувати за рахунок утворення зміцнюючих дисперсних фаз твердість до 20 ГПа і призводить до збільшення зносостійкості в 1,5–3,0 рази [2].

Перспективним є відновлення комбінованими методами нанесення багатофункціональних покриттів з їх обробкою й модифікуванням [1, 2]. Застосовують комбінації наплавлення і хромування, наплавлення і поверхневого пластичного деформування, газотермічне напилення з оплавленням. Використовують комбінацію гальванічних покриттів і подальшу хіміко-термічну обробку [2]. Підвищують триботехнічні характеристики композиційних електродліт-

них покриттів лазерною обробкою, ультразвуковою обробкою, іонним азотуванням. Іонне азотування підвищує зносостійкість при абразивному зношуванні за рахунок перетворення електроосадженого хрому (Cr) в нітрид хрому (Cr_2N) [1]. Визначено механізм впливу термообробки на зміцнення електроосадженого Fe-B-покриття, що забезпечує підвищення зносостійкості [2]. Технологія відновлення зношених деталей електролітичним залізненням з подальшою нітроцементацією забезпечує високі експлуатаційні характеристики – міцність зчеплення, зносостійкість, втомну міцність [2]. Ефективне сульфоціанування електроосадженого Fe-B-покриття, що забезпечує підвищення зносостійкості і зниження коефіцієнту тертя [2]. Комбінація лазерної обробки з іонним азотуванням істотно збільшує азотуємість сталей, глибину зміцненої зони, підвищує твердість та зносостійкість [1]. Електроіскрове легування, як і лазерні технології, відноситься до способів, які використовують висококонцентровані джерела енергії. Ефективна комбінація електроіскрового легування з подальшим іонним азотуванням [2]. Цим істотно збільшується глибина шарів підвищеної твердості. Відзначають підвищення зносостійкості модифікуванням відновлюємих поверхонь з покриттями шляхом поєднання методів іонної, електронно-променевої та лазерної обробки [2]. Попередня обробка збільшує азотуємість сталей, глибину зміцненого шару і забезпечує багаторазове підвищення твердості і зносостійкості в порівнянні з іонним азотуванням.

За даними Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона в США і Західній Європі комплексні або комбіновані методи нанесення покриттів отримали назву «гібридні процеси» зміцнення [2]. В даний час в практиці відновлення знайшли застосування наступні «гібридні процеси», що поєднують: хіміко-термічну обробку з поверхнево-пластичним деформуванням; хіміко-термічну обробку з електроконтактною обробкою; волочіння при впливі імпульсів струму; газотермічне напилення з подальшою холодною прокаткою; електромагнітну наплавку з термомеханічною обробкою; поверхнево-пластичне деформування з дифузійним насиченням; поверхнево-пластичне деформування з пічним або електричним нагрівом; поверхнево-пластичне деформування з електроімпульсною обробкою; поверхнево-пластичне деформування з мікродуговим окисдуванням; лазерне гартування з поверхнево-пластичним деформуванням; плазмове напилення з гарячим ізостатичним пресуванням; газотермічне напилення з вібраційною обробкою або нагріванням; цементацію з подальшим дробост-

руменевим зміцненням; лазерне гартування або легування з поверхнево-пластичним деформування; лазерне легування з ультразвуковою обробкою; ультразвукову обробку з нанесенням газотермічних покриттів; лазерну обробку з плазмовим напиленням покриттів; електро-променеву обробку електролітичних хромових покриттів; електронно-променеве нагрівання з детонаційним напиленням покриттів; лазерну обробку з іонним азотуванням; лазерну обробку з боруванням; цементацію з лазерним гартуванням; лазерне гартування з хіміко-термічною обробкою.

В даний час ще не розроблена методологія синтезу комбінованих багатоопераційних технологій. У комбінації методів відновлення багатофункціональними покриттями переважає емпірично-інтуїтивний підхід. Слід зазначити явище інверсії, коли зміна послідовності операцій відновлення шляхом нанесення багатофункціональних покриттів призводить до результатів, які відрізняються. Оптимальний вибір методів відновлення та їх послідовність визначається підвищенням твердості, комплексу механічних властивостей, зносостійкості, а також шорсткості відновлюємої поверхні та точності розмірів відновлюємої деталі. Попередню хіміко-термічну обробку доцільно використовувати для підготовки поверхні під електроіскрове легування, а фінішне електроіскрове легування цементованих і азотованих поверхонь забезпечує додаткове підвищення твердості і зносостійкості [1]. Різна послідовність електроіскрове легування та азотування дозволяє керувати розподілом мікротвердості в легованому шарі. Відзначають інверсію в комбінації лазерної обробки та іонного азотування. Лазерна обробка азотированного шару забезпечує більш щільний оксинітридний шар під відновлюємою поверхнею, а також збільшення глибини азотованого шару. Фінішна дробоструменева обробка азотованого шару підвищує зносостійкість і межу витривалості зубчастих передач [2].

У всіх варіантах комбінованих (гібридних) технологій критерієм вибору є порівняння витрат на відновлення виробів. Кожна технологія поверхневого зміцнення (відновлення) має свої оптимальні умови використання. Вирішальним фактором у виборі методів нанесення багатофункціональних покриттів у комбінованому процесі відновлення є наявність на підприємстві окремих видів устаткування і можливість інтегрувати їх в єдиний технологічний цикл.

З різноманіття первинних методів нанесення багатофункціональних покриттів – наймасовіші технології, що застосовуються в ремонті – газотермічні методи напилення [2]. Електродугове напи-

лення використовується для підвищення ресурсу та відновлення деталей засобів транспорту з метою забезпечення змінно-запасними частинами ремонтних підприємств. Електродугове напилення може бути застосовано для відновлення зношених чавунних, високовуглецевих і високолегованих сталевих деталей циліндричної форми і деталей плоскої форми з кольорових металів, які працюють в умовах тертя ковзання, захисту від корозії зовнішніх і внутрішніх поверхонь резервуарів і зварних металоконструкцій різного призначення шляхом напилення алюмінієм і цинком. Методом електродугового напилення відновлюються розміри опорних шийок розподільчих і колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння [2].

Головні недоліки напилених покриттів – низька міцність зчеплення і висока пористість [2]. Покрашують ці властивості лазерною, електро-променевою та хіміко-термічною обробкою [2]. Цим істотно підвищується зносостійкість в умовах граничного тертя і абразивного зношування. Лазерна обробка напилених покриттів підвищує їх стійкість до високотемпературної газової корозії. З метою зниження енергетичних витрат використовують спосіб легування поверхні спільної обробкою лазерним променем і плазмою [2]. Лазерне оплавлення напилених покриттів збільшує мікротвердість в 2 рази, зносостійкість в 1,3–1,8 рази. Оплавлення напилених покриттів здійснюють струмами високої частоти, високошвидкісний імпульсно-плазмовим струменем, в вакуумних пічах [2]. Істотний ефект багаторазового підвищення мікротвердості і зносостійкості забезпечує електро-променева обробка напилених покриттів. Після електро-променевої обробки межа витривалості напилених покриттів підвищується на 60–80%, а мікротвердість збільшується в 5 раз [2]. Для підвищення триботехнічних характеристик напилених покриттів використовують ультразвукову обробку, в тому числі одночасно з плазмовим напиленням [2]. Ефективне застосування хіміко-термічної обробки після напилення. Після борування зносостійкість напилених покриттів зі сталі при сухому терті підвищується в 10 раз. Іонне азотування напилених покриттів із сталей забезпечує їх мікротвердість від 6,5 до 15 ГПа. При цьому зносостійкість збільшилася в 8 разів [2].

В умовах все зростаючого дефіциту дорогих легуючих матеріалів, що входять до складу сталей, що вимагають високого комплексу властивостей міцності, перспективними для електродугового напилення є маловуглецеві низьколеговані сталі. З метою використання при електродуговому напиленні дешевих сталей, але при

цьому для отримання покриттів з високою міцністю зчеплення, твердістю і зносостійкістю була запропонована комбінована (інтегрована) технологія (рис. 1) ЕДН з попередньою електроіскровою обробкою та з подальшою їх фінішною обробкою іонним імпульсним азотуванням.

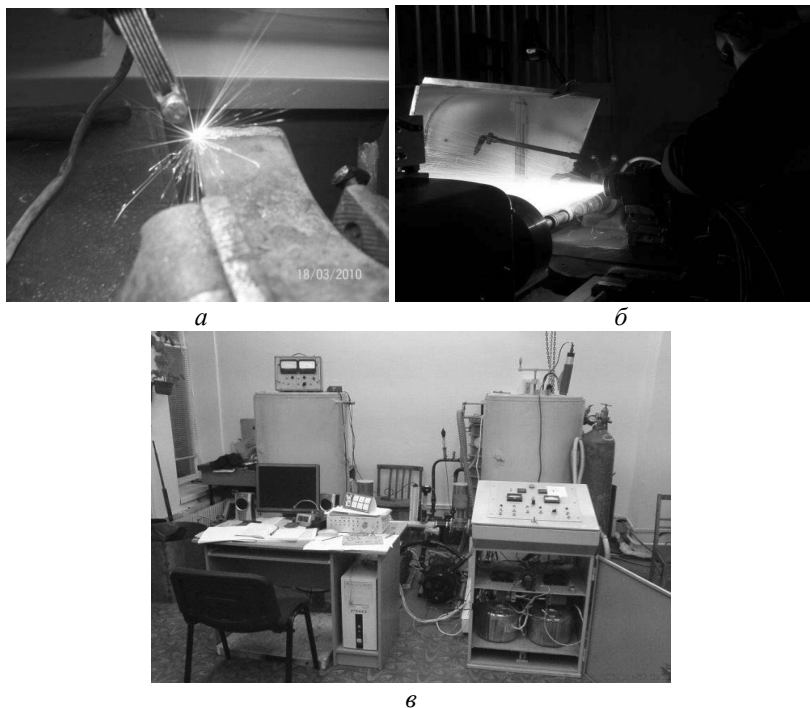


Рис. 1 – Приклад комбінованого методу відновлення шляхом нанесення багатофункціональних покриттів: а – електроіскрове легування; б – електродугове напilenня; в – іонне азотування

Як показує вітчизняний і зарубіжний досвід, відновлення деталей засобів транспорту найбільш ефективно шляхом нанесення на їх поверхні багатофункціональних покриттів комбінованими (інтегрованими, гібридними) методами. Створення технологічних процесів відновлення комбінованими (інтегрованими, гібридними) методами є досить актуальним завданням і може зробити ремонтне виробництво рентабельним. Запропоновано для відновлення та підвищення ресурсу деталей вузлів та агрегатів транспортних засобів використовувати комбіновану (інтегровану, гібридну) технологію

електродугового напилення в комбінації з електроіскровим легуванням і іонним азотування. Пропонуєма комбінована технологія має низку переваг: забезпечує підвищення фізико-механічні властивості відновлюємої поверхні, зокрема, міцність зчеплення покриття з відновлюємою поверхнею, щільність, твердість, зносостійкість і корозійну стійкість. Електроіскрове легування несе функцію попередньої обробки відновлюємої поверхні перед напиленням покриття і підвищує його міцність зчеплення. Операцію імпульсного іонного азотування напиленого покриття можна поєднати з фінішною обробкою до необхідної твердості, зносостійкості і чистоти відновлюємих поверхонь деталей.

Література

1. Покриття и их использование в технике. В кн. «Прочность материалов и конструкций», п/ред. В.Т. Трощенко. 2-е изд. Академперіодика, К.: 2006. С. 981–1074.

2. Ляшенко Б.А., Лопата Л.А., Соловых Е.К., Соловых А.Е., Ворона А.В. Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники интегрированными технологиями упрочняющих защитных покрытий. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 41, частина 2, Кіровоград, 2011. С. 73–79.

Лупкін Б.В., Андреев О.В. ДП «Антонов», Київ
Andrzej Dzierwa. Rzeszow University of
Technology, Rzeszow, Poland

Антонюк В.С., Вислоух С.П., Волошко О.В.
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

ОБРОБЛЮВАНІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РОЗРІЗАННІ АЛМАЗНИМ КРУГОМ

Технологічність, надійність і матеріалоемність використання листових металевих композиційних матеріалів (МКМ) в авіабудуванні є головним критерієм їх перспективності. Особливістю заміни конструкційних матеріалів на багатошарові композиційні матеріали

є те, що замість металів із однаковими у всіх напрямках властивостями, можливе використання нових матеріалів, які відрізняються властивостями залежно від орієнтації наповнювача [1].

Основними факторами, що впливають на характеристики металевих композиційних матеріалів є їх міцність і жорсткість. Так, поперечна і зсувна міцність МКМ менша порівняно з конструкційними металами та сплавами. В той же час механічні характеристики МКМ є вищими в порівнянні їх в полімерних композиційних матеріалах. Металеві композиційні матеріали за своєю структурою є такими, де в матриці застосовуються метали і сплави, а наповнювачами – металеві волокна. Використання як наповнювача в МКМ металевих високоміцних волокон бору значно підвищує їх фізико-механічні характеристики [2].

Незважаючи на високі фізично-механічні показники багатошарових композиційних матеріалів, використання їх в машинобудуванні, особливо в авіабудуванні, вимагає врахування особливостей їх обробленні, особливо при різанні листових металевих композиційних матеріалів.

Метою роботи є визначення ефективних марок алмазних відрізних кругів і встановлення раціональних режимів різання листового МКМ.

В процесі оброблення різанням МКМ різальна частина зерна інструментального матеріалу, що виступаюча над зв'язкою, отримує циклічне силове і температурне навантаження. При обробленні різанням МКМ Al-бор зерно отримує додаткове ударне силове навантаження при виході із м'якої хімічно активної алюмінієвої матриці на надтверді борні волокна.

Оброблення МКМ Al-бор із листових матеріалів при проведенні досліджень виконували на фрезерному верстаті 675П з використанням відрізних алмазних кругів зернистістю 200/160–400/350. При цьому використовували стандартні лезові твердосплавні інструменти. Процес пазового фрезерування МКМ ВКА-2, товщиною 2,5 мм з $V_B = 40\%$ вмістом волокон бору виконували твердосплавними кінцевими фрезами Ø 16 мм з геометричними параметрами $\omega = 0^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 12^\circ$, із швидкістю різання $V = 3,2$ м/хв та поздовжньою подачею $S_{nd} = 5$ мм/хв.

В процесі механічного оброблення МКМ Al-бор здійснюється крихке руйнування твердих волокон бору, що обумовлене їх аморфним (полікристалічним) станом. Мікротріщини (рис. 1), що вини-

кають в процесі крихкого руйнування волокон бору, досліджували на мікрошліфах за допомогою електронного мікроскопа ZEISS EVO 50 XVP (CarlZeiss, Німеччина). Шорсткість поверхні визначали за допомогою профілографа MarSurf PS1(Carl Mahr Holding GmbH, Німеччина).



Рис. 1 – Мікрошліф поверхні МКМ Al-бор виконаний на растровому мікроскопі Zeis EVO 50 XVP [×2000]

Дослідженнями процесу пазового фрезерування МКМ ВКА-2 встановлено низьку стійкість стандартних твердосплавних фрез (до 2 хв) і шорсткість поверхонь Rz 100–160.

Знос фрези по передній та задній поверхням ($h = 0,8\text{--}1,5$ мм) має яскраво виражений абразивний характер. При цьому на верхній та нижній частинах оброблених поверхонь МКМ Al-бор виникають задирки розміром до 5 мм.

Тоді, внаслідок низької стійкості лезових інструментів з твердих сплавів, не рекомендується їх використовувати для оброблення МКМ на основі борних волокон.

В роботі проведені експериментальні дослідження сил різання P_x і P_z при розрізанні МКМ Al-сталь та Al-бор з використанням динамометра УДМ-100.

На рис. 2, а показано залежності складової сили різання P_x від швидкості різання V , з яких можна зробити висновок, що із збільшенням швидкості різання складова сили P_x зменшуються, причому, для МКМ Al-бор це проявляється в меншій мірі, ніж для матеріалу Al-сталь. Аналіз залежності складової сили різання від подачі $P_x = f(S)$, показав пропорційне її зростання P_x (рис. 2, б). Це викликано зростанням навантаження на різальну частину алмазних зерен внаслідок збільшення об'єму матеріалу, який зрізається.

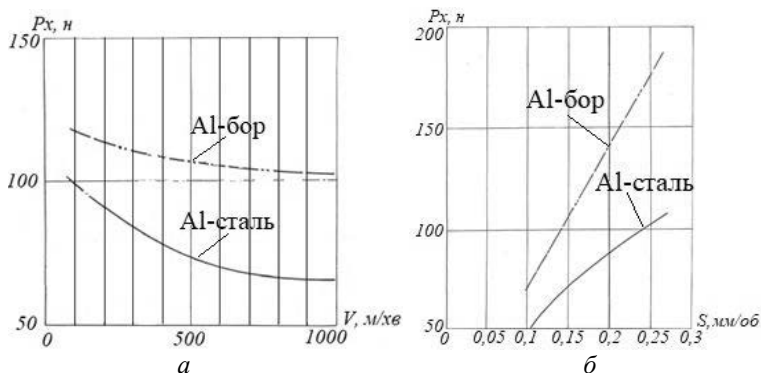


Рис. 2 – Залежність P_x при розрізанні КМ Al-сталь і Al-бор відрізним кругом АОК 100×15×200 250/200 АС-6 на зв'язці МП-1

а – з подачею $S_{np} = 0,2$ мм/об від швидкості різання;

б – від подачі при швидкості різання $V = 1000$ м/хв

Залежність окружної сили різання від швидкості різання $P_z = f(V)$ показує тенденцію її зниження. Це викликано зниженням силового навантаження при мікрорізанні на різальну частину зерна, тому що із збільшенням швидкості різання зменшується подача на окреме зерно.

Також проведено експериментальні дослідження при розрізанні матеріалу Al-бор з метою визначення стійкості і якості обробленої поверхні. При проведенні експериментів використовували зразки матеріалу ВКА-2 з розмірами $L = 150$ мм, товщиною 2,5 мм з 40% об'ємним вмістом волокон бора. При цих дослідженнях використовували алмазні круги з зернистістю від 250/200 до 400/315; виготовлених за технологіями гальваностегії (Γ_c) і вакуумного спікання (B_c) з непереривною різальною кромкою (НПК) та переривною – сегментною (ПРС), діаметром кругів 100 мм і товщиною 2,0 мм з металевою зв'язкою МП-1.

Встановлено, що для алмазних інструментів, що працюють в режимі мікрорізання характерним видом зносу є сколювання та відрив зерен внаслідок силового і теплового навантаження, а також процес «засалювання», що обумовлений підвищенням адгезійних сил між хімічно активною алюмінієвою стружкою і металічною зв'язкою за рахунок зростання температури в зоні різання [3].

На рис. 3 представлено аналіз стійкісних досліджень для визначення залежності стійкості інструмента $T = f(V)$ від швидкості різання для наступних кругів: 1 – круги АОК з переривною різа-

льною кромкою (ПРК) марки АС50, зернистість 400/315, на вакуумній зв'язці (Вс); 2 – АОК з неперервною кромкою (НРК) марки АС32 на вакуумній зв'язці (Вс); 3 – АОК з НРК марки АС32 зернистість 400/315, на гальванічній зв'язці (Гс); 4 – АОК з НРК марки АС32 зернистість 315/250, на гальванічній зв'язці (Гс)

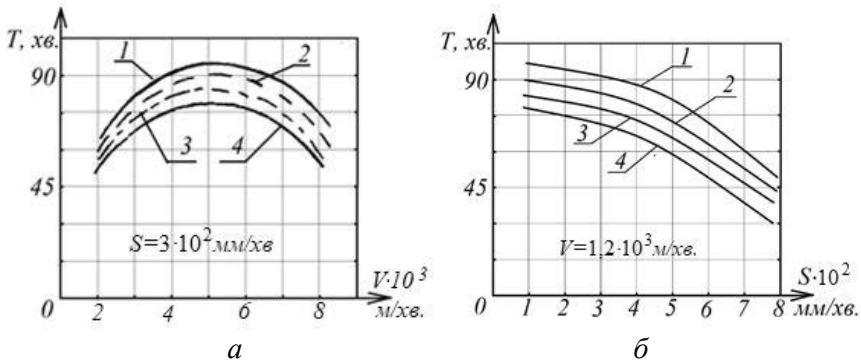


Рис. 3 – Залежність стійкості алмазних відрізних кругів (матеріал ВКА-2):
 а – від швидкості при подачі $S = 3 \cdot 10^3$ мм/хв; б – від подачі при $V = 1,2 \cdot 10^3$ м/хв

Аналіз стійкісних досліджень для визначення залежності стійкості інструмента $T = f(V)$ від швидкості різання показав, що стійкість алмазних відрізних кругів має екстремальну залежність в області швидкостей $V = (4-5) \cdot 10^3$ м/хв (рис. 3, а).

Це викликано тим, що із збільшенням швидкості різання змінюються сили тертя, основної різальної і бокових сторін круга, за рахунок чого в зоні різання підвищується температура, що впливає на зниження працездатності алмазного круга. Одночасно, із збільшенням циклових зіткнень алмазних зерен з твердими борними волокнами знижується їх міцність.

Результати випробувань стійкості кругів від подачі $T = f(S_{пр})$ показує, що із збільшенням поздовжній подачі стійкість алмазних кругів знижується (рис. 3, б).

Таким чином встановлено, що на різальну частину зерна впливає збільшення питомого навантаження на кожне зерно круга та зниження стійкості круга внаслідок деформаційних зусиль та високої температури різання.

Висновки. Встановлено використання традиційних лезових твердосплавних матеріалів при механічному обробленні МКМ АІ-бор не є раціональним.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що залежність стійкості кругів від швидкості різання має найбільше значення в області $V = (4-5) \cdot 10^3$ м/хв і повздовжні подачі $S = (3-4,5) \cdot 10^2$ мм/хв⁻¹.

Також при різанні листових металевих композиційних матеріалів на основі бор-алюміній, доцільно використовувати круги АОК з алмазами марок не нижче АС32, виготовлених вакуумним спіканням (Вс) з переривчатою різальною кромкою (ПРК).

Література

1. Волокна для армирования композиционных материалов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://poznayka.org/s77441t1>. – Назва з екрану.

2. Lupkin, B., Andriev, O., Maiorova, K., Antonyuk, V., Vysloukh, S. Formation of the quality of holes obtained by drilling in aviation structures made from polymer composite materials // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – № 3/1 (123). – С. 59–67. – <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279618>.

3. Лавриненко, В. І. Формоізмнення різальної поверхні круга як фактор процесу шліфування / В. І. Лавриненко // Сверхтвердые материалы. – 2000. – № 5. – С. 45–52.

*Майорова К.В., Скиба О.С., Сулов А.С.,
Капінус О.О. Національний аерокосмічний
університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків*

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРІЇ АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ НА КООРДИНАТНО- ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Контроль геометрії (вимірювання відхилень номінального розміру від аналітичного еталону і відповідність встановленим допускам) поверхні виготовленої авіаційної деталі будь-якої форми за допомогою координатно-вимірювальної машини (КВМ) є обов'язковим етапом в технологічному процесі виробництва, ремонту і технологічного обслуговування виробу. Особливо це стосується де-

талеї прецизійної точності паливної і гідравлічної систем літального апарату. Однак, якщо мова йде про криволінійні поверхні складної форми авіаційних деталей (лопаті, лопатки, обтічники тощо), то їх вимірювання на КВМ довготривалі за часом, що в деяких випадках займає більше 8-годинного робочого дня, а також трудомісткі за реалізацією [1]. Рішенням цієї проблеми є використання безконтактного скануючого лазерного датчика (сканеру), що встановлюється на автоматичну поворотну головку КВМ та дозволяє збирати на порядок більший об'єм даних з мікронною точністю (рис. 1).



Рис. 1 – Безконтактний лазерний скануючий датчик HP-L-10.10, встановлений на КВМ Hexagon MI

Слід зауважити, що на сьогодні не існує чітких правил для визначення вимірювальних стратегій в метрології. Стандарти ASME/ANSI та ISO визначають порядок розрахунку відхилень [2]. Виробничий досвід показує, що для отримання результату контролю необхідно визначити стратегію та хід вимірювання, а обраний стандарт – необхідні вхідні дані. Єдине, що не регламентовано на сьогодні це поєднання контактної і безконтактної контролю на КВМ. Розглянемо даний спосіб на прикладі КВМ Hexagon MI з використанням безконтактного датчика HP-L-10.10, що є високоточним лазерним 3D-сканером мікронної точності. Фактична точність його вимірювання (сканування) залежить від типу та розміру КВМ, на яку він встановлюється, оскільки дані про лінійні переміщення навколо деталі він бере безпосередньо з лінійок КВМ, а інформацію про відстань до об'єкта та його форму – обчислює за результатами отриманих даних лазерного випромінювання через єдине програмне забезпечення (ПЗ) КВМ. Така комбінація КВМ і 3D-сканеру зменшує час на операції контролю за рахунок пришвидшеного збору великої кількості даних, що в свою чергу може зменшити показ-

ники трудомісткості. Це пояснюється існуванням вагомих функцій сканера HP-L-10.10, а саме: високої швидкості збору даних – до 600 тис. точок за секунду; вбудованої оглядової камери, що полегшує орієнтацію замірів для оператора під час вимірювань; гнучке налаштування параметрів сканування, що дозволяє роботу з широким діапазоном матеріалів та поверхонь різної шорсткості. Зазначимо, що ПЗ КВМ PC-DMIS забезпечує автоматичне оброблення результатів сканування та їх порівняння з еталонними CAD-моделлями. Лазерне сканування на КВМ проходить у декілька основних етапів:

1. Підготовка об'єкта – деталь фіксується в робочій зоні КВМ для забезпечення стабільності під час сканування.

2. Калібрування сканера – налаштування точності отриманих даних.

3. Процес сканування – сканер рухається вздовж об'єкта, збираючи велику кількість точок, які утворюють тривимірну модель (хмару точок).

4. Оброблення отриманих даних за п. 3 та створення єдиної поверхні, що контролюється.

5. Порівняння з еталонною CAD-моделлю результатів п. 4 і генерування протоколу вимірювань.

Цей процес дозволяє забезпечити високу точність і повторюваність вимірювань, що є критично важливим для промислових застосувань. Отже, автори дійшли висновку, що завдяки високій швидкості збору даних 3D-сканування, можливості роботи з різноманітними матеріалами, що поєднуються з отриманими даними з контактним методом вимірювання КВМ, технологія стає незамінною для виробничого контролю та прийняття рішення щодо пропуску деталі в виробництво. Подальший розвиток цієї технології спрямований на вдосконалення алгоритмів оброблення даних, розширення можливостей автоматизації процесів контролю та підвищення точності вимірювань.

Література

1. Sikulskyi V., Maiorova K., Shypul O., Nikichanov V., Kapinus O., Tryfonov O. Algorithm for Selecting the Optimal Technology for Rapid Manufacturing and/or Repair of Parts. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, 2024. Vol. 1008 LNNS. P. 25–39. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-61415-6_3

2. Чалий О.В. Вимірювання складних просторових поверхонь на координатно-вимірювальній машині. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2023. № 4(41). С. 62–67. DOI: 10.37406/2706-9052-2023-4.9.

Марков О. Технічний університет Варни,
Варна, Болгарія
Рябченко С. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

ОТРИМАННЯ РЕГУЛЯРНИХ РЕЛЬЄФІВ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТА З АЛМАЗНОЮ КУЛЬКОЮ

У статті розглядається метод формування регулярних рельєфів на внутрішніх поверхнях деталей за допомогою інструмента з алмазною кулькою радіусом 1,5 мм. Інструмент здійснює обертальний рух зі швидкістю 50 об/хв і зворотно-поступальний рух на довжину 50 мм зі швидкістю 50 мм/с. Наводяться кінематичні розрахунки визначення рельєфу і аналізуються отримані результати.

Обробка внутрішніх поверхонь із заданим регулярним рельєфом має широке застосування у триботехніці, гідравлічних та пневматичних системах. Регулярний мікрорельєф покращує масстильні властивості, знижує зношування та підвищує експлуатаційні характеристики деталей. У цій роботі розглядається кінематика обробки та параметри рельєфу, що формується.

Для формування рельєфу використовувався інструмент з алмазною кулькою радіусом 1,5 мм, який:

- обертається зі швидкістю 50 об/хв;
- здійснює зворотно-поступальний рух на довжину 50 мм зі швидкістю 1 мм/с;
- контактує із внутрішньою поверхнею, створюючи регулярний рельєф.

Інструмент – це шліфувальний наконечник з алмазним покриттям, встановлений на шпindelь верстату. Тиск інструменту на оброблювану поверхню забезпечується притиском, що регулюється. У процесі обробки кожен оберт інструменту призводить до перемі-

ення в поздовжньому напрямку, що формує періодичну структуру на поверхні (рис. 1).

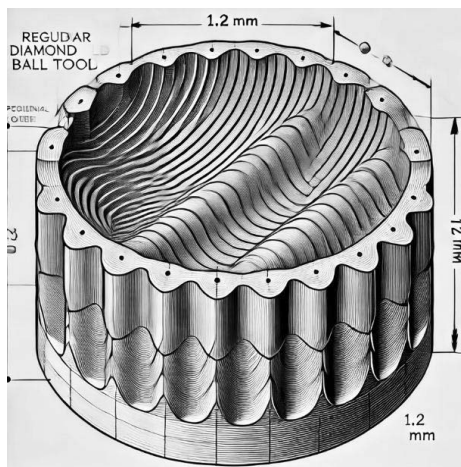


Рис. 1 – Приклад періодичної структури на поверхні

Основні параметри руху:

- швидкість обертання $V_n = 50$ об/хв
- період одного обороту $T = 1,2$ с.
- переміщення за один оберт $S = 1,2$ мм
- крок рельєфу 1,2 мм (визначає періодичність заглиблень).
- глибина рельєфу визначається параметрами тиску інструменту на матеріал та його пружністю.
- частота зворотно-поступального руху $f = 1$ Гц
- частота контакту алмазної кульки з однією точкою поверхні $f_{\text{конт}} \approx 41,7$ Гц. Дана частота визначає, як часто інструмент проходить по одній точці.

При заданих параметрах обробки формується регулярний хвилеподібний рельєф з кроком 1,2 мм. Даний рельєф може використовуватися для покращення утримання мастила та зниження тертя. Глибина отриманих канавок залежить від сили притиску інструменту та твердості матеріалу заготовлі.

Отримані результати підтверджують можливість стабільного формування регулярного рельєфу за заданими параметрами. Перспективи подальших досліджень включають оптимізацію параметрів обробки підвищення якості та функціональності поверхонь.

*Мельничук Ю.О., Манохін А.С., Клименко С.Ан.,
Чумак А.О., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю.,
Найденко А.Г., Рижов Ю.Е.* Інститути надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ОСНАЩЕНОГО ПКНБ, ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ З УДАРОМ

Важливим напрямком забезпечення ефективності обробки виробів із загартованої сталі високої твердості в умовах ударного навантаження є визначення геометричних параметрів різального інструменту.

В даній роботі для оснащення робочої частини інструментів використовувалися змінні круглі непереточувальні різальні пластини RNMN 12T300 з композиту на основі кубічного нітриду бору групи ВН торгової марки борсиніт. Державки забезпечували геометричні параметри інструменту: передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$, кут нахилу різальної кромки $\lambda = (0-50)^\circ$. Дослідження проводилися при точінні заготовок зі сталі ХВГ (62–64 HRC), на яких були виконані по шість повздовжних пазів 10×10 мм, з наступними режимами різання: швидкості різання $v = 120$ та 200 м/хв; подача $S = 0,12; 0,19; 0,38$ та $0,67$ мм/об; глибина різання $t = 0,2$ мм.

Вже після двох хвилин роботи спостерігався інтенсивний знос ($h_z = 0,16$ мм) інструменту з $\lambda = 0^\circ$ по задній поверхні, змінювалися його геометричні параметри, що погіршувало якість обробленої поверхні. Протягом 6 хв роботи таким інструментом інтенсивність зношування знижувалася, але поступово збільшувалася величина та глибина дефектів на зношених ділянках, що призводило до зростання сили та температури різання. Величина зносу по задній поверхні зросла до величини $h_z = 0,25$ мм. Поступово почали з'являтися вібрації у зоні різання та значно погіршилася якість обробленої поверхні. Проводити подальшу обробку таким інструментом було недоцільним внаслідок збільшення ймовірності його руйнування.

За аналогічних умов для косокутного інструменту ($\lambda = 50^\circ$) величина зносу по задній поверхні не перевищувала $h_z = 0,05$ мм, практично не спостерігалось руйнування різальної кромки та було відсутнім викришування інструменту. За таких умов процес точіння

протицав стабільно, суттєвого погіршення якості обробленої поверхні не спостерігається.

На рис. 1 наведено зовнішній вигляд контактних ділянок інструментів по задній поверхні після обробки заготовки протягом 6 хв, на рис. 2 – залежності ширини фаски зносу інструментів по задній поверхні (h_3) від часу обробки T .

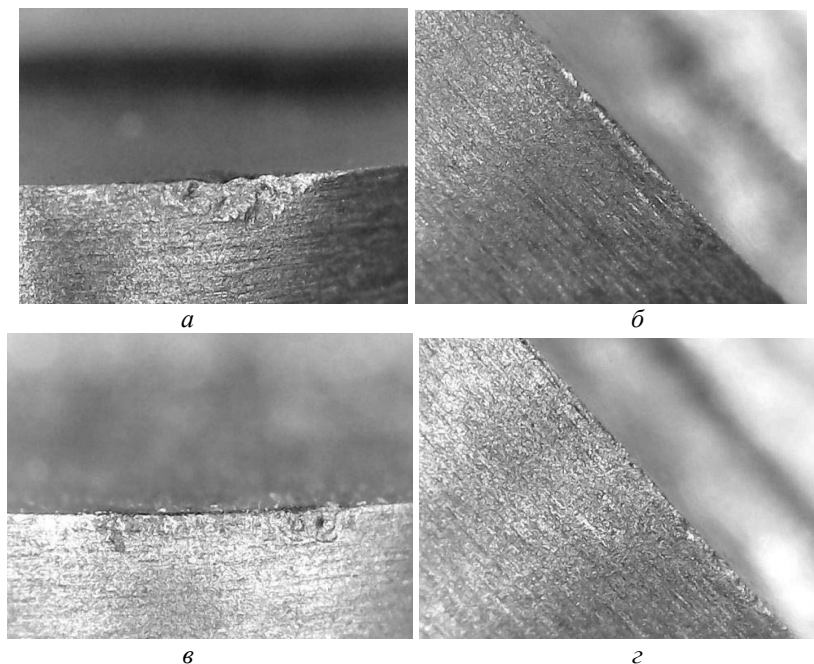


Рис. 1 – Контактні ділянки інструментів після точіння:

$a, б - v = 120$ м/хв; $S = 0,12$ мм/об; $в, г - 200$ м/хв; $S = 0,12$ мм/об;
 $a, в - \lambda = 0^\circ$; $б, г - \lambda = 50^\circ$

Отримані результати свідчать про високу стійкість косокутнього інструменту, оснащеного надтвердим композитом на основі КНБ, при обробці з ударом.

Із зростанням швидкості різання інтенсивність зношування інструменту знижувалася – при підвищенні швидкості до 200 м/хв перші хвилини роботи не супроводжувалися інтенсивним руйнуванням різальної кромки інструменту. У подальшому спостерігалося повільне збільшення зношених ділянок інструменту із формуванням певного кратера вздовж різальної кромки. Знос інструменту

h_3 після 6 хвилин роботи становив для інструменту з $\lambda = 0^\circ$ – 0,14 мм, $\lambda = 50^\circ$ – 0,025 мм.

Збільшення величини подачі до $S = 0,19$ мм/об при роботі ($v = 120$ м/хв) інструментом с $\lambda = 0^\circ$ призвело до інтенсифікації зношування та руйнування різальної кромки – після 30 с роботи спостерігалось сколювання різальної кромки та вихід з ладу інструменту. Це пов'язано із зростанням силі різання та збільшенням динамічного навантаження на контактних ділянках інструменту.

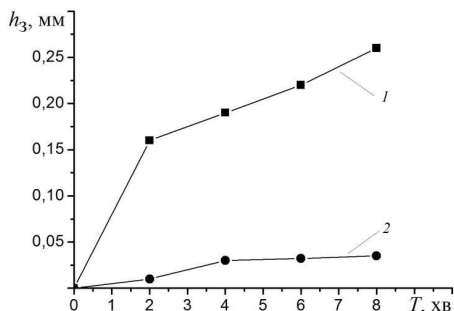


Рис. 2 – Залежність ширини фаски зносу інструментів (1 – $\lambda = 0^\circ$; 2 – $\lambda = 50^\circ$) по задній поверхні (h_3) від часу обробки T ($v = 120$ м/хв; $S = 0,12$ мм/об)

Під час використання інструменту з $\lambda = 50^\circ$ протягом 3 хвилин різання на задній поверхні інструменту формувалася фаска зносу $h_3 = 0,02$ – $0,03$ мм. Після шести хвилин роботи на контактних поверхнях інструменту формувалися невеликі зазубрини, зростання яких у подальшому могло призвести до погіршення якості обробленої поверхні. Враховуючи, що швидкість зношування інструменту на даному етапі становила 5,8 мкм/хв, стійкість інструменту із кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 50^\circ$ при критерії зносу по задній поверхні $h_3 = 0,30$ мм становила 40–50 хв.

Збільшення подачі до $S = 0,38$ мм/об при точінні не призвело до суттєвого зростання інтенсивності зношування інструменту.

Після трьох хвилин роботи з подачею 0,38 мм/об ($v = 120$ м/хв) інструментом із кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 50^\circ$ на його контактних ділянках не спостерігалось викришування фрагментів надтвердого композиту, а різальна кромка залишалася рівною. При збільшенні подачі до $S = 0,67$ мм/об не спостерігалось катастрофічного руйнування різця. Обробка з такою подачею суттєво підвищи-

ла продуктивність обробки, але призвела до підвищення висоти мікронерівностей на обробленій поверхні до $Ra\ 2,5$.

У цілому, можна заключити, що, для досліджуваного випадку, оптимальна за максимальною стійкістю інструменту, оснащеного композитом на основі КНБ, величина кута нахилу різальної кромки становить $\lambda = 50^\circ$.

Мельник Т.В., Школьнікова Т.В. Національний
технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», Харків

ПИТАННЯ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ В УКРАЇНІ

Вода, зокрема питна, відкриває рейтинг глобальних проблем у світі. Обговорення і вирішення цих проблем відбувається не тільки на вищому рівні в рамках Всесвітніх економічних форумів в Давосі та спеціальних засіданнях ООН. Риторика незмінна – води все менше, а питань все більше.

Забезпечення людства безпечною питною водою виявилось складним і багатофакторним завданням, вирішення якого вимагає розвитку традиційних і створення нових методів і технологій. Все це стосується і України, яка зазнає також гострого дефіциту якісної питної води. Цьогоріч в Україні було вкрай посушливе літо. Рівень води в річках подекуди впав до 7 м. Як ніколи близько нас торкнулася проблема нестачі питної, прісної води.

Метою даної публікації є визначення позитивних і негативних сторін у різних підходах до оцінки якості питної води, розглянути системи і методи визначення якості води, зробити огляд сучасних методів щодо вдосконалення якості питної води в Україні і в європейських країнах.

На сьогоднішній день безпечною вважається вода, якість якої відповідає критеріям та сучасному рівню розвитку науки і техніки. У світі існують сотні національних і міжнародних нормативних документів, що містять різну кількість показників якості питної води.

Слід зазначити, що кількість контрольованих показників постійно збільшується, а їх значення зменшуються. Це пов'язано, по-перше, з розвитком можливостей аналітичної хімії, що дозволяє

визначати в воді більш низькі концентрації забруднень, і по-друге, з результатами токсико-хімічних досліджень по вивченню впливу на організм людини різних домішок. Результати цих досліджень, як правило, вимагають не тільки збільшення кількості контрольованих показників, але і зниження допустимого рівня концентрацій.

Одним з основних факторів, що викликають появу нових і посилення існуючих критеріїв якості води, є технічний прогрес. Так, розвиток фармацевтичної галузі привів до появи в питній воді раніше не ідентифікованих забруднювачів таких, як гормони, антибіотики та інші фармпрепарати, компоненти косметичних засобів і ін. У свою чергу, прагнення сучасної людини до чистоти призвело до істотного зростання споживання різних миючих засобів, попадання яких в стічні води призводить не тільки до підвищення вмісту фосфатів у питній воді, але і до активного цвітіння водойм.

Як би не відрізнялися географічні, кліматичні, гідрогеологічні умови, в різних країнах, вимоги до якості води в ідеалі повинні бути ідентичними та в обов'язковому порядку досягатися при підготовці питної води.

Отже, безпечною можна вважати воду, всі показники якої відповідають критеріям якості національних і міжнародних нормативних документів. Повною мірою визначити рівень безпеки води можна тільки в спеціалізованих лабораторіях. Однак, існує можливість приблизної оцінки якості води, з урахуванням особливостей джерел її надходження і методів підготовки.

На даний момент існує кілька світових організацій, що займаються проблемами стандартизації води:

- Всесвітня Організація Охорони Здоров'я (ВООЗ), яка є спеціалізованою установою Організації Об'єднаних Націй, основна функція якої полягає у вирішенні міжнародних проблем охорони здоров'я населення.

В результаті досліджень ВООЗ були отримані величини ПДС за основними потенційно шкідливим для людини речовинами. На основі цих даних розроблені норми вмісту основних шкідливих речовин у воді.

- Агентство з охорони навколишнього середовища США (U.S.EPA), урядова установа США, в завдання якої входить захист здоров'я населення та охорона навколишнього середовища.

- Європейське співтовариство (ЕС), у Директиві цієї організації нормуються 66 параметрів якості питної води, які розбиті на декілька груп.
- В Україні на сьогодні чинними та обов'язковими до виконання є Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Цей нормативний документ має розширений перелік показників епідемічної безпеки питної води, санітарно-хімічних показників її якості, визначає ступінь не тільки мікробіологічного, а й паразитологічного та вірусного забруднення води, а також гранично допустимі концентрації на ряд токсичних сполук. А також Нормативний документ ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості», що носить рекомендаційний характер і встановлює вимоги до методів контролю води у централізованому та нецентралізованому питному водопостачанні. Водночас у цьому Стандарти введені додаткові показники, наприклад, мікроміцети, перхлорати, талій, діоксид хлору залишковий.

На сьогоднішній день існує загальна комплексна технологія очищення води, яка включає в собі наступні методи:

- механічні (фільтрація);
- хімічні (хлорування або озонування);
- фізичні (кип'ятіння, ультрафіолетове випромінювання);
- біологічні (мікроорганізми) методи обробки.

У сучасному світі методи очищення води комбінуються і застосовуються послідовно для досягнення кращого результату в залежності від стану водозбірної або відпрацьованої води, середовища та ресурсних можливостей у промислових масштабах.

Таким чином, вирішення таких проблем, як зміни в технологіях підготовки питної води, будівництво нових очисних споруд, заміна інженерних мереж, в наших економічних умовах реалізувати надзвичайно складно, але євроінтеграція – це не тільки вирішення проблем, а й нові можливості для України.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Ефективність використання сільськогосподарської техніки обмежена встановленими ресурсами та строками служби. Основною причиною втрати працездатності деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин є зношування (80–90% від спільної кількості відмов). Зносостійкість – важлива експлуатаційна характеристикою деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки, яка лімітує термін їх служби. Одна з причин недостатньої зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки пов'язана з обмеженим використанням при їх виготовленні і ремонті зносостійких матеріалів, технологій зміцнення і захисних покриттів. Найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин є нанесення на їх робочі поверхні композиційних покриттів, перевагами яких є висока міцність, жорсткість і зносостійкість. Композиційні покриття приймають на себе частину функціональних властивостей робочих поверхонь деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин (зносостійкість, контактну міцність і т.д.) і тим самим забезпечують виготовлення деталей і робочих органів із менш дефіцитних і більш дешевих матеріалів [1–5].

Проведений аналіз методів формування КП визначив наступні чинники: конструкція деталі; вид матеріалу деталі, склад КМ; поєднання процесів відновлення (виготовлення) деталі і отримання покриття; економічна доцільність. При цьому, найчастіше використовуються технологічні процеси (ТП): пресування, прокатка, плазмове напилення, комбіновані методи, наприклад, плазмове напилення з подальшим ущільненням і інші [1–5]. На основі результатів дослідження зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин із композиційними покриттями обґрунтовано доцільність використання методу електроіскрового легування для нанесення покриттів (рис. 1) [1–5].

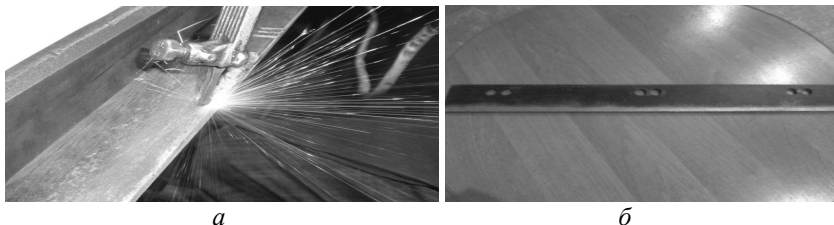


Рис. 1. Процес нанесення покриття методом електроіскрового легування (а) на ножі сільськогосподарських машин (б)

В якості матеріалу покриття використовували карбід вольфраму з кобальтом WC–(6–8)%Co. Для нанесення композиційного покриття використовували установку для електроіскрового легування «Елітрон-22». Режими нанесення покриття методом ЕІЛ представлені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1 – Режими нанесення покриття WC–(6–8)%Co електроіскровим легуванням

Найменування характеристики	Значення	
	режим 1	режим 2
Напруга живлення, частотою 50 Гц, В	220 ± 10–15%	220 ± 10%
Потужність при номінальній напрузі мережі, кВА	не більше 0,25	не більше 4,5
Кількість технологічних режимів	9×2	12 + 2
Частота вібрації електрода вібратора, Гц	220–500	100 ± 10
Продуктивність на найпотужнішому режимі, см ² /хв	не менше 6	не менше 10
Товщина покриття, мм	0,01–0,08	< 0,25
Шорсткість поверхні покриття, Ra, мкм	3,2–12,5	3,2–80,0

Таблиця 2 – Величина робочого струму за різних режимів установки Елітрон-22

Величина струму, А	Номер режиму								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
при C = 150 мкВ	0,4–0,5	0,4–0,5	0,5–0,6	0,5–0,6	0,6–0,7	0,8–0,9	0,9–1,0	1,0–1,1	1,1–1,2
при C = 300 мкВ	1,0–1,2	1,2–1,4	1,6–2,0	2,0–2,2	2,2–2,4	2,4–2,6	2,6–2,8	2,8–3,2	3,0–3,4

У роботі проведені дослідження зносостійкості при випробуванні на абразивне зношування дослідних зразків (табл. 3). Прикла-

ди робочих органів сільськогосподарських машин із покриттями представлені на рис. 3.

Таблиця 3 – Показники зносостійкості при випробуванні на абразивне зношування

Вид покриття	Товщина шару, мкм	Відносна зносостійкість, при довжині пробігу, м		
Без покриття	—	1,0		
Дифузійне хромування	17	3,58	2,29	1,95
Електроіскрове легування	50–65	7,50	6,80	5,30

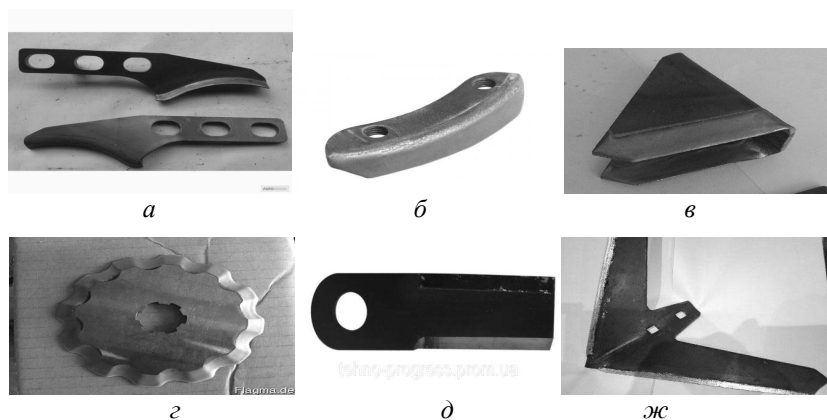


Рис. 2 – Приклади робочих органів сільськогосподарських машин із композиційними покриттями

Підвищення зносостійкості та експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки та робочих органів сільськогосподарських машин шляхом нанесення композитних покриттів дозволило вирішити проблему забезпечення їх строку служби, який не поступається строку служби нових деталей.

Література

1. Покриття и их использование в технике. «Прочность материалов и конструкций», под ред. В.Т. Трощенко. К.: Академперіодика, 2006. С. 981–1074.

2. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: Учеб. пособие. К.: Вища школа, 1992. 79 с.

3. Черновол М.И., Златопольский Ф.И., Лопата Л.А. Современные материалы для восстановления и упрочнения деталей машин: Учебн. пособие. Кировоград: 1994. 83 с.

4. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.Н. Інженерія поверхні. Київ: Наукова думка, 2007. 559 с.

5. Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. Луганск: 2003. Том 1. 495 с.

6. Ляшенко Б.А., Лопата Л.А., Соловых Е.К., Соловых А.Е. Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники интегрированными технологиями упрочняющих покрытий. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград: 2011. Вип. 41, Ч. 2. С. 73–79.

Молчанов В.Ф., Латишев Д.В., Козаченко С.Ю.
Дніпровський державний технічний
університет, Кам'янське

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Сучасний етап розвитку машинобудування характеризується вдосконаленням процесів механічної обробки. Механічна обробка деталей – складний технологічний процес, що протікає при високих швидкостях, температурах і тиску. Головною метою механічної обробки є отримання деталей із заданою точністю та якістю поверхні. Одним з чинників, що впливають на якість поверхні, є хвилястість і шорсткість. За зовнішнім видом обробленої поверхні, розмірами, формі і характеру розташування шорсткості можна певною мірою розмірковувати про явища, що відбуваються в процесі стружкоутворення, тобто утворення твердих часток [1–6].

Метою дослідження є короткий аналіз деяких наявних моделей процесу шліфування.

При дослідженні механізму формоутворення шліфованої поверхні слід приділяти увагу питанню утворення шорсткості та хвилястості. З погляду геометрії шорсткість утворюється в результаті копіювання на оброблюваній поверхні траєкторії руху різальних аб-

разивних зерен. Пластичні деформації, що відбуваються в процесі різання, сильно змінюють мікрорельєф, що утворюється в результаті дії геометричних чинників.

Геометрична схема утворення шорсткості при шліфуванні розглядалася в дослідженнях при певних допущеннях. Наприклад, професор Є.Н. Маслов [1], при виведенні формули для розрахунку перерізів зрізаних стружок, допускав, що різальні абразивні зерна йдуть один за одним, знаходячись на однаковій відстані від осі обертання шліфувального круга. Професор А.О. Маталін [2] розглядав утворення шорсткості поверхні з урахуванням пластичних деформацій, геометричних чинників і вібрацій в системі верстат – пристосування – інструмент – деталь. Він стверджує, що при шліфуванні металу кожне абразивне зерно, що бере участь в різанні, прорізає в металі канавку, яка відповідає його розмірам і формі. Висота шорсткості, після кожної обробки абразивами, геометрично безпосередньо пов'язана з розмірною характеристикою зерен.

За моделлю Грановського шліфувальний круг у площині, перпендикулярній до осі його обертання, можна порівняти з багатозубою фрезою, у якої кожне абразивне зерно є зубом [3].

Вивчаючи процес різання в просторі, П.І. Ящеріцин [4] вніс нове поняття в теорію утворення шліфованої поверхні. На його думку, якщо спроектувати всі зерна на робочій ділянці круга на одну площину, то з деяким наближенням можна вважати, що утворюється різальний контур, нерівності якого повністю копіюються в зоні контакту круга на оброблюваній поверхні. Чим менша нерівність різального контуру, тим він ближче підходить до суцільного різального леза, тим шорсткість обробленої поверхні буде меншою. Звідси випливає, що шорсткість формується різальним контуром, причому однаковий різальний контур може бути створений різними способами.

На ефективність процесу механічної обробки істотний вплив має мастильно-охолоджувальна рідина (МОР). Рациональне використання МОР значно зменшує сили тертя в парі інструмент-деталь, знижує зношування і затуплення різальних лез інструменту, зменшує шорсткість і покращує якість обробленого поверхневого шару, покращує охолодження зони обробки та забезпечує краще видалення відходів із цієї зони. Однак, у процесі експлуатації мастильно-охолоджувальні рідини безперервно та інтенсивно забруднюються твердими частинками – відходами металообробки. Дослідження, проведені Л.В.Худобіним у роботі [5], показали, що тверді частин-

ки забруднень механічного походження чинять негативний вплив на якість оброблюваних поверхонь, точність оброблення, знижують стійкість інструменту і зменшують термін експлуатації мастильно-охолоджувальної рідини.

Висновки.

1. Проведений аналіз праць формоутворення поверхонь при шліфуванні показав актуальність задачі дослідження процесу утворення твердих частинок при шліфуванні.

2. Виходячи з проведеного аналізу моделей формоутворення поверхонь при шліфуванні є необхідність в проведенні теоретичних і експериментальних досліджень процесів, що протікають у зоні контакту зерен інструменту з оброблюваним матеріалом. Дослідження поставленої задачі надасть можливість встановити механізм утворення мікронерівностей шліфованої поверхні, а знання механізму формоутворення обробленої поверхні дозволить прогнозувати якість поверхонь при шліфуванні.

Література

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.
2. Маталин А.А. Новые направления развития технологии числовой обработки. К.: Техніка, 1972. 136 с.
3. Грановский Г.И., Грудов П.П. и др. Резание металлов. М.: Машгиз, 1954. 471 с.
4. Ящерицин П.И. Повышение свойств шлифованных поверхностей. Минск: Наука и техника, 1971. 210 с.
5. Худобин Л.В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании. М.: Машиностроение, 1971. 212 с.
6. Молчанов В.Ф. Теоретические исследования вероятности заклинивания твердых частиц при шлифовании. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2017. № 2 (80). Т. 2. С. 114–118.

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

В процесі роботи будь-якого механізму його деталі зношуються і він виходить з ладу. Досі зношені деталі утилізувалися і замінювалися на нові, але сучасні тенденції націлені на збереження енергетичних і матеріальних ресурсів. Тому у виробництві все більшу увагу приділяють методам відновлення зношених деталей. Головною умовою при їх відновленні є те, що вони повинні працювати не гірше, а можливо і краще, ніж нові, з урахуванням покращення характеристик якості (збільшена міцність, зносостійкість та термін служби).

Надзвичайно актуальним є застосування таких безвідходних технологічних процесів відновлення розмірної точності зношених деталей, а саме холодного пластичного деформування (ХПД). Застосування даного процесу забезпечує необхідний рівень параметрів якості робочої поверхні виробів. Адже, як зазначено у роботі [1], після обробки спостерігається збереження суцільності матеріалу завдяки перерозподілу матеріалу виробу на зношені ділянки та підвищення його фізико-механічних властивостей.

Розглянемо технологічний процес відновлення осесиметричних деталей типу втулок, при якому можна використати відому операцію обробки отворів деформуючим протягуванням (ДПР). До таких деталей відносяться поршневі пальці двигунів внутрішнього згорання. Річна програма їх випуску тільки в автомобільній промисловості Європи складає понад 30 мільйонів пальців, діаметром 20–58 мм, довжиною 45–220 мм, масою 0,2–1,8 кг [1]. Для більш важкої техніки, як наприклад дизелів тепловозів 10Д100, які виготовляються на Дніпровському тепловозоремонтному заводі, маса пальця досягає 4,5 кг. Ясно, що такі пальці економічно доцільно відновлювати аніж виготовляти нові.

Отже, при розробці технологічного процесу відновлення поршневих пальців, який включатиме операцію ДПР необхідно вирішити дві основні задачі: вибір режимів і схеми роздачі, геометрії інстру-

мента; забезпечення характеристик якості відновлених пальців на рівні нових.

Пластичне деформування зношеного поршневого пальця практично неможливо через наявність на його зовнішній поверхні крихкого мартенситного шару. Тому в першу чергу зношені пальці відпалюють, що відновлює вихідний стан матеріалу, і, отже, створює можливість їх пластичного деформування.

У роботі [2] показана можливість управління відновленими розмірами заготовки під час виконання операції ДПР. Наведено як за рахунок вибору геометрії деформуючого елементу і режимів обробки отримуються необхідні діаметральні та лінійні розміри. Для прикладу розглянемо відновлення зношеного поршневого пальця А-01, розміри нового пальця – $D_0 \times d_0 \times l_0 = 50 \times 29,9 \times 110$. Вибір необхідної деформації пальця здійснюємо з умови компенсації зносу пальця та забезпечення припуску під наступну механічну обробку. Тому зовнішній діаметр пальця після роздачі $D = 50,22$, тобто роздачею внутрішнього діаметру пальця необхідно збільшити його зовнішній діаметр на 0,24 мм. Тому окружна деформація $e_\phi = 0,08$. Тоді згідно рекомендацій [2] сумарний натяг буде рівний 0,9 мм.

Після визначення необхідної деформації здійснюємо вибір схеми деформування. Її вибираємо з умови забезпечення геометричної точності зовнішньої поверхні пальця, що визначає величину й рівномірність припуску під наступну обробку. З огляду на форму та конструктивні особливості пальця, у якого обов'язкова наявність фасок довжиною до 3 мм, а також дотримуючись рекомендацій [1], вибираємо схему по якій деформація здійснюється двома елементами зі зміною опорного торця після першого проходу. Необхідною умовою при використанні цієї схеми є постійність осьової сили Q на кожному проході. Досягається це згідно методики наведеної в [1], по якій загальна деформація ϵ здійснюється двома деформуючими елементами з натягами i . Згідно неї розрахункові значення натягів

Крім натягу також необхідно вибрати кут α робочого конуса. Згідно рекомендацій [2] цим геометричним параметром можна управляти необхідними осьовими деформаціями заготовки. Розрахункове значення дозволяє після обробки отримати необхідну незмінну осьову деформацію.

Після деформуючого протягування необхідна міцність і зносостійкість пальця досягається послідуною термічною обробкою. Термічна обробка при цьому ідентична термообробці, виконаної згідно технологічних режимів, використовуваних при вигото-

вленні нових пальців. Однак є випадки, коли необхідне коректування технологічних режимів. Так, наприклад, при відновленні пальців із цементованих сталей (20Х, 12ХН3А та ін.) цементований шар частково втрачає цементацію при відпалі, а також видаляється при механічній обробці. Якщо глибина цього шару відповідає технічним вимогам до поршневого пальця, то палець після роздачі можна термічно обробляти, якщо не відповідає, то необхідно зробити додаткову цементацію. Однак, з огляду на той факт, що частина цементованого шару на поверхні пальця залишається, час цементації зменшується.

Як показали результати експериментів, використання обраних схем роздачі, натягів і геометрії інструмента, дозволило забезпечити необхідний припуск під наступну механічну обробку, а також незмінність довжини деталі після її роздачі. Відновлені пальці по механічним властивостям та міцності відповідають новим.

Література

1. Посвятенко Е.К., Немировський Я.Б., Шейкін С.Є., Шепеленко І.В., Чернявський О.В. Інженерія деталей, оброблених протягуванням. Кропивницький: видавець Лисенко В.Ф., 2021. 466 с.

2. Nemyrovskiy Y., Otamanskyi V., Melnik O.L., Shepelenko I., Posviatenko N. Improving the technology for restoring worn parts based on cold plastic deformation. Problems of Tribology. 2024. Vol. 29, No. 3/113. P. 31–42. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-113-3-31-42>

*Пащенко Є.О., Рябченко С.В., Федоренко В.Т.,
Курганов Р.М. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ*

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ІЗ БУРШТИНОВОГО КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ПРИ ОБРОБЦІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

Шліфування загартованих сталей є актуальною проблемою сучасного машинобудування. Також суттєвою є проблема дослідження працездатності шліфувальних кругів, які використовуються при обробці цих матеріалів.

По сукупності робочих характеристик – стійкості, продуктивності обробки, можливості забезпечення даних параметрів макро та мікрогеометрії обробленої поверхні – найкращим типом зв'язки для кругів з кубічного нітриду бору (КНБ) є гібридні зв'язки, які поєднують якість різних матеріалів (метал – органіка, органіка – кераміка).

Було проведено дослідження працездатності шліфувальних кругів із бурштинового КНБ (типу К8) на гібридній зв'язці при обробці загартованих швидкоріжучих сталей Р6М5 (60 HRC).

Досліджувалась працездатність шліфувальних кругів діаметром 100 мм (типу 12А2-45 100×6×5×32 К8 125/100 100%). Обробка загартованих сталей проведена в умовах торцевого шліфування на заточувально-шліфувальному верстаті 3Б642 (рис. 1) за такими режимами:

- швидкість абразивного круга $v_{кр} = 15$ м/с;
- подовжена подача $S_{пр} = 2$ м/хв;
- поперечна подача $S_{поп} = 0,02$ мм/подв.хід; 0,04 мм/подв.хід; 0,06 мм/подв.хід;



Рис. 1 – Шліфування загартованої сталі кругом із бурштинового КНБ

Шліфувалася торцева поверхня пластини розміром 120×30×5 мм із загартованої швидкоріжучої сталі типу Р6М5 (60 HRC). При дослідженні працездатності шліфувальних кругів контролювались:

- кількість зняття обробленого матеріалу (г);
- знос шліфувального круга (г);
- відносний знос круга на 1 г знятого матеріалу;

- потужність шліфування, $N_{\text{еф}}$ (Ват);
- шорсткість обробленої поверхні зразка, Ra (мкм).

Результати дослідження працездатності шліфувальних кругів (табл. 1) показали, що обробка загартованої сталі Р6М5 дуже ефективна кругами із бурштинового КНБ. Круги із бурштинового КНБ шліфують загартовану сталь рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу.

Відносний знос круга на 1 г знятого матеріалу розраховувався відносно зносу круга з КНБ до кількості зняття обробленого матеріалу за період шліфування і складає від 0,4 мг/г при поперечній подачі $S_{\text{поп}} = 0,02$ мм/подв.хід до 4,0 мг/г при поперечній подачі $S_{\text{поп}} = 0,06$ мм/подв.хід. Потужність шліфування $N_{\text{еф}}$ визначалась різницею загальної потужності $N_{\text{заг}}$ та потужності холостого ходу $N_{\text{хх}}$. За весь період шліфування потужність $N_{\text{еф}}$ складала 100–150 Ват.

Таблиця 1 – Показники працездатності шліфувальних кругів із бурштинового КНБ

Поперечна подача, $S_{\text{поп}}$ мм/подв.хід	Зняття обробленого матеріалу, г	Знос круга, мг	Відносний знос круга, q , мг/г	Потужність шліфування, $N_{\text{еф}}$, Ват	Шорсткість обробленої поверхні, Ra , мкм
0,02	23	6	0,4	100	0,63
0,04	25	32	2,0	120	0,72
0,06	20	50	4,0	150	0,81

Шорсткість обробленої поверхні Ra замірялась вздовж торцевої поверхні шліфованого зразка та складала від 0,63 до 0,81.

Висновки.

Використовування шліфувальних кругів із бурштинового КНБ показало хорошу здатність до механічної обробки загартованої швидкоріжучої сталі типу Р6М5 (60 HRC).

Дослідженнями працездатності шліфувальних кругів встановлено, що відносний знос круга складає від 0,4 мг/г до 4,0 мг/г при поперечних подачах від $S_{\text{поп}}$ 0,02 мм/дв.хід до 0,06 мм/дв.хід, це є хорошим показником відносного зносу шліфувального круга.

Круги із бурштинового КНБ шліфують загартовані швидкоріжучі сталі рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу, при цьому потужність шліфування складає 100–150 Ват, а шорсткість обробленої поверхні Ra складає від 0,63 до 0,81.

АПРОБАЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИПОЮ 18 XFC У СКЛАДІ АКТИВУЮЧИХ РЕЧОВИНИ В ПРОЦЕСІ ІНДУКЦІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ МОДЕЛЬНИХ ЗРАЗКІВ СТРИЖНІВ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Процес індукційного зварювання тиском із застосуванням активуючих речовин відбувається за нагрітих зварювальних крайках до пластичного стану теплом від вихрових струмів і повним розплавленням попередньо введеної в місце з'єднання активуючої речовини [1]. Цей процес був розроблений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України [2], головним чином для труб і трубної арматури.

Використання способу індукційного зварювання тиском із застосуванням активуючих речовин на суцільних виробках таких як стрижні, або деталі із розвиненою площею поперечного перерізу є малодослідженим. В цьому випадку для вирішення задач з проведення даного процесу можна віднести:

- визначення впливу зварювання на структуроутворення та властивості з'єднання в разі забезпеченого рівномірного нагрівання зони шва системи «індуктор – виріб»;
- отримання з'єднання, після виконання осадження, яке формується у твердій фазі з якомога меншою товщиною шва і спільними зернами основного металу стрижнів;
- вичавлювання в процесі осадження залишків продуктів реакції активуючої речовини із зварного шва на його периферійні ділянки й у грат.

Дослідження і розроблення технологій індукційного зварювання тиском металів, у тому числі і різнорідних, із можливим послідовним термічним обробленням зварного з'єднання, проводяться у багатьох наукових лабораторіях [3 – 5]. Відмінністю процесу отримання зварного з'єднання, що розглядається, є наявність активуючих речовин, та їх термохімічна дія у термодформаційних умовах під час формування зварних стиків [6].

В межах досліджень, що спрямовані на розвиток технологій зварювання сталей в твердій фазі було апробовано індукційне зварювання тиском із застосуванням припою 18 XFC у складі активу-

ючої речовини. Зварювання виконувалось у стик на модельних зразках [7] у вигляді суцільних стрижнів діаметром 6 мм із високовуглецевої рейкової сталі марки К76Ф. Було проведено металографічні дослідження зразка зварного з'єднання (рис. 1) і визначення хімічного складу металу в з'єднанні (рис. 2).

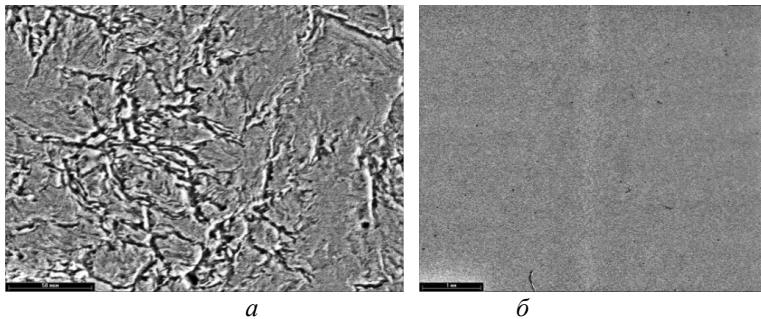
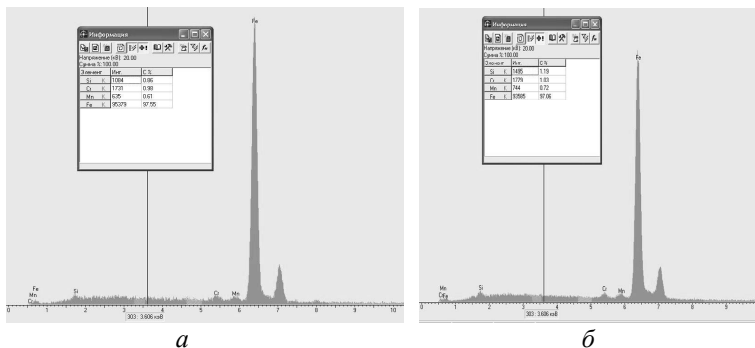


Рис. 1 – Металографія зварного шва. Збільшення: а – $\times 2000$; б – $\times 20$



**Рис. 2 – Хімічний склад металу у зоні зварного з'єднання:
а – лінії шва; б – основного металу біля лінії сплавлення**

Мікроструктура зразка у зоні зварного з'єднання на ділянці зварного шва – «світлої полоси» є переважно сорбітною із вкрапленнями мартенситу. Шов має ширину 400...485 мкм. В разі потреби, мартенсит усувається послідовним термічним обробленням.

Кількість заліза в лінії сплавлення складає 97,55% (рис. 2, а), а біля лінії сплавлення 97,06% (рис. 2, б), що збігається із основним металом вуглецевої сталі до зварювання. Відповідно залізо є основою отриманого зварного шву.

Тріщини у зварному шві та навколошовній зоні зварного з'єднання відсутні. Припою у вигляді евтектики у шві немає, гартівних структур не виявлено.

Припій 18 XFC у складі активуючої речовини показав хороші результати під час виконання індукційного зварювання тиском.

Література

1. ДСТУ 3761.2-98. Процеси зварювання і паяння. Терміни та визначення.

2. Письменний А.С. Індукційний нагрів для зварки та суміжних технологій / під ред. Б.Е. Патона. К.: ІЕС ім. Є.О. Патона, 2005. 140 с.

3. Vollmer M., Baunack D., Janoschka D., Niendorf T. Induction Butt Welding Followed by Abnormal Grain Growth: A Promising Route for Joining of Fe-Mn-Al-Ni Tubes. Shape Memory and Superelasticity. 2020. Vol. 6. P. 131–138. <https://doi.org/10.1007/s40830-019-00261-2>

4. Brätz O., Klett J., Wolf T., Henkel K.-M., Maier H.J., Hassel T. Induction Heating in Underwater Wet Welding – Thermal Input, Microstructure and Diffusible Hydrogen Content. Materials. 2022. Vol. 15, Issue 4. P. 1417. <https://doi.org/10.3390/ma15041417>

5. Jeong S., Park G., Kim B., Moon J., Park S.-J., Lee C. Heat-Affected Zone Characteristics with Post-Weld Heat Treatments in Austenitic Fe-Mn-Al-C Lightweight Steels. Metals and Materials International. 2002. Vol. 28. P. 2371–2380. <https://doi.org/10.1007/s12540-021-01133-0>

6. Прокоф'єв О.С., Губатюк Р.С., Римар С.В., Пантелеймонов Є.О., Абдулах В.М. Застосування індукційного зварювання тиском із активуючою речовиною при виконанні стикового з'єднання сталей різних видів. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 23–24 травня 2024 р., м. Чернігів. Т. 2. С. 52.

7. Пат. України UA 123711 C2 Україна. Спосіб фізичного модулювання процесу височастотної термічної обробки металевого зразка / М.М. Савицький, Р.С. Губатюк, С.В. Римар, О.М. Савицький, О.С. Прокоф'єв, В.А. Костін. № a201902347; Заявл. 11.03.2019; Опубл. 19.05.2021, Бюл. № 20. 5 с.

ПАРАМЕТРИ НАКЛЕПУ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН ПРИ ТОНКОМУ КУБОНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ

Метою роботи є визначення параметрів якості поверхонь та встановлення науково-обґрунтованих режимів тонкого кубонітового шліфування робочих поверхонь підшипників ковзання з нових антифрикційних композитів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей 4ХМНФС та 7ХГ2ВМФ з домішками твердого мастила CaF_2 . Ці режими різання нададуть змогу забезпечити високі параметри якості поверхонь та забезпечать високий рівень експлуатаційних властивостей вузлів тертя високообертового друкарського обладнання.

У експериментах використовувалися зразки з нових композитних матеріалів 4ХМНФС+5% CaF_2 та 7ХГ2ВМФ+5% CaF_2 [1, 2]. Застосовувались шліфувальні круги з кубоніту (КНБ) на керамічній (К1), металевій (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1, Бр2) зв'язках зі 100% концентрацією кубаніту. Режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН), швидкість круга $V_{\text{кр}} = 22$ м/с, швидкість виробу $V_{\text{в}} = 2$ м/хв, глибина різання $t = 2$ мкм, охолодження – 3% розчин содової емульсії. Для порівняння застосовували круг 63С10Гл з карбіду кремнію зеленого (63С) на гліфталевій зв'язці (Гл). Результати експериментальних досліджень параметрів зміцнення поверхневого шару при тонкому кубонітовому шліфуванні зразків з нових підшипникових матеріалів наведені у табл. 1–3 (де $\Delta a/a$ – спотворення 2-го роду; $H_{\text{д}}$ – мікротвердість поверхні деталі за Віккерсом; K – ступінь наклепу ($H_{\text{д}}/H_3$); показники наклепу зразків без оброблення: $\Delta a/a \cdot 10^{-4} = 0$, $H_3 = 3600$ МПа).

Таблиця 1 – Залежність наклепу від матеріалу зв'язки круга при кубонітовому шліфуванні зразків з композиту 7ХГ2ВМФ+5% CaF_2

Абразивний інструмент КНБ	Зернистість, мм	Зв'язка інструменту	Параметри наклепу		
			$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$H_{\text{д}}$, МПа	K
1	2	3	4	5	6
5К1 100%	50	керамічна	21–22	4190	1,16
5М1 100%		металева	20–22	4290	1,19
5Бр1 100%		бакелітно-гумова	19–20	4120	1,14
5Бр2 100%		бакелітно-гумова	19–21	4200	1,17

1	2	3	4	5	6
M28K1 100%	28	керамічна	18–19	3900	1,08
M28Бp1 100%		бакелітно-гумова	16–17	3850	1,07
M14K1 100%	14	керамічна	13–15	3800	1,05
5M14Бp1 100%		бакелітно-гумова	12–14	3710	1,03
M14M1 100%		металева	15–17	3750	1,04
M10K1 100%	10	керамічна	13–16	3700	1,02
M10Бp1 100%		бакелітно-гумова	10–12	3650	1,01

Таблиця 2 – Залежність наклепу від матеріалу зерен при кубонітовому шліфуванні зразків композиту 4ХМНФС+5%СаF₂ крупнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Параметри наклепу			Охолодження при обробленні
		$\Delta a/a \times 10^{-4}$	H_d , МПа	K	
КНБ 10Бр1 100%	100	21,5–22,5	4350	1,20	емульсія
КНБ 5Бр1 100%	50	19,0–20,0	4120	1,14	
		18,0–19,0	4080	1,13	
КНБ 5М1 100%		19,5–21,0	4120	1,14	
КНБ 5К1 100%		19,0–19,5	4100	1,14	
КНБ 5М1 100%		20,0–20,5	4200	1,17	без охолодження
	20,5–21,0	4270	1,18		
63С10Гл	100	23,7–24,0	5400	1,50	емульсія

Таблиця 3 – Залежність наклепу від матеріалу зерен при кубонітовому шліфуванні зразків з композиту 7ХГ2ВМФ+5%СаF₂ дрібнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Параметри наклепу			Охолодження при обробленні
	$\Delta a/a \times 10^{-4}$	$H_{дл}$, МПа	K	
КНБМ28БP1 100%	16,5–17,5	3870	1,07	емульсія
	17,0–18,0	3910	1,08	без охолодження
КНБМ20БP1 100%	15,0–16,5	3810	1,05	емульсія
КНБМ14БP1 100%	12,0–14,0	3710	1,03	
КНБМ10БP1 100%	10,0–12,0	3650	1,01	
	11,0–11,5	3720	1,03	без охолодження
КНБМ7БP1 100%	10,5–11,0	3680	1,02	емульсія
	11,5–12,5	3700	1,03	без охолодження
63C10Гл	23,0–23,5	4140	1,15	емульсія

Дослідження показали, що мінімальні спотворення II-го роду ($\Delta a/a$), мікротвердість, ступінь та глибина наклепу у поверхневому шарі забезпечуються інструментами з кубоніту зернистістю 14–20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при 100% концентрації кубоніту із застосуванням тонких режимів шліфування – для плоского однопрохідного шліфування: швидкість круга 22 м/с, швидкість виробу (поздовжня подача) 2 м/хв, глибина різання 2 мкм з охолодженням 3%-м розчином содової емульсії.

Література

1. Прогресивні технології синтезу і тонкої обробки нових антифрикційних композитних деталей для вузлів друкарських машин. Ч. 1: Монографія/П. О. Киричок, Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Майстренко, В. Г. Олійник. – К.: Видавничий дім «АртЕк», 2024.– 268 с. ISBN 978-617-8043-81-0.

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65033>

2. Прогресивні технології синтезу і тонкої обробки нових антифрикційних композитних деталей для вузлів друкарських машин. Ч. 2: Монографія/П. О. Киричок, Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Майстренко, В. Г. Олійник. – К.: Видавничий дім «АртЕк», 2025.– 281 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72196>

*Salenko O., Danilchenko Yu. Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv,
Gabuzian G. Separate structural subdivision
"Professional College of Mykhailo Ostrohradskyi
Kremenchug National University", Kremenchuk,
Hann Swook, KOPTI, Seoul, South Korea*

MONITORING OF LASER WELDING OF DIFFERENT THICKNESSES PARTS

The trend of recent decades indicates a steady increase in demand for new materials, technologies for their production, and progressive methods and ways of creating new products for critical industries, the nuclear and aerospace industries.

Among the processes that are most in demand today is laser welding, in conditions of high or low vacuum. This type of non-separable connection of parts is used for both small (a few microns) and conventional parts, the dimensions of which are limited exclusively by the dimensions of the vacuum chamber. Another important task of such processes is to ensure the physical and mechanical properties of the joined elements, guarantee the strength of the weld, and the absence of defects that may appear in the future.

From these positions, means, methods and methods of control, monitoring systems become the tools that can promptly control the process, timely perform corrective actions, and in some cases provide rational conditions for processing.

Production of special boxes and power elements from non-ferrous alloys, in particular, Cu, Al, etc. from individual elements connected by laser vacuum welding, requires control of welding quality, establishment of the depth of weld penetration. At the same time, compared to others, ultrasonic diagnostics is a reliable, highly productive method of non-destructive testing, which is currently used in many industries.

Traditionally, this type of control is inherent in elements of significant thickness (several mm and even tens of mm), while for small thicknesses, the errors in determining defects are comparable to the size of the defect itself, which limits the application of this method in practice.

The purpose of the research was to assess the possibilities of ultrasonic diagnostics of welded joints of different thicknesses.

Vacuum welding was performed using the LSK-400-5 laser complex and using the VUP-5 universal vacuum station [9]. During welding, the beam was focused on the plane of the upper workpiece. Positioning was carried out using a transverse movement table, which provides welding at several points with different process durations. The process duration was from 0.1 s to 0.15 s, Fig.1.

The effect on the surface was controlled by a mechanical beam chopper with an electric drive. The chopper was installed in the chamber through the optical beam transport system. Placement of samples in a vacuum chamber is performed so that the weld bath is formed in the horizontal plane.

Special cylindrical containers, thin walled with lids that are inserted from the end and cover the cylindrical part so that a belt for welding is formed, were selected as models. In this case, the welding scheme is shown in Fig. 2.

The laser used is pulsed and operates at fixed frequencies.

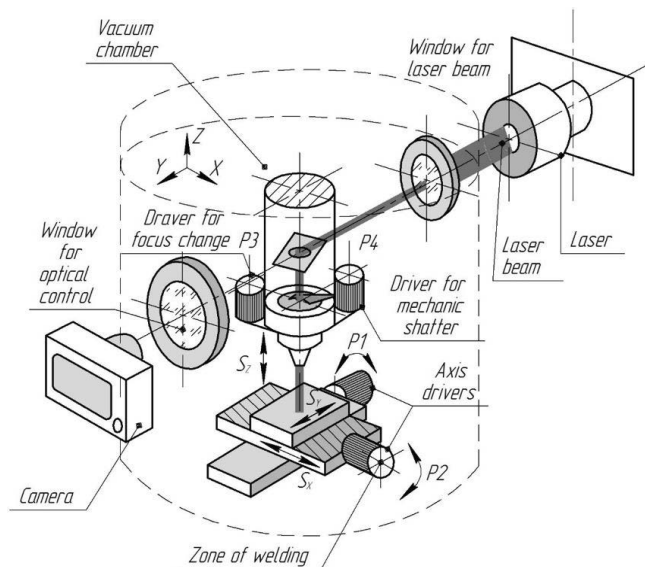


Fig. 1 – The equipment used and the scheme of the beam exposure to the surface

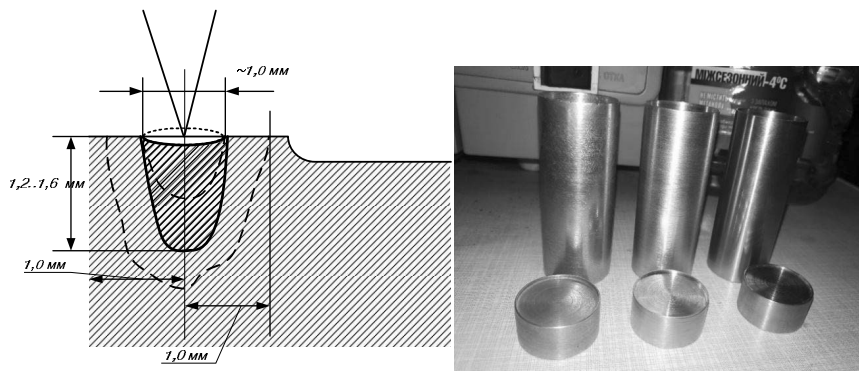


Fig. 2 – Welding diagram of a container with a lid and the intended melt pool

The use of this welding method allows for satisfactory penetration at the ends of the cover, however, since the strength of the joint is determined by the depth of the formation of the melt pool, the issue of testing a dense environment (welding site) and a loose environment (where the melt on the contact surfaces did not occur) is relevant. Since for this scheme, the loose environment is like a crack, which is satisfactorily fixed by ultrasonic examination, and the walls of the welded elements are quite small, the issue of increasing the accuracy of diagnostics arises using special sensors and special signal processing algorithms.

At the same time, it was assumed that in the case of a discrete representation of a continuous function in the form of a set of samples $x[n]=x(t)|_{t=nT}$, taken with a period T , the concept of the spectral density of the amplitude of a sequence of samples is determined by a pair of discrete-time Fourier transforms (DTFTs), which for a sequence $x[n]$ of finite length in N samples will take the form:

$$X[k] = T \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, 0 \leq k \leq N-1;$$

$$x[n] = \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j2\pi kn/N}, 0 \leq n \leq N-1.$$

The signal $x[n]$ cannot be limited both in duration and in bandwidth. However, it can be characterized by a certain interval T_e seconds, in which most of its energy will be concentrated when represented in the time domain, and by a certain interval B_e Hertz, in which most of its energy will be concentrated when represented in the frequency domain.

This is precisely the main characteristic of spectral estimation – resolution, which is understood as the ability to separately measure the spectral responses of two sinusoidal signals, close in frequency and amplitude. The resolution required by the program is provided by using the "window" function.

To solve the research problems, a mathematical model of wave propagation in the material was developed. Based on this model, the following research algorithm is proposed.

According to the created mathematical model, the fields of ultrasonic wave motion are calculated. At the same time, spectrograms are taken on the experimental sample in Fig. 3. The frequency characteristics of the PEP and the electrical path of the used flaw detection equipment are calculated using the methods given below.



Fig. 3 – Signal spectra obtained during the study of a welded joint on a cylindrical product

Since ultrasonic PEP emit a short signal with a wide spectrum of frequencies that affect the final form of the received echo signal, to calculate the frequency characteristics of the PEP and the electrical path of the used flaw detection equipment, it is necessary to know the Fourier transform of the impulse response of the system $V_*(f)$.

According to the models, a rational position of the sensor is found during measurements.

The obtained spectrograms are checked in manual mode, the shape of the spectrograms is set, and the basic frequency peaks are detected.

1. Enter the obtained data into a file (Fig. 4) and perform signal processing according to the above method
2. Obtain a regression equation to establish the condition of a high-quality and defective welded joint, based on the requirements that the penetration depth (seam) should exceed 1.4 mm.
3. Check the parts on a semi-automatic device for control

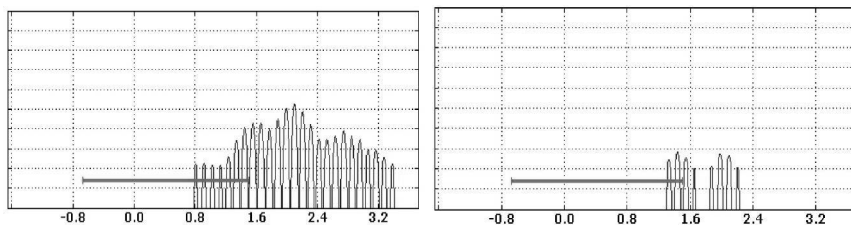


Fig. 4 – Signal recorded in the *.csv file

Conclusions

The use of ultrasonic control tools for analyzing the quality of the seam in the near-wall region on a thin cylindrical product, considering edge effects (wave interference, small thicknesses, etc.), and the use of special algorithms to improve the informativeness of the signal is theoretically justified.

The possibility of controlling the quality of laser vacuum welding of thin (about 1.0–2.0 mm) walls of cylindrical products by the size of the weld penetration is proven. When using special signal enhancement algorithms (by isolating the corresponding fundamental harmonics), it was possible to identify the presence of insufficient weld penetration exceeding 1.5 mm. An auxiliary device was also developed that allows the control process to be carried out in a semi-automatic mode.

Literature

1. Reisgen U., Olschok S., Jakobs S., Turner C. Lasers in Manufacturing Conference 2015. Laser Beam Welding in Vacuum – Overview of Thick-Plate Steel Application and Beyond. Welding and Joining Institute (ISF) – RWTH-Aachen University, Aachen, Germany.
2. Longerich S. Untersuchung zum Laserstrahlschweißen unter Vakuum im Vergleich mit dem Elektronenstrahlschweißen. In: Aachener Berichte Fügetechnik. Shaker Verlag, Dissertation 2011. ISBN 978-3-8440-0629-2.
3. Meng Jiang, Xi Chen, Yanbin Chen, Wang Tao. Mitigation of porosity defects in fiber laser welding under low vacuum. Journal of Materials Processing Technology. 2020. Vol. 276. Article 116385.
4. Бутырин П.А. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. М.: ДМК Пресс, 2005. 264 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://physicsbooks.narod.ru/Other/LabVIEW_7.pdf
5. Курбатов А. Программное обеспечение для сбора и обработки данных при измерениях и испытаниях. Компоненты и технологии. 2001. № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kit-e.ru/articles/measure/2001_01_68.php
6. Ложкова Д.С., Краснов И.С. Экспериментальные исследования по оценке дефектности сварных соединений основных деталей ГТД. Дефектоскопия. 2015. № 2. С. 10–16.

Сахнюк І.О., Кириленко Л.В.
Технічний центр НАН України, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ І НАПИСАННЯ НАЗВИ ТА ПОЗНАЧЕНЬ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ І СИМВОЛІВ ВЕЛИЧИН

В Україні продовжується адаптація національного законодавства до законодавства Європейського Союзу (далі – ЄС) у частині приведення у відповідність наказу Мінекономрозвитку від 04.08.2015 № 914 «Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень

та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин», зареєстрованого у Мін'юсті 25.08.2015 за № 1022/27467 (далі – наказ № 914), до Директиви Ради № 80/181/ЄЕС від 20.12.1979 про наближення законодавства держав-членів ЄС стосовно одиниць вимірювання та скасування Директиви Ради № 71/354/ЄЕС. Україна відповідно до пункту 1.4 Додатка III до Глави 3 «Технічні бар'єри у торгівлі» Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами повинна узгодити горизонтальне законодавство стосовно одиниць вимірювання із законодавством ЄС.

За результатами проведеної попередньої оціночної місії ЄС щодо стану готовності інфраструктури якості України до укладення Угоди про оцінку відповідності та прийнятність промислових товарів європейськими експертами було виявлено деякі невідповідності в законодавстві щодо одиниць вимірювання, які потребують врегулювання. З огляду на зазначене, Мінекономіки розроблено та оприлюднено 3 березня 2025 року проєкт наказу ([https://me.gov.ua/Documents/Detail/8975b7d9-fa9c-4bf9-824c-27d6f259c51b?lang=uk-UA&id=4485e869-f94c-4a94-9f33-f8dc86799244&title=OtsinkaTaVidbir DerzhavnikhInvestitsiiniikhProektiv](https://me.gov.ua/Documents/Detail/8975b7d9-fa9c-4bf9-824c-27d6f259c51b?lang=uk-UA&id=4485e869-f94c-4a94-9f33-f8dc86799244&title=OtsinkaTaVidbir%20DerzhavnikhInvestitsiiniikhProektiv)), яким передбачено внесення відповідних змін до наказу «Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин» від 04.08.2015 № 914 (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1022-15#Text>).

Проєктом наказу вносяться зміни до наказу № 914 з метою приведення у відповідність до Директиви № 80/181/ЄЕС, а саме: назва наказу змінена відповідно до змісту назви Директиви; вилучено положення щодо незастосування вимог наказу у сфері ядерної енергетики для вузлів та систем діючих атомних електричних станцій в абзаці другому пункту 2 наказу № 914, як таке, що не передбачене Директивою; пункт 2 Правил викладено згідно з положенням статті 3 Директиви, що дозволяє застосовувати додаткові позначення одиниць вимірювання разом із тими, що визначені наказом № 914.

Відповідно до положення проєкту наказу щодо пункту 1 та пункту 2 Правил застосування одиниць вимірювання і написання

назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин зазначено про таке:

1. На маркуванні продукції, що надається на ринку України, застосовуються міжнародні позначення одиниць вимірювання (з використанням літер латинського чи грецького алфавіту). Одночасно на маркуванні можуть бути застосовані українські позначення одиниць вимірювання (з використанням літер українського алфавіту), якщо інше не передбачено законодавством.

Суб'єкт господарювання самостійно приймає рішення щодо послідовності нанесення позначень одиниць вимірювання.

2. Дозволяється застосування на маркуванні продукції, що надається на ринку України, додаткових позначень (одного або більше позначень величини, які виражаються в одиницях вимірювання, не затверджених цим наказом, які супроводжують позначення величин, які виражаються в одиницях вимірювання, затверджених цим наказом).

Позначення одиниць вимірювання, затверджені цим наказом, є переважними. Додаткові позначення одиниць вимірювання повинні бути за розміром не більшими, ніж відповідні позначення одиниць вимірювання, затверджені цим наказом».

Разом із цим назви та позначення одиниць вимірювання друкуються прямим шрифтом із малої літери, за винятком позначень, назви яких походять від прізвищ учених, – вони пишуться з великої літери. Для уніфікації написання позначень це правило поширюється також на позначення дозволених позасистемних одиниць.

У назвах одиниць вимірювання, які містять частку від ділення однієї одиниці на іншу, назви одиниць знаменника пишуться з прийменником «на». Для одиниць вимірювання величин, які залежать від часу в першому степені і є характеристиками швидкості перебігу процесів, назва одиниці часу, яка міститься в знаменнику, пишеться з прийменником «за».

У назвах похідних одиниць SI, які містять добуток двох чи більше одиниць вимірювання, назви одиниць під час написання з'єднуються дефісом.

Позначення одиниць вимірювання є математичними символами. Символи величин та позначення одиниць вимірювання не повинні змінюватися у множині. Після них крапка не ставиться, крім випадків, коли цього вимагає пунктуація (у кінці речення).

Позначення одиниць вимірювання розташовуються в одному рядку із числовим значенням величини, без перенесення в наступ-

ний рядок. Між числом і позначенням одиниці вимірювання залишають проміжок. Винятки становлять позначення у вигляді єдиного спеціального знака — надрядкового індексу, перед яким проміжок не залишають.

Позначення одиниць вимірювання, які входять у добуток, потрібно відокремлювати крапкою (знаком множення) на середній лінії.

У літерних позначеннях відношень одиниць вимірювання для позначення знака ділення потрібно застосовувати лише одну риску (скісну або горизонтальну). Допускається також запис складених позначень одиниць вимірювання у вигляді добутку позначень одиниць вимірювання, піднесених до степенів (додатних чи від’ємних). У разі коли для однієї з одиниць вимірювання, яка входить до відношення, встановлено позначення у вигляді від’ємного степеня, застосування скісної або горизонтальної риски не допускається.

Позначення десяткових префіксів друкуються прямим шрифтом, без проміжку між префіксом і позначенням одиниці вимірювання.

Символами одиниць вимірювання є окремі літери латинського чи грецького алфавіту, іноді з підрядковими та/або надрядковими індексами. Вони друкуються курсивом незалежно від того, яким шрифтом надруковано весь текст. Символи, які є літерами грецького алфавіту, дозволено друкувати прямим шрифтом.

У разі якщо в тексті різні величини мають однакові символи, відмінність між ними можна показати за допомогою індексу. У разі коли індекс є символом величини, він друкується курсивом, в іншому разі — прямим шрифтом.

Цифри в числових значеннях величин друкуються прямим шрифтом.

Розмірності величин друкуються прямим шрифтом великими латинськими літерами.

У разі коли числове значення величини складається з великої кількості цифр, цифри можуть бути розділені проміжком на групи по три цифри, між якими кома та крапка не ставляться. Якщо числове значення містить лише чотири цифри, проміжок для відокремлення однієї цифри не ставиться.

У разі коли числове значення величини виражене десятковим числом, як розділовий знак використовується кома або крапка.

Проект наказу не стосується сфери наукової та науково-технічної діяльності та не потребує розгляду Науковим комітетом Національної ради з питань розвитку науки і технологій.

Зазначений регуляторний акт матиме вплив на: випробувальні та калібрувальні лабораторії, які здійснюють оцінку відповідності продукції вимогам технічних регламентів, випробуванням продукції та калібруванням засобів вимірювальної техніки, акредитовані Національним агентством з акредитації України; повірочні лабораторії, уповноважені Мінекономіки на проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки.

Отже, мета державного регулювання полягає в адаптації законодавства України щодо одиниць вимірювання до законодавства ЄС, що забезпечить виконання Україною зобов'язань, передбачених Угодою про асоціацію і усунення технічних бар'єрів у взаємній торгівлі між Україною та ЄС.

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

НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ ДІАМЕТРОМ ≤ 12 мм

Створено науково-технологічні основи та науково обґрунтовані практичні рекомендації для вирішення актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності процесу алмазно-абразивного шліфування керамічних куль діаметром ≤ 12 мм, для яких традиційна технологія шліфування втрачає ефективність, шляхом проведення досліджень методом планування експерименту для виявлення впливу схем базування куль на одно- чи двоточковий контакт за кругової подачі без чи з осциляцією куль і варіювання технологічними режимами обробки.

Встановлено вплив схем базування куль, кругової подачі без осциляції куль, варіювання режимами обробки на показники точності форми куль й форми профілю поверхні алмазного круга, а саме:

- за базування куль на одноточковий контакт і максимальних значень всіх режимів обробки досягаються наступні показники точності форми куль: область мінімальних значень непостійності діаметра куль $V_{DwL} = 27,7\text{--}38,1$ мкм, а значення форм – фактору f_r

$= 1 \pm 5 \cdot 10^{-5}$, тобто мінімальної похибки сферичної форми кулі – за наступних обмежень режимів обробки:

$$\omega_3 = \left\{ \begin{array}{l} \geq -1,907 + 0,168\omega_k \\ \leq -4,587 + 0,168\omega_k; 120,4 \leq \omega_k \leq \omega_{k\max}, s_B = s_{B\max} \end{array} \right\},$$

де ω_3 – частота кругової подачі заготовок; ω_k – частота обертання алмазно-абразивного круга; s_B – дискретна подача алмазно-абразивного круга на врізання;

а також показники форми профілю поверхні алмазного круга: має місце зниження розмаху ($y_{\max} - y_{\min}$) змінювання координат профілю зношеного круга з 237 мкм до діапазону 158–162 мкм, але значення кута нахилу λ й коефіцієнту кривини k_p форми поверхні алмазного круга в цілому є далекими від мінімальних; за базування куль на двоточковий контакт й змінювання режимів обробки має місце тенденція поступового переходу значень λ від від’ємних до додатних, значення λ поблизу нуля досягається за $\omega_3 \approx 23,4 \text{ с}^{-1}$ й максимальних значень s_B й ω_k , однак за такої подачі $k_p \approx 0,0069$, і має місце зниження розмаху ($y_{\max} - y_{\min}$) до 48–97 мкм, але значення V_{DwL} є далекими від мінімальних, а f_r – від одиниці;

Встановлено вплив схеми базування куль на одноточковий контакт, кругової подачі з осциляцією куль, варіювання геометричними параметрами шліфування й режимами обробки на показники точності форми куль й форми профілю поверхні алмазного круга, а саме:

- за відсутності варіювання геометричними параметрами шліфування та мінімального значення s_B й за максимальних значень ω_3 й ω_k досягається область мінімальних значень $V_{DwL} = 25,9\text{--}28,5$ мкм, а значення $f_r = 1 \pm 0,007$ досягаються за наступних обмежень режимів обробки:

$$\omega_3 = \left\{ \begin{array}{l} \geq 51,5 - 0,1664\omega_k; 136,3 \leq \omega_k \leq \omega_{k\max} \\ \leq 54,6 - 0,168\omega_k; 155 \leq \omega_k \leq \omega_{k\max}; s_B = s_{B\min} \end{array} \right\},$$

причому значення кута нахилу λ як і k_p є далекими від мінімальних;

- за варіювання геометричними параметрами шліфування, а саме: перекриттям осі обертання круга окружностями подачі куль – зовнішньою або внутрішньою, співвідношенням кількості куль на зовнішній і внутрішній окружностях, ексцентриситетом розташування поля траєкторій куль відносно осі обертання алмазного круга, область мінімальних значень $V_{DwL} = 16,9\text{--}17,4$ мкм досягається за на-

ступних умов: перекриття осі обертання круга зовнішньою окружністю подачі куль, співвідношення кількості куль 1,67 й несиметричного розташування поля траєкторій. Значення форм – фактора поблизу одиниці досягається за підвищення співвідношення кількості куль до 2,4.

Встановлено вплив схеми базування куль на двоточковий контакт, кругової подачі з осциляцією куль й варіювання режимами обробки на показники точності форми куль й форми профілю поверхні алмазного круга, а саме:

- область мінімальних значень $V_{DwL} = 14\text{--}18$ мкм досягається за наступних обмежень режимів обробки:

$$\omega_3 = \begin{cases} \geq 21,7 + 0,1388\omega_K - 0,00067\omega_K^2 \\ \leq \omega_{3\max}; \omega_{K\min} \leq \omega_K \leq \omega_{K\max}; s_B = s_{B\min} \end{cases};$$

- область значень форм – фактора круглограми кулі $f_r = 1 \pm 0,005$ досягається за наступних обмежень режимів обробки:

$$\omega_3 = \begin{cases} \geq 26,1 + 0,0193\omega_K - 0,00015\omega_K^2 \\ \leq \omega_{3\max}; \omega_{K\min} \leq \omega_K \leq \omega_{K\max}; s_B = s_{B\min} \end{cases};$$

й ці області змінювання режимів обробки частково перекриваються;

- область мінімальних значень $\lambda = -(12\text{--}15)^\circ$ досягається за наступних обмежень режимів обробки:

$$\omega_3 = \begin{cases} \leq 35,3 - 0,2937\omega_K - 0,00126\omega_K^2 \\ \leq \omega_{3\max}; \omega_{K\min} \leq \omega_K \leq \omega_{K\max}; s_B = s_{B\min} \end{cases}$$

- область мінімальних значень $k_p \leq -5 \cdot 10^{-4}$ досягається за наступних обмежень режимів обробки:

$$\omega_3 = \begin{cases} \leq 19,8 + 0,0211\omega_K - 0,0003\omega_K^2 \\ \leq \omega_{3\max}; \omega_{K\min} \leq \omega_K \leq \omega_{K\max}; s_B = s_{B\min} \end{cases}$$

й останні дві області змінювання режимів обробки частково перекриваються;

- розмах змінювання координат профілю зношеного алмазного круга коливається в межах 37–78 мкм, що є значно меншим за такий у інших схем базування куль.

На основі проведеного аналізу і порівняння результатів шліфування за досліджених схем базування і кругової подачі з або без коливання (осциляції) куль обґрунтована послідовність і відмінності у здійсненні операцій алмазного шліфування керамічних куль діаметром ≤ 12 мм. Послідовністю операцій шліфування є формоут-

ворення суцільної сферичної поверхні, вирівнювання форми шліфувального круга і уточнення форми куль. Відмінностями у здійсненні операцій є:

- формоутворення суцільної сферичної поверхні куль є доцільним здійснювати за схеми базування на одно точковий контакт і кругової подачі без осциляції куль за максимальних значень режимів обробки для формування мінімальних похибок сферичної форми кулі;
- вирівнювання форми шліфувального круга є доцільним за схеми базування на доточковий контакт і кругової подачі без осциляції куль за максимальних значень ω_k і S_v , а також визначеного обмеженнями діапазону значень ω_z для формування мінімального кута нахилу лінії профілю шліфувального круга;
- уточнення форми куль є доцільним здійснювати за схеми базування на доточковий контакт і кругової подачі з осциляцією куль на режимах обробки у визначеного обмеженнями діапазоні значень.

Технологія послідовного алмазного шліфування керамічних куль діаметром ≤ 12 мм з детальним описом виконання технологічних операцій послідовного алмазно-абразивного шліфування керамічних куль для гібридних підшипників представлена в розробленій технологічній інструкції

ТІ 25000 .00886(2024) «Технологія алмазного шліфування керамічних куль».

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

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ ДІАМЕТРОМ МЕНШЕ 12 ММ ЗА КРУГОВОЇ ПОДАЧІ З КОЛИВАННЯМИ

Недоліком процесів алмазно-абразивного шліфування за базування куль діаметром ≤ 12 мм на одно-, двоточковий контакт і кругової подачі, як зазначено в [1], є виникнення нерівномірності зношування поверхні алмазного круга, особливо поблизу осі його обертання або краю круга, яка негативно впливає на точність куль і пов'язана насамперед з незмінністю траєкторій куль за їхньої кругової подачі. Крім того за таких умов має місце тенденція до нерів-

номірного знімання припуску з формуванням похибки форми у вигляді бочкоподібності.

Зменшити негативний вплив обох чинників дозволяє технічне рішення введення у технологічному пристрої регульовального зміщення на певний ексцентриситет планшайби із співвісним з нею вільно обертовим сепаратором з кулями відносно осі обертання стола пристрою. Наявність цього ексцентриситету спричиняє з одного боку зміну траєкторії куль, яка стає схожою на подовжену епіциклоїду, параметри якої є функцією вільного обертання сепаратора. З іншого – з'являється коливання відстані від кулі до осі обертання стола, і виникає коливання значення відцентрової сили, що діє на кулю, на відміну від постійного значення відцентрової сили у схемі обробки з круговою подачею, де відстань від заготовки до осі обертання стола є постійною. Коливання відцентрової сили сприяє більшій рухливості вільно обертової кулі та її прагненню зайняти положення своїм більшим розміром у напрямку назустріч поверхні алмазного круга. Наслідком руху куль за подовженою епіциклоїдою є, за певного режиму обробки, вирівнювання форми зношуваної поверхні круга, а коливання відцентрової сили впливає на зменшення несферичності оброблюваних куль. Безперервне шліфування торцем круга куль із вказаними схемами базування й круговою подачею з коливанням, як і режим обробки впливають як на показники точності форми керамічних куль, так і на характер зношування круга, саме тому потребують дослідження закономірності такого впливу за вказаних умов здійснення процесу з розробкою відповідного технологічного оснащення.

У розробленому технологічному пристрої вільно обертові заготовки куль, які розміщено в наскрізних отворах також вільно обертового сепаратора, спираються однією точкою на горизонтальну площину обертового стола пристрою, розміщеного на верстаті [2] (рис. 1, *a*), або двома точками на стінки кільцевої канавки у планшайбі, розташованій на столі пристрою [3] (рис. 2, *a*), а з протилежного боку здійснюється їхнє безперервне шліфування торцем круга. За базування на одноточковий контакт плоско-паралельна планшайба для базування куль фіксується на обертовому столі пристрою з ексцентриситетом відносно осі обертання стола (рис. 1, *б*). Оброблювані кулі мають можливість вільного обертання у отворах сепаратора, який у свою чергу має можливість вільного обертання навколо осі симетрії планшайби. Кулі спираються однією точкою

на площину планшайби, а з протилежного боку здійснюється їхнє безперервне шліфування торцем круга.

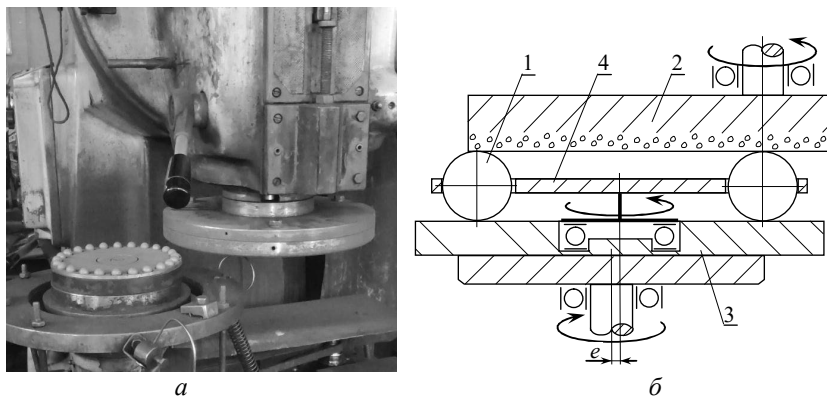


Рис. 1 – Налаштування технологічного пристрою (а) й схема базування куль у сепараторі на площині обертового столу пристрою (б):
1 – оброблювані кулі, 2 – алмазний круг, 3 – плоско-паралельна планшайба зі зміщенням на обертовому столі пристрою, 4 – сепаратор [2]

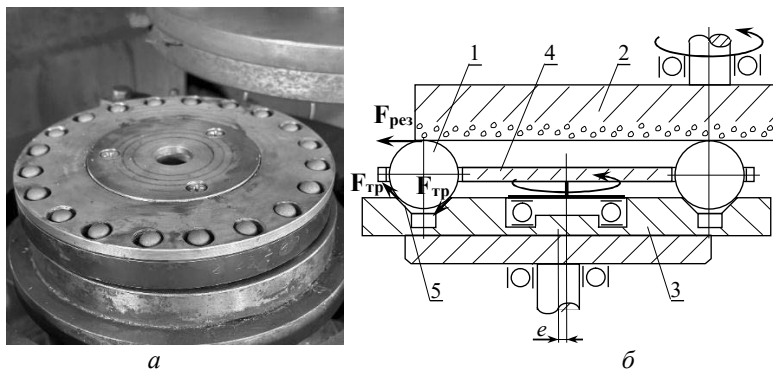


Рис. 2 – Розташування куль у сепараторі технологічного пристрою (а) і схема базування куль у кільцевій канавці планшайби на столі пристрою (б):
1 – оброблювані кулі, 2 – алмазний круг, 3 – плоско-паралельна планшайба з кільцевою канавкою, 4 – сепаратор, 5 – стінка канавки [3]

За базування на двоточковий контакт плоско-паралельна планшайба з розташованою симетрично осі планшайби кільцевою канавкою V-подібного профілю для базування куль фіксується на обертовому столі пристрою з ексцентриситетом відносно осі обертання столу (рис. 2, б). Оброблювані кулі мають можливість вільного обертання у отворах сепаратора, який у свою чергу має можливість вільного

обертання навколо осі симетрії планшайби. Кулі спираються двома точками на стінки кільцевої канавки у планшайбі, а з протилежного боку здійснюється їхнє безперервне шліфування торцем круга.

За обох схем базування отвори сепаратора виконано по окружності навколо осі його обертання. На схемах відповідними стрілками показано напрямок обертання алмазного круга, стола пристрою й сепаратора під час шліфування куль. Вільне обертання сепаратора задається взаємодією як з обертовим столом, так і з вільно обертовими кулями, які штовхають сепаратор у напрямку свого руху. Позиціонування технологічного пристрою відносно алмазного круга здійснюється регулювальними рухами стола верстата, на якому розміщено пристрій, так, щоб забезпечити кругову подачу куль за обов'язкової умови невиходу траєкторії куль за край круга.

Таким чином розроблено технологічне оснащення для дослідження процесу шліфування торцем алмазного круга з базуванням керамічних куль на одно-, двоточковий контакт і їхньою круговою подачею з коливанням, в якому вільно обертові заготовки куль, які розміщено в наскрізних отворах також вільно обертового сепаратора, спираються однією точкою на горизонтальну площину або двома точками на стінки розташованої симетрично осі планшайби кільцевої канавки V-подібного профілю, причому планшайба фіксується на обертовому столі пристрою з ексцентриситетом відносно осі обертання стола, а з протилежного боку здійснюється їхнє безперервне шліфування торцем круга. Безперервне шліфування торцем круга куль із вказаними схемами базування й круговою подачею з коливанням, як і режим обробки позитивно впливають як на показники точності форми керамічних куль, так і на характер зношування круга.

Література

1. Сохань С.В., Возний В.В., Сороченко В.Г., Гаманюк М.П. Алмазне шліфування керамічних куль з круговою подачею. Надтв. матеріали. 2023. Вип. 4. С. 65-79.
2. Сохань С.В., Возний В.В., Сороченко В.Г. Алмазне шліфування керамічних куль з базуванням на площині й круговою подачею з коливанням. Публікація запланована у Вип. 1 2025 р. Надтв. матеріали.
3. Сохань С.В., Возний В.В., Сороченко В.Г. Алмазне шліфування керамічних куль з базуванням у кільцевій канавці й круговою подачею з коливанням. Пройшла рецензію у ж. Надтв. матеріали у 2024.

ФОРМУВАННЯ ОБМЕЖУВАЛЬНИХ СПИСКІВ І РЕГЛАМЕНТІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ

Для визначення ступеня репрезентативності досліджуваної вибірки загальної сукупності доцільно визначити частоту (тривалість) p використання об'єктів, або будь-яку іншу величину, що характеризує статистичні дані вибірки. Частота p відповідає одному з параметрів x (розміру, точності тощо).

За частотою p розраховуються: x_B – вибіркове середнє, Δ_B – відхилення від загального середнього; σ_B^2 – вибіркова дисперсія; σ_B – вибіркове середньоквадратичне відхилення.

Це дозволяє обчислити помилку вибірки Δ_c .

Порівнюючи помилку вибірки Δ_c з відхиленням від загального середнього Δ_B , можна судити про ступінь репрезентативності вибірки за прийнятим інтервалом довірчої ймовірності.

Визначення ступеня відповідності розподілів частоти в околицях величини, обраної для уніфікації, розглянемо для випадкових величин, розподілених за нормальним законом:

$$F_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - x_B)^2}{2\sigma_B^2}\right).$$

І закон Лапласа з інтенсивністю появи об'єктів:

$$F_{(x)} = \frac{1}{\sigma_B \sqrt{2}} \exp\left[\frac{\sqrt{2}|x - x_B|}{\sigma_B}\right].$$

Для цього необхідно визначити наступне: t – нормоване відхилення; Δt – приріст нормованого відхилення на інтервалі, що спостерігається.

Відповідно до щільності ймовірності на інтервалі для нормального закону:

$$f \cdot (t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-t^2 / 2\right] \Delta t.$$

І для закону Лапласа

$$f \cdot (t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp\left[-\sqrt{2}t\right] \Delta t.$$

Перераховуються частотні характеристики на кожному інтервалі:

$$P_i = f \cdot \sum_{i=1} P_i.$$

Це дозволяє розрахувати критерій Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - p_i)^2}{p_i^2}.$$

За яким можна визначити ступінь відповідності розподілу прийнятому закону. Судити про ступінь відповідності розподілу випадкових величин прийнятому закону дозволяє співвідношення Романовського:

$$Q = \frac{\chi^2 - f}{\sqrt{2f}},$$

де f – число ступенів свободи, тобто кількість груп у досліджуваному ряду розрахованих статистичних характеристик і використовуваних при обчисленні теоретичного розподілу. Для прийнятих законів розподілу $F_{(x)}$ існує дві характеристики – це x_B і σ_B . Тоді кількість ступенів свободи $f = N - 2$, де N – кількість інтервалів розбиття розглянутої ділянки розподілу випадкових величин.

Щодо значення Романовського $Q < 3$ можна говорити про відповідність розглянутої ділянки прийнятому закону розподілу. Так, при розгляді мінімальної кількості інтервалів-трех, на які може бути розділена ділянка, ймовірність адекватності розподілу нормальному закону перевищує 96%. У разі збільшення кількості інтервалів розбиття при співвідношенні $Q < 3$ ймовірність адекватності збільшується. Статистична обробка даних про процеси та об'єкти виробництва дозволяє судити про ступінь достовірності опису в обмежувальних списках того різноманіття випадкових факторів, які необхідно розглядати при уніфікації на підприємстві. При достатній репрезентативності вибірки і відповідності запропонованих для уніфікації позицій максимумам в законах розподілу випадкових величин можна приступити до формування баз даних на основі складання обмежувальних списків, що характеризують об'єкти, і регламентів, що описують виробничі процеси.

Статистичний аналіз отриманих даних здійснювався за допомогою критерію Пірсона та коефіцієнта відповідності Романовського. Було розраховано середньоквадратичні відхилення параметрів зно-

су та визначено рівень відповідності результатів нормальному розподілу, що дозволило оцінити ефективність кожного методу.

Для математичного моделювання процесів зношування рейок застосовувалися диференційні рівняння, що описують закономірності формування хвильового зносу залежно від зовнішніх навантажень та технологічних параметрів обробки.

Тимофєєва Л.А., Роценко О.В., Свєтош В.Ю.

Український державний університет
залізничного транспорту, Харків

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Вимірювання є невід'ємною складовою виробничого процесу. Постійне зростання вимог виробництва до точності та надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) зумовлює необхідність їх удосконалення та модернізації шляхом впровадження передових матеріалів і технологій.

Використання високоякісного вимірювального інструменту з покращеними метрологічними та фізико-механічними характеристиками дає змогу досягти прецизійної точності вимірювань. Точність ЗВТ визначається стабільністю їхніх геометричних параметрів, жорсткістю, зносостійкістю та стійкістю до впливу зовнішніх чинників. Впровадження сучасних матеріалів дає можливість зменшити вплив температурних деформацій, механічного зносу та вібрацій, що підвищує надійність та повторюваність вимірювань.

Точність ЗВТ залежить від стабільності їхніх геометричних параметрів, жорсткості, зносостійкості та стійкості до впливу навколишнього середовища. Використання сучасних матеріалів дозволяє зменшити температурні деформації, механічний знос і вплив вібрацій, що підвищує надійність вимірювань.

Використання новітніх матеріалів у ЗВТ:

- нержавіючу сталь із покриттям TiN (нітрид титану) – забезпечує підвищену зносостійкість і стійкість до корозії;
- керамічні матеріали – мають високу термостабільність та низьку схильність до магнітних впливів, зменшення зносу;

- вуглецеві композити – зменшують вагу інструменту, покращуючи його ергономіку та знижуючи вібрації;
- карбідні вимірювальні вставки підвищують зносостійкість та забезпечують стабільність показів;
- титанові сплави зменшують вагу приладу, що покращує зручність використання;
- оптичне скло та сапфірові вставки – забезпечують довговічність шкал і лінз;
- легкосплавні корпуси (магнієві та алюмінієві) – забезпечують міцність, зменшують вагу приладу, підвищуючи його мобільність;
- магнітні сенсори – використовуються в цифрових кутомірах для високоточної фіксації вимірювань;
- рубінові наконечники – стійкі до зносу та хімічних впливів;
- пластикові та керамічні корпуси – зменшують електромагнітні перешкоди та покращують ергономіку;
- комбіновані сенсорні технології (ультразвукові, магнітні, вихрострумові) – забезпечують універсальність вимірювань.

Отже застосування сучасних матеріалів у ЗВТ підвищує їх точність, зносостійкість, надійність, довговічність та стійкість до несприятливих факторів. Впровадження передових технологій сприяє покращенню вимірювальних характеристик, що відкриває нові можливості для промисловості та наукових досліджень.

Література

1. Матеріали для контрольно-вимірювального інструмента [Електронний ресурс] // Stud.com.ua. – 2024. – Режим доступу: https://stud.com.ua/73740/tehnika/materiali kontrolno vimiryuvalnogo instrumenta?utm_source=chatgpt.com
2. Паламарчук О. В. Вимірювання терморадіаційних характеристик спектрально-селективних покриттів [Електронний ресурс] // SSRN Papers. – 2023. – Режим доступу: https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3206041_code2592697.pdf?abstractid=3206041&mirid=1&utm_source=chatgpt.com
3. Савченко В. Ю. Структура та властивості керамічних матеріалів [Електронний ресурс] // E-prints KNAME. – 2020. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/55734/1/2020%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2055%D0%9B.pdf?utm_source=chatgpt.com

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОГРАФІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ

На теперішній час географічне розташування відіграє значну роль у виборі та застосуванні технологій зварювання. Кліматичні умови, доступ до ресурсів, інфраструктура та рівень промислового розвитку регіону безпосередньо впливають на вибір методів зварювання, використовуваних матеріалів та обладнання. У даній роботі розглядаються ключові аспекти, пов'язані з географічним розташуванням, та їхній вплив на технології зварювання.

Кліматичні фактори, такі як температура, вологість і вітер, мають суттєвий вплив на процес зварювання. У регіонах з екстремально низькими температурами, наприклад, в Арктиці, необхідно використовувати спеціальні зварювальні матеріали та методи, стійкі до холоду. Наприклад, при зварюванні в умовах низьких температур слід застосовувати електроди з низьким вмістом водню, щоб уникнути утворення тріщин у швах. У тропічних регіонах з високою вологістю важливо враховувати ризик корозії та використовувати захисні покриття для зварювальних матеріалів. Географічне розташування визначає доступ до сировинних ресурсів, таких як метали та гази, що використовуються у зварювальних процесах. У регіонах, багатих на природні ресурси, наприклад, у країнах з розвинутою металургійною промисловістю, доступ до високоякісних матеріалів для зварювання є більш імовірним. Це дозволяє використовувати передові технології, такі як лазерне зварювання або зварювання в середовищі захисних газів. У той же час у віддалених або ресурсно обмежених регіонах можуть застосовуватися простіші та доступніші методи, такі як ручне дугове зварювання.

Рівень розвитку інфраструктури та промисловості в регіоні також впливає на вибір технологій зварювання. У розвинених країнах з високим рівнем автоматизації та роботизації широко використовуються автоматичні та напівавтоматичні зварювальні системи. У менш розвинених регіонах, де інфраструктура обмежена, частіше застосовуються ручні методи зварювання, які потребують менших капіталовкладень і простішого обладнання. Географічне положення та природний тиск суттєво впливають на вибір технологій зварювання металевих споруд. У регіонах з екстремальними температурами, високою

вологістю або значним атмосферним тиском (наприклад, у гірських районах, під водою або в умовах Арктики) необхідно застосовувати спеціальні методи зварювання.

Серед найбільш ефективних технологій використовують: зварювання у вакуумі або під тиском – для конструкцій, що працюють у космосі або під водою; кріогенне зварювання – у зонах з низькими температурами для збереження міцності з'єднань; зварювання під флюсом та лазерне зварювання – для мінімізації впливу атмосферних чинників.

Таким чином, правильний вибір технології зварювання з урахуванням природних умов забезпечує надійність та довговічність металевих споруд.

В сучасному світі географічне розташування є важливим фактором, що визначає вибір технологій зварювання. Кліматичні умови, доступ до ресурсів та рівень промислового розвитку регіону формують вимоги до зварювальних процесів та обладнання. Розуміння цих факторів дозволяє оптимізувати технології зварювання для конкретних умов, що сприяє підвищенню якості та ефективності робіт.

Література

1. ДСТУ ISO 3834-1:2018. Вимоги до якості при зварюванні металевих матеріалів.
2. Smith, J. Welding in Cold Climates: Challenges and Solutions. – Journal of Welding Technology. – 2020.
3. International Institute of Welding (IIW). Guidelines for Welding in Tropical Environments. – 2019.

Тимофєєв С.С., Сергєєв О.В., Печериця В.М.
Український державний університет
залізничного транспорту, Харків

ПЕРСПЕКТИВИ ТА НОВІ РІШЕННЯ LiDAR У МЕТРОЛОГІЇ В КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0

Технологія LiDAR (Light Detection and Ranging) базується на принципі лазерного сканування і дозволяє визначати відстань до об'єктів шляхом вимірювання часу проходження лазерних імпульсів. Незважаючи на простоту цього принципу, інтеграція LiDAR із

технологіями Індустрії 4.0 відкриває нові можливості для підвищення точності, автоматизації та оперативності метрологічних процесів.

Метод LiDAR полягає у вимірюванні часу проходження лазерного імпульсу до об'єкта і назад. Відстань визначається за формулою:

$$D = (c \cdot t) / 2,$$

де D – відстань до об'єкта; c – швидкість світла; t – час проходження лазерного імпульсу.

Завдяки високій частоті сканування та великій кількості точок вимірювання, LiDAR дозволяє отримувати точні тривимірні моделі поверхонь з мінімальними похибками.

Індустрія 4.0 передбачає цифровізацію виробництва та інтеграцію передових технологій у промислові процеси. У цьому контексті LiDAR стає важливим інструментом метрології завдяки таким перевагам:

Автоматизація вимірювань. LiDAR-системи інтегруються безпосередньо у виробничі лінії, автоматично проводять вимірювання та передають результати до інформаційних систем підприємств.

Цифрові двійники. На основі даних LiDAR створюються цифрові моделі реальних об'єктів, що дозволяє проводити віртуальні випробування та прогнозувати поведінку обладнання.

Інтернет речей (IoT). Інтеграція з IoT забезпечує передачу результатів вимірювань у реальному часі для оперативного контролю якості продукції.

Для врахування впливу зовнішніх факторів (температура, вологість) застосовується формула корекції результатів вимірювання:

$$D_{\text{кор}} = D_{\text{вим}} \cdot (1 + \alpha_T \Delta T + \alpha_H \Delta H),$$

де $D_{\text{кор}}$ – скоригована відстань; $D_{\text{вим}}$ – виміряна відстань; α_T , α_H – коефіцієнти корекції за температурою та вологістю; ΔT , ΔH – зміни температури і вологості відповідно.

Сучасні IoT-рішення дозволяють автоматично враховувати ці параметри й миттєво коригувати результати вимірювання.

Практичними прикладами застосування LiDAR у метрології є: калібрування складних поверхонь – використання LiDAR для калібрування геометричних параметрів деталей зі складною геометрією (наприклад, лопатей турбін або авіаційних компонентів) дозволяє суттєво зменшити похибки порівняно з традиційними контактними методами; моніторинг деформацій інженерних споруд – стаціонарні LiDAR-системи забезпечують постійний контроль деформацій мостових конструкцій та інших інженерних споруд, що сприяє підвищенню безпеки експлуатації; точне визначення об'ємів матеріалів – у лабора-

торних і виробничих умовах LiDAR дозволяє швидко й точно визначати об'єми сипучих матеріалів або сировини складної форми. Використовуючи дані LiDAR-вимірювань разом із статистичними моделями деградації обладнання, можна прогнозувати термін його служби:

$$L(t) = L_0 - k \cdot f(D, t)$$

де $L(t)$ – прогнозований залишковий ресурс обладнання через час t ; L_0 – початковий ресурс обладнання; k – коефіцієнт деградації; $f(D, t)$ – функція деградації залежно від параметрів, отриманих за допомогою LiDAR-вимірювань.

Це дозволяє ефективніше планувати технічне обслуговування і мінімізувати витрати на ремонтні роботи.

Таким чином, інтеграція технології LiDAR із рішеннями Індустрії 4.0 створює новий рівень метрологічної точності й автоматизації. Використання IoT-технологій, цифрових двійників і аналітичних алгоритмів забезпечує не лише отримання високоточних результатів у реальному часі, але й прогнозування стану обладнання на майбутнє. Це відкриває широкі перспективи для подальших досліджень і практичного застосування у промисловості та метрології.

Література

1. Глушков О.В., Карпенко Ю.В. Використання LiDAR у промисловій метрології: сучасні рішення та перспективи // Науково-технічний журнал «Метрологія та вимірювальна техніка». – 2024. – №2. – С. 15–22.
2. Smith, J., & Brown, R. Applications of LiDAR Technology in Industry 4.0 // Journal of Advanced Manufacturing Systems. – 2023. – Vol. 22(3). – P. 45–56.
3. Zhang, L., & Wang, H. Real-Time Monitoring and Calibration Using LiDAR Sensors in Smart Manufacturing // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2024. – Vol. 71(1). – P. 89–97.
4. Müller, K., & Schmidt, T. Integration of LiDAR and IoT for Predictive Maintenance in Industrial Environments // Journal of Smart Systems and Technologies. – 2025. – Vol. 18(4). – P. 123–134.
5. Коваленко І.М., Сидоренко Л.П., Гончарук В.О. Інноваційні методи контролю геометричних параметрів за допомогою LiDAR // Вісник технічних наук України. – 2024. – №3(75). – С. 38–45.
6. NASA Goddard Space Flight Center: LIDAR Metrology for Prescription Characterization and Alignment of Large Mirrors // NASA Technical Reports Server (NTRS). – Дата публікації: 2011.
7. Hitachi Social Innovation: 3D LiDAR Technology Paves the Way for Smart Manufacturing // Hitachi Research Reports. – 2024.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ МІКРОФРЕЗЕРУВАННЯ

На сьогоднішній день розвиток технологій мікрофрезерування [1] набуває все більшого значення в різноманітних галузях промисловості для виготовлення мікроелементів. Технічні складнощі процесу мікрофрезерування зумовлені передусім такими ефектами як, масштабний ефект та ефект мінімальної товщини зрізу [2, 3].

Масштабний ефект пов'язаний з тим, що інструмент взаємодіє не з однорідним за об'ємом матеріалом, а з елементами його мікроструктури, яка вже не може розглядатися як гомогенна на кристалічному рівні. Це викликає нерівномірне навантаження на різальну кромку, що призводить до мікрівібрацій, стохастичного зношування інструменту і, як наслідок, до зниження точності і якості поверхні [4].

Ефект мінімальної товщини зрізу має місце, коли значення подачі на зуб менше за критичну товщину зрізу, необхідну для пластичної деформації оброблюваного матеріалу. У таких випадках матеріал не зрізається, а деформується і витискається назовні пазу (ефект «оранки» або ploughing effect), створюючи значні заусенці. Тобто замість механізму зсуву оброблюваного матеріалу в зоні різання відбувається його пластична деформація [3]. Це критично знижує ефективність обробки та призводить до низької якості поверхні виробу. При мікрофрезеруванні менші значення подачі вимагають більших значень переднього кута для досягнення мінімальної товщини зрізу. В результаті за меншої подачі більший об'єм матеріалу стикається з ефектом пластичного деформування, а це збільшує питоме зусилля різання, при цьому спостерігається більше пружне відновлення оброблюваного шару після проходження інструменту.

Масштабний коефіцієнт – це відношення товщини зрізу до радіуса різальної кромки інструмента [4]. При мікрофрезеруванні радіус заокруглення різальної кромки впливає на значення дійсного переднього кута і таким чином – на силові характеристики процесу різання.

Питомі сили різання є ще однією важливою і особливою характеристикою процесу мікрофрезерування [5]. Питомі сили різання при мікрофрезеруванні багатократно вищі, ніж при традиційному фрезеруванні. При зменшенні розмірів різального інструменту або глибини різання, питома сила, що діє на одиницю об'єму матеріалу, зростає через більшу частку пластичних деформацій і мікроруїнувань порівняно із звичайним різанням.

Взаємодія ефекту мінімальної товщини зрізу, масштабного ефекту та надмірних питомих сил різання спричиняє труднощі реалізації процесу мікрофрезерування. Якщо товщина зрізу знижується до критичного значення (мінімальної товщини зрізу), а інструмент взаємодіє з негомogeneous мікроструктурою оброблюваного матеріалу, то процес стає нестабільним. Це вимагає науково-обґрунтованого підходу до розробки ефективних технологій мікрофрезерування.

Для зменшення негативного впливу розглянутих ефектів важливо застосовувати інструменти із мінімально можливим радіусом заокруглення різальної кромки та дотримуватися рекомендацій щодо оптимального співвідношення товщини зрізу та радіуса різальної кромки. Рекомендоване співвідношення товщини зрізу до радіусу різальної кромки для більшості конструкційних матеріалів складає від 40% [6]. Наприклад, при обробці сплаву NiTi автори [7] рекомендують, щоб товщина зрізу складала не менше 30% від радіуса кромки інструменту.

Забезпечення ефективності мікрофрезерування сучасних конструкційних матеріалів є складним науково-технічним завданням, що вимагає подальших комплексних досліджень процесу мікрорізання із врахуванням масштабного ефекту, ефекту мінімальної товщини зрізу, ефекту «оранки» та інших явищ.

Література

1. Балицька Н.О., Мельничук П.П. Мікрофрезерування, як спосіб текстурування поверхонь сплавів Ni-Ti для модифікації змочуваності / Наталія Олександрівна Балицька, Петро Петрович Мельничук // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2025. – № 347(1). – С. 478–485. – DOI: 10.31891/2307-5732-2025-347-65.
2. Томашевський О.О., Балицька Н.О., Прилипко О.І. Скінченно-елементне моделювання процесу мікрофрезерування нітинолу / Олег Олегович Томашевський, Наталія Олександрівна Балицька, Олександр Іванович Прилипко // Технічна інженерія. – 2024. – № 1(93). – С. 81–88. – DOI: 10.26642/ten-2024-1(93)-81-88.
3. Томашевський О.О., Балицька Н.О. Процес мікрофрезерування металів і сплавів: аналітичний огляд / Олег Олегович Томашевський, Наталія Олександрівна Балицька // Технічна інженерія. – 2023. – № 2(92). – С. 74–88. – DOI: 10.26642/ten-2023-2(92)-74-88.
4. Aramcharoen A., Mativenga P.T. Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel / Ampara Aramcharoen, Paul Tarisai Mativenga // Precision Engineering. – 2009. – Vol. 33, no. 4. – P. 402–407. – DOI: 10.1016/j.precisioneng.2008.11.002.

5. Balázs B.Z., Geier N., Takács M., Davim J.P. A review on micro-milling: recent advances and future trends / Barnabás Zoltán Balázs, Norbert Geier, Márton Takács, J. Paulo Davim // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 112. – P. 655–684. – DOI: 10.1007/s00170-020-06445-w.

6. Chae J., Park S.S., Freiheit T. Investigation of micro-cutting operations / J. Chae, S. S. Park, T. Freiheit // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2006. – Vol. 46, no. 3–4. – P. 313–332. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.05.015.

7. Aslantaş K., Kaynak Y. Şekil Hafızalı NİTİ Alaşımının Mikro Frezelenmesi ve Kritik Talaş Kalınlığının Belirlenmesi / Kubilay Aslantaş, Yusuf Kaynak // Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. – 2018. – Vol. 2018, no. 18–2. – DOI: 10.17341/gazimmfd.460515.

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

ДО ПИТАННЯ ПРО ПРИРОДУ ОСЦИЛЯЦІЙ СИЛ, ЩО РЕЄСТРУЮТЬ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ, ПРО ДИНАМІЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ТА ДИНАМІЧНУ ТАРИРОВКУ

Відповідь на питання, що винесено у заголовок, не лежить на поверхні. Навіть якщо обмежитися розглядом лише одиничного циклу переривчастого різання [1], осциляція «сил різання», що реєструє динамометр, може не мати нічого спільного, власне, із силами різання.

Для роз'яснення питання нагадаємо, що одиничний цикл складається з етапів: врізання, переміщення ріжучого клину в об'ємі заготовки (зняття стружки), виходу з контакту, переміщення ріжучого клину без контакту (холостого ходу). Якщо при точінні в силу конструктивних особливостей заготовки, наприклад шпонкових пазів [2, 3], часовий інтервал врізання значно зростається, говорять про раптово прикладене навантаження і відгук на неї в системі ВПД (або усіченої системі, такої як різець–резцеутримувач–супорт–станина). Відгук на раптово прикладену силу F у першому наближенні можна промодельовувати одномасовою системою (рис. 1).

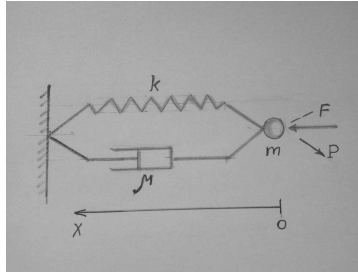


Рис. 1 – Модель усіченої системи ВПД з ефективною масою m , коефіцієнтом жорсткості k і демпфуючою властивістю, що характеризується коефіцієнтом в'язкості μ

Опускаючи викладки, запишемо ДР

$$m \cdot \ddot{x} = F - k \cdot x - \mu \cdot \dot{x}, \quad (1)$$

де $x = x(t)$ – переміщення різця у часі t , $k \cdot x_p(t)$ – пружна реакція деформованого елемента, що несе тензодатчик, та початкові умови

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = P/m, \quad (2)$$

де P – кількість руху (або імпульс), що передається системі при динамічній тарировці динамометра падаючою кулькою. Рішення ДР дається виразом

$$x(t) = e^{-\beta t} \left(\left(\frac{P}{m\omega} - \frac{F\beta}{k\omega} \right) \sin \omega t - \frac{F}{k} \cos \omega t \right) + \frac{F}{k}, \quad (3)$$

де $\beta = \frac{\mu}{2m}$ – коефіцієнт згасання, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{\mu^2}{4m^2}}$ – циклічна частота власних коливань системи. Зрозуміло, значення параметрів $P \neq 0$, $F=0$ відповідає динамічній тарировці, а $P=0$, $F \neq 0$ – процесу раптово прикладеній збурюючій силі.

Тут не можна не сказати про помилку, що часто допускається при динамічній тарировці – прирівнюванню площі під першим гребенем графіка синусоїди $k \cdot x(t)$ імпульсу P . Слід інтегрувати графік сили за часом до нескінченності:

$$\int_0^{\infty} k \cdot x(t) dt \equiv \int_0^{\infty} e^{-\frac{\mu}{2m} t} \frac{P}{m \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{\mu^2}{4m^2}}} \sin \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{\mu^2}{4m^2}} t dt = P. \quad (4)$$

Останнє тривіально ілюструє другий закон Ньютона в імпульсній формі: імпульс сили, що діє на тіло, дорівнює зміні кількості руху тіла. Висновок: при динамічній тарировці беремо інтеграл за часом до моменту повного згасання коливань графіка сили.

Відношення максимальної деформації пружного елемента в коливальному процесі до деформації при статичному навантаженні (що дорівнює відношенню відповідних пружних сил) називають динамічним коефіцієнтом K_d . З формули (3) отримаємо аналітичний вираз динамічного коефіцієнта

$$K_d = 1 + e^{-\frac{\pi \mu}{\sqrt{4km - \mu^2}}} \quad (5)$$

Чи можна інтерпретувати збурюючу силу F як силу різання, а коефіцієнт K_d (5) – як міру сплеску цієї сили на етапі врізання? Перше – так, друге – ні. За визначенням збурююча (чи змушуюча) сила – змінна у часі сила, яка не залежить від стану механічної системи і яка викликає коливання цієї системи. У нашому випадку сила різання (нехай F – одна із компонентів P_z, P_y, P_x), дійсно, збурююча. Вона – зовнішня по відношенню до системи, наперед задана (як одна з умов задачі), має точку прикладення на різці в контакті з деталлю. А динамічний коефіцієнт порівнює сили деформації пружного елемента динамометра при миттєвому та нескінченно повільному прикладенні F відповідно. Точка прикладення цих сил досить віддалена від контакту «деталь-різець». Вона лежить усередині габаритів динамометра як ланки пружної системи [4]. А між нею (точкою прикладення) та контактом розташовані аж ніяк не безмасові різцетримач, інтегрований в спеціальну плиту динамометра, і сам різець. Таким чином, ми спробували показати, що осциляція сил, що реєструється динамометром, не відображає безпосередньо зміну контактних сил «деталь-різець». Лише в усталеному режимі, при згасанні осциляцій реєстрована динамометром сила пружної деформації елемента з тензодатчиком чисельно дорівнює контактній F .

Проілюструємо останні тези наочно і не на тривіальній одномасовій моделі з єдиною затухаючою гармонікою з «правильним» графіком, а на двомасовій (рис. 2), більш реалістичній, з нетривіальним графіком коливань та можливістю порівнювати результати тензометрування при різних локаціях тензодатчиків (про практику розташування датчиків див. [5]).

Відповідно до схеми рис. 2 складено систему ДР

$$\begin{cases} m \ddot{x} = F - k \cdot (x - y) \\ m \ddot{y} = k \cdot (x - y) - k y - \mu \dot{y} \end{cases} \quad (6)$$

При початкових умовах

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0, y(0) = 0, \dot{y}(0) = 0, \quad (7)$$

система ДР – вірніше її розв’язок – моделює збудження коливань при навантаженні $F \neq 0$. Розв’язок системи отримано аналітично і представляє собою суму чотирьох згасаючих гармонік.

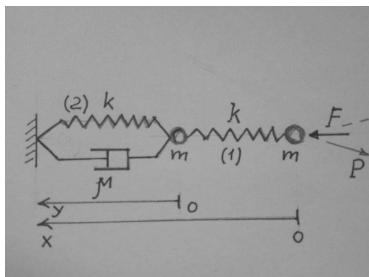


Рис. 2 – Модель усіченої системи ВПД із розосередженням маси на двох ділянках, одній – абсолютно пружній з коефіцієнтом жорсткості k та другій – з тією ж жорсткістю та демпфуючою властивістю, що характеризується коефіцієнтом в'язкості μ

Для більш-менш реалістичної ілюстрації вихідні параметри задано так, щоб частоти коливань пружних елементів обох ділянок були одного порядку із частотою власних коливань динамометра УДМ-600 – 1350 Гц [6]. При $m = 0,3$ кг, $k = 2 \cdot 10^7$ Н/м, $\mu = 1000$ Н·с/м отримано вираз і побудовано графіки (рис. 3) осциляцій пружних сил деформації 1-ї і 2-ї ділянок.

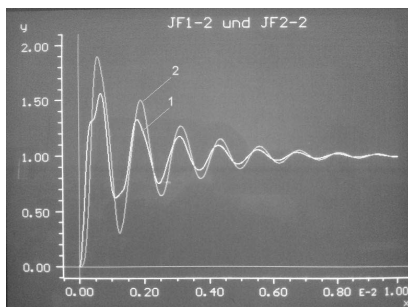


Рис. 3 – Осциляція пружних сил деформації першої (1) і другої (2) ділянок коливальної системи як відгуки на прикладену збудруючу силу F . На осі абсцис відкладено час u в секундах, на осі ординат – значення сил y безрозмірних одиницях

Щодо локації тензодатчиків. З графіків видно, що осциляції, що реєструються на ділянках 1 і 2 не дуже сильно, але різняться. Динамічний коефіцієнт, фіксований на першій ділянці, дорівнює 1,57, а на другій – 1,90 (рис. 3). Дивно, але друга, демпфована ді-

лянка зазнає більших навантажень при тому самому збуренні *F*. Крім того, для одномасової моделі за формулою (5) одержуємо значення коефіцієнту 1,52. Це ще раз доводить відносність реєстрованих сил до умов експерименту.

Література

1. Солодков В.А., Карчаидзе А.А. Особенности единичного цикла процесса прерывистого резания. – Волгоград: Волгоград. техн. ун-т, 2010. – С. 4–10.
2. Манохін А.С., Клименко С.А., Мельнійчук Ю.О., Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun. Моделювання переривчастого різання загартованої сталі PCBN-інструментом // Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 23-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 20–22 червня 2023 р., Київ–Тернопіль. – С. 55–58.
3. Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.А., Мельнійчук Ю.О., Пасічний О.О. Експериментальне дослідження та моделювання процесу переривчастого різання сталі AISI 52100 інструментом з PCBN // Надтверді матеріали. – 2023. – № 3. – С. 87–98.
4. Бутаков Б.И., Зубехина А.В. Жесткость системы станок–инструмент–деталь при обкатывании деталей роликами // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2008. – Вип. 4. – С. 210–223.
5. Мар'ян А.П., Пірда П.І. Розробка та дослідження автоматизованої системи для контролю точності механічної обробки металу: кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю „151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології“ // Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 72 с.
6. Гусейнов Р.В. Динамометрическая аппаратура для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018. – Том 45, № 1. – С. 22–29.

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

ПРО МЕТОД ФУНКЦІЇ ГРІНА, ПРО ПРЯМІ ТА ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ

Теоретичний аналіз одиничного циклу переривчастого різання (тобто візання, переміщення ріжучого клину в об'ємі заготовки,

виходу з контакту, переміщення ріжучого клину без контакту) показує – ланки системи ВПД як коливальної системи зазнають динамічних навантажень з динамічним коефіцієнтом K_d . Але осциляція сил, що реєструється динамометром [1], не відображає безпосередньо зміну контактних сил «деталь-різець». Лише в установленому режимі, при згасанні осциляцій реєстрована динамометром сила пружної деформації елемента з тензодатчиком чисельно дорівнює контактній.

Тим не менш, інтуїтивно зрозуміло, що при переривчастому різанні в контакті виникають якісь добавки до середньої сили F . Про це говорить і підвищене зношування різця [2, 3]. Як виявити цю добавку та обчислити динамічний коефіцієнт безпосередньо сил різання? Нижче запропоновано метод розв'язання цієї задачі. Зазвичай розглядають пряму задачу – за відомою збурюючою, раптово прикладеною силою F визначають відгук – коливальний процес механічної системи як розв'язок ДР з початковими умовами. Для розв'язання оберненої задачі – визначення збурюючої сили за відомим графіком коливання системи – звернемося до методу функції Гріна, що застосовується у багатьох задачах математичної фізики [4].

Фізичний зміст функції Гріна – це відгук системи на пробний, одиничний вплив на неї. У нашому випадку за одиничний вплив приймаємо передачу системі одиничного імпульсу при динамічній тарировці. Тоді загальний вплив – це вплив збурюючою силою з графіком $F(t)$. Відгук на одиничний вплив (вона ж функція Гріна) – це коливальний процес (пружна деформація $x_p(t)$, пружна реакція $k \cdot x_p(t)$ деформованої ланки з тензодатчиком або без нього), викликаний передачею імпульсу $P = 1$ Н·с. Для зручності нормуємо його за P : $J_p(t) = k \cdot x_p(t) / P$, с^{-1} . Аналогічно – відгук на вплив збурюючої сили F : безрозмірна величина $J_F(t) = k \cdot x_p(t) / F$. Під $F(t)$ надалі також розуміємо нормовану, безрозмірну величину. Опускаючи викладки, наводимо робочу формулу

$$J_F(t) = \int_0^t J_p(\xi) F(t - \xi) d\xi, \quad (1)$$

за допомогою якої обчислюється відгук (графік коливання системи) при будь-якому вигляді збурюючої сили. При цьому передбачається відомою (експериментально чи теоретично) функція $J_p(\xi)$. Модифікуя (1) до виду

$$J_F(t) = \int_0^t J_p(t - \xi) F(\xi) d\xi, \quad (2)$$

ми, по суті, записали інтегральне рівняння Вольтера 1 роду для шуканої збудуючої сили F (читай – істинного динамічного коефіцієнта сили різання). У ядрі $J_p(t - \xi)$ «зашиита» вся інформація про коливальну систему. Рівняння (2) розв’язувалося методом Крилова-Боголюбова [4] із усередненням значень ядра та приведенням до СЛАР. Побудовано відповідний алгоритм та створено програмне забезпечення.

Проілюструємо обчислення не на тривіальній одномасовій моделі з єдиною згасаючою гармонікою з «правильним» графіком, а на двомасовій, більш реалістичній, з нетривіальним графіком коливань та можливістю порівнювати результати тензометрування при різних локації тензодатчиків (про практику розташування датчиків див. [5]). Приймаємо модель усіченої системи ВПІД із розосередженням маси $2m$ навпіл на двох ділянках, одній – абсолютно пружній з коефіцієнтом жорсткості k та другій – з тією ж жорсткістю та демпфуючою властивістю, що характеризується коефіцієнтом в’язкості μ . Опускаючи запис системи ДР і двох варіантів початкових умов, одного – відповідного до динамічної тарировки динамометра, другого – до збудження коливань при навантаженні $F \neq 0$, зауважимо, що розв’язок системи отримано аналітично і представляє собою суму чотирьох згасаючих гармонік. Для більш-менш реалістичної ілюстрації вихідні параметри задано так, щоб частоти коливань пружних елементів обох ділянок були одного порядку із частотою власних коливань динамометра УДМ-600–1350 Гц [6]. При $m = 0,3$ кг, $k = 2 \cdot 10^7$ Н/м, $\mu = 1000$ Н·с/м отримано вираз $k \cdot (x - y)_p(t)$ осциляції пружних сил деформації 1-ї ділянки як відгук на передачу системі кількості руху P або після нормування – функцію Гріна $J_p^{(1)}(t) = k(x - y)_p(t)/P$. Аналогічний за структурою вираз для 2-ї ділянки (рис. 2). Обчислено також відгуки на збудуючу силу F : $J_F^{(1)}(t)$ і $J_F^{(2)}(t)$ для 1-ї і 2-ї ділянок відповідно (рис. 3).

Як пряма задача, по (1) обчислено згортки кожної з функцій Гріна (рис. 2) зі збудуючою силою F і одержано відгуки, що точно збігаються з графіками осциляцій (рис. 3), отриманими розв’язком системи ДР з відповідними початковими умовами. Це наочно ілюструє ефективність застосування апарату функцій Гріна.

Ще один приклад – згортка зі збудуючою силою зі столоподібним графіком $F(t)$, що відповідає раптово прикладеному навантаженню, а потім – також раптово знятому, тобто етапу врізання, робочому ходу, виходу з контакту та холостому ходу. Результат подано на рис. 4. Експериментально коливання різця при точінні на виході з контакту зафіксовано у [1].

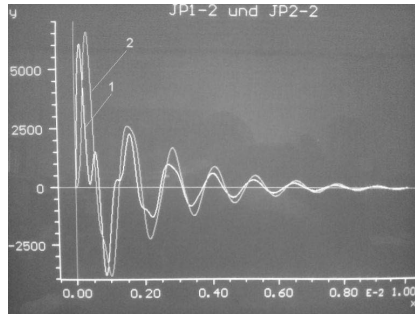


Рис. 2 – Функції Гріна для першої (1) та другої (2) ділянок коливальної системи. На осі абсцис відкладено час в секундах, на осі ординат – значення функцій у зворотних секундах

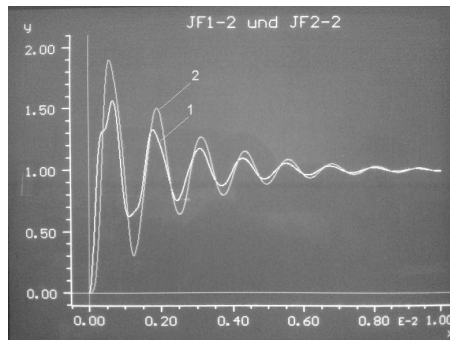


Рис. 3 – Осциляція пружних сил деформації першої (1) і другої (2) ділянок коливальної системи як відгуки на прикладену збурюючу силу F . На осі абсцис відкладено час у секундах, на осі ординат – значення сил у безрозмірних одиницях

Як ілюстрацію розв'язання оберненої задачі – визначимо збурюючу силу F (у загальному випадку змінну за часом), за відомим законом (або графіком) коливань пружних сил деформації будь-якої ділянки коливальної системи (рис. 5). Чисто візуально графіки 1 і 2 схожі, відрізняються тільки амплітудою перших гілок гармонік і, здавалося, повинні бути породжені подібними збурюючими силами F . Однак розв'язок інтегрального рівняння (2) показує: графіки збурюючих сил суттєво відрізняються – для відгука 1 ця нормована сила є сталою, рівною одиниці, для відгука 2 – має явно виражений пік в момент прикладення і далі спадаюча до одиниці: $F(t) = 1 + 0,6e^{-1242 \cdot t}$. Для нас також суттєво, що знайдені сили – контактні та інтерпретуються як сили різання. Це дозволяє говорити про справжній динамічний коефіцієнт, що дорівнює 1 у першому і 1,6 – у другому випадку. Саме у другому випадку у контакті,

ймовірно, відбуваються швидкоплинні фізичні процеси, встановленню яких присвячено [2, 3].

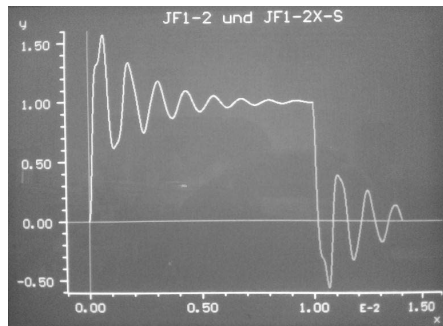


Рис. 4 – Осциляція пружних сил деформації 1-ї ділянки коливальної системи як відгук на раптово прикладену (у момент $t = 0$) і раптово зняту ($t = 0,01$ с) збурюючу силу F . На осі абсцис відкладено час у секундах, на осі ординат – значення сил в безрозмірних одиницях

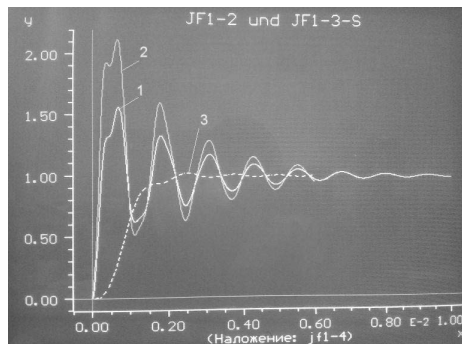


Рис. 5 – Осциляція пружних сил деформації 1-ї ділянки коливальної системи як відгук: на раптово прикладену збурюючу силу $F = \text{const}$ (1), $F = \text{var}$ з характерним сплеском у момент прикладення (2) і $F = \text{var}$ з швидко, але плавно зростаючим значенням (3). На осі абсцис відкладено час у секундах, на осі ординат – значення сил у безрозмірних одиницях

Якщо збурююча сила з характерним максимумом в момент свого прикладення призводить до більш високих динамічних навантажень системи, ніж раптово прикладена столоподібна сила, то сила з плавно зростаючим значенням напевно повинна знизити динамічний коефіцієнт. Справді, розрахунковий відгук на збурюючу силу $F(t) = 1 - e^{-9,78 \cdot 10^5 t^2}$ практично не дає динамічного навантаження (графік 3 на рис. 5). Але ж інтервал зростання сили сильно не розтягнутий – вже при $t = 0,002$ с ця сила вже виходить на 98% свого

плато. При різанні на швидкості 1,88 м/с це відповідає довжині заборної частини різця лише 3,8 мм. Чим не метод позбутися динамічних перевантажень?

Література

1. Солодков В.А., Карчаидзе А.А. Особенности единичного цикла процесса прерывистого резания. – Волгоград: Волгоград. техн. ун-т, 2010. – С. 4-10.

2. Манохін А.С., Клименко С.А., Мельнійчук Ю.О., Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun. Моделювання переривчастого різання загартованої сталі PCBN-інструментом // Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 23-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 20–22 червня 2023 р., Київ–Тернопіль. – С. 55-58.

3. Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О., Пасічний О.О. Експериментальне дослідження та моделювання процесу переривчастого різання сталі AISI 52100 інструментом з PcBN // Надтверді матеріали. – 2023. – № 3. – С. 87-98.

4. Мышкис А.Д. Математика для вузів. Специальные курсы. – М.: Наука, 1971. – 632 с.

5. Мар'ян А.П., Пірда П.І. Розробка та дослідження автоматизованої системи для контролю точності механічної обробки металу: кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю „151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології“ // Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 72 с.

6. Гусейнов Р.В. Динамометрическая аппаратура для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018. – Том 45, № 1. – С. 22-29.

Шуліло Р.Г., Харченко Б-А.О., Волошина Л.В.

*Український державний університет
залізничного транспорту, Харків*

УДОСКОНАЛЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В ГАЗОВИХ МЕРЕЖАХ

Метою виконання даної роботи є реалізація заходів із встановлення контрольних засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) температури, тиску та об'єму (об'ємної витрати) для контролю пра-

цездатності основних ЗВТ, що входять до складу вузлів обліку природного газу, за всіма каналами виміру: об'єм, тиск, температура.

На сьогоднішній день в Україні відсутня повноцінна методика, яка реалізовувала б ці положення та могла забезпечити алгоритм або порядок перевірки цих заходів. Також існує необхідність забезпечити достовірність обліку природного газу із виконанням заходів, передбачених вимогами «Правил обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання», Затвердженими Наказом Мінпаливенерго України 27.12.2005 № 618 які дозволили б в реальних умовах експлуатації перевірити метрологічні характеристики ЗВТ та визначити, а інколи і усунути, різноманітні фактори, що впливають на працездатність ЗВТ, в тому числі і в закладних конструкціях, які використовуються спільно із ЗВТ в складі вузла обліку газу (основний вимірювальний комплекс). Це можна реалізувати за допомогою розробки програмного забезпечення, яке буде паралельно підключене до контрольних засобів вимірювальної техніки. При цьому контрольні ЗВТ (дублюючий вимірювальний комплекс) мають бути попередньо підготовлені, повірений (або відкалібрований) за певною зоною простежуваності до первинного еталону. Даний програмний комплекс має реалізувати в собі функціонал, статистичне порівняння та математичну модель відтворення та аналізу даних між основним та дублюючими вимірювальними комплексами.

На основі цієї математичної моделі даний програмний комплекс в залежності від того, який тип вузла обліку газу використовується як основний, маємо проаналізувати та розробити комплекс заходів, які можуть бути реалізовані для підвищення точності та якості вимірювань. Так, наприклад, якщо до складу вузла обліку входить турбінний лічильник газу, то у нього має бути обов'язково перевірена наявність мастила в спеціальній ємності в корпусі, наявність відкаліброваних прямих ділянок трубопроводу, перевірена його порожнина на відсутність сторонніх елементів, виконана ревзія фільтруючих елементів, здійснені заходи з промивки або продувки лічильника. Наприклад, якщо до складу вузла обліку входить ультразвуковий лічильник, то на нього можуть впливати сторонні шуми та вібрації, що в свою чергу буде впливати на точність результатів вимірювань. За допомогою впровадження дублюючого вимірювального комплексу програмного забезпечення є можливість проаналізувати та визначити всі можливі фактори в реальних умовах експлуатації, які можуть впливати на результати вимірювань, та таким чином

підвищити точність вимірювань та якість роботи вузлів обліку газу (основних вимірювальних комплексів) на місцях їх експлуатації.

Юрчишин О.Я. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ
Даниленко Ю.А. Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків

ВПРОВАДЖЕННЯ СЕРІЇ СТАНДАРТІВ ISO 56000 В СФЕРІ ОСВІТИ ТА НАУКИ

Для більшості виробничих процесів, якість як процесу так і власне продукції, зокрема, залежить і від системи управління якістю, дотримання вимог стандартів і інших нормативних документів, що регулюють параметри кінцевого продукту.

Відповідно до Закону України «Про інноваційну діяльність» [1] інновації – новостворені (застосовані) і вдосконалені конкурентоздатні технології, продукція або послуги, а також організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного або іншого характеру, що істотно поліпшують структуру та якість виробництва і соціальної сфери. Відповідно, інновація є таким же продуктом, а процес її створення є таким же процесом, конкурентоспроможність і якість яких залежить від системи управління.

Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) розроблено і прийнято серію міжнародних стандартів ISO 56000, що визначають основні принципи, термінологію та підходи до управління інноваціями. У 2022 році в Україні на базі КПІ ім. Ігоря Сікорського було створено технічний комітет стандартизації «Управління інноваціями» та затверджено низку стандартів у цій сфері, але практичних рекомендацій з використання системи управління на даний час не існує.

Основним стандартом на даний час, який визначає основні принципи системи управління інноваціями є ISO 56001:2024 [2], прийнятий у вересні 2024 року. Стандарт визначає вимоги до створення і впровадження системи управління інноваціями в організаціях будь-якого типу. Запропонована система не є традиційним алгоритмом, дотримуючись якого, на виході отримуємо кращий кількісний результат. Система управління інноваціями за ISO 56001:2024 передбачає аналіз керівником організації поточної ситуації в

компанії, зокрема, наявність політик створення інновацій, стимулювання персоналу, ризиків та їх врахування, можливість колективного творчого процесу, наявність персоналу, який забезпечує набуття прав на створений інноваційний продукт і т.п. Тобто, системи передбачає постійний моніторинг процесів, які дотичні до створення і інновацій і активне зворотне їх коригування. І хоч стандартом визначено єдину методологію для управління інноваційними процесами, кожна організація може будувати свою власну систему.

Академічний сектор активно співпрацює з різними зовнішніми стейкхолдерами, зокрема науковими центрами, промисловістю, стартапами та державними установами. Серія стандартів ISO 56000 підтримує концепцію відкритих інновацій, пропонуючи інструменти для ефективного партнерства, зокрема ISO 56003 [3]. Наприклад, університет або науково-дослідний інститут, дотримуючись рекомендацій ISO 56003, може створити прозорий механізм відбору індустріальних партнерів для спільних досліджень, узгодження очікувань щодо результатів і справедливого розподілу вигод від комерціалізації.

Результатом впровадження такої системи буде ефективніша координація між різними підрозділами та зовнішніми партнерами, швидка реакція на усунення слабких місць і збільшення інноваційного капіталу організації.

Різні організації по всьому світу, від промислових дослідницьких центрів до державних агентств з розвитку технологій, активно експериментують із впровадженням стандартів ISO 56000. Наприклад, технологічний університет Русе, Болгарія інтегрував стандарти ISO 56000 у свою систему менеджменту [4]. З 2020 року, Центр трансферу технологій та інтелектуальної власності цього університету почав впроваджувати елементи стандартів ISO 56000 у свою роботу. Одночасно використовуються інструменти, запропоновані додатковими стандартами серії, такі як налагодження співпраці з бізнесом, самооцінка інноваційної діяльності, управління патентами і ліцензіями, відстеження зовнішніх технологічних тенденцій. Університет побудував у себе повноцінну систему управління інноваціями, інтегровану з іншими системами менеджменту. Автори статті акцентують увагу, що результати впровадження стандарту показали кращу організованість інноваційних проєктів та підвищення обізнаності співробітників щодо процесів управління ідей та винаходів.

Цей приклад підтверджує, що стандарти ISO 56000 досить гнучкі, щоб доповнити існуючі системи управління в університетах

і наукових установах та стати з'єднувачем між науковою та інноваційною діяльністю.

Серія стандартів ISO 56000 слугує своєрідною «дорожньою картою» для створення комплексної системи управління інноваціями. У науковій сфері вона сприяє кращій організації творчого процесу, його узгодженню з цілями та ресурсами, а також впровадженню механізмів вимірювання та покращення результатів. Хоча впровадження цих стандартів потребує значних зусиль і зміни підходів, перший досвід їх застосування свідчить про перевагу вигод над витратами: наука отримує більше структурованості, а інновації – потужнішу підтримку. Отже, стандарти ISO 56000 можуть стати важливим інструментом для наукових керівників та менеджерів з інновацій, допомагаючи підвищити ефективність досліджень і максимізувати вплив наукових розробок.

Література

1. Закон України «Про інноваційну діяльність». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-15#Text>
2. Innovation management system – Requirements. International standard ISO 56001:2024. – September 2024. – 22 p.
3. Innovation management – Tools and methods for innovation partnership – Guidance. ISO 56003:2019. – February 2019. – 21 p.
4. Gueorguiev, T. The experience gained from implementing an ISO 56000-based innovation management system // ACTA IMEKO. – June 2023. – Vol. 12, No. 2. – P. 1–6. – DOI: <https://doi.org/10.21014/actaimeko.v12i2.1461>

ЗМІСТ

<i>Балицька Н.О.</i> ДО ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКРОФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕКСТУР СПЛАВІВ Ni-Ti ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ ЗМОЧУВАНOSTI	3
<i>Бахман С.О.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІСНИХ ПАР ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТА	5
<i>Бондар І.В., Дабіжжа В.Є., Жарівський Г.Я., Соколан М.С.</i> МЕТАЛОКЕРАМІЧНЕ БАГАТОШАРОВЕ ВАКУУМНЕ ПОКРИТТЯ	8
<i>Букетов А.В., Юренін К.Ю., Стрельченко В.Ю., Рихтер М.О., Житник Д.В.</i> РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ	10
<i>Bukovskyi O.M., Vysloukh S.P.</i> FORMATION OF ADAPTIVE ALGORITHMS FOR MONITORING THE PARAMETERS OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS	12
<i>Буковська Д.В., Антонюк В.С.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-ІГРОВИХ АЛГОРИТМІВ КОМПЕНСАЦІЇ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ НА ТОЧНІСТЬ НАВЕДЕННЯ БПЛА НА МАНЕВРЕНУ ЦІЛЬ	15
<i>Бутенко В.М., Чуб С.Г.</i> СУЧАСНА МОЖЛИВІСТЬ ПОКРАЩЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН КООРДИНАТНО- ВИМІРЮВАЛЬНИМИ МАШИНАМИ	18
<i>Виговський Г.М., Глембоцька Л.Є., Плисак М.М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧОГО РІЗАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА З СТАБІЛЬНИМ ПОЛОЖЕННЯ	20
<i>Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В.</i> ГАРЯЧЕПРЕСОВАНА КЕРАМІКА ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ КАРБІДІВ ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК	23
<i>Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В.</i> НОВІ НАПРЯМКИ ОТРИМАННЯ ВИСОКОМІЦНОЇ КЕРАМІКИ НА ОСНОВІ КАРБІДУ БОРУ ДЛЯ БРОНЬОВОГО ЗАХИСТУ	24

<i>Волошин Д.І., Сайчук К.О.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ШЛІФУВАННЯ РЕЙКИ З ХВИЛЕПОДІБНИМ ЗНОСОМ	25
<i>Грязев О.В., Девін Л.М., Ричев С.В., Нечипоренко В.М., Міцкевич Е.І.</i> ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІВ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ (ПКНБ) ПРИ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ	27
<i>Девін Л.М., Беженар М.П., Ричев С.В.</i> ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЧАСУ СПІКАННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІВ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ	31
<i>Девін Л.М., Ричев С.В., Беженар М.П., Нечипоренко В.М., Грязев О.В.</i> ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ЙМОВІРНІСТЬ РУЙНУВАННЯ РІЗЦІВ З НИХ ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ШХ15	35
<i>Девін Л.М., Ричев С.В., Тищенко Н.Є.</i> ДІАГНОСТИКА СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	38
<i>Іваненко Р.О., Діордіца І.М., Волошко О.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ ІНСТРУМЕНТА	43
<i>Клименко С.Ан, Манохін А.С., Мельнійчук Ю.О., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю., Чумак А.О.</i> ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ З ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ, ОБРОБЛЕНОЇ ТОЧІННЯМ З УДАРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ІНСТРУМЕНТІ	45
<i>Клименко С.А., Петі Д.О.</i> РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ З НТМ ДЛЯ ТОЧІННЯ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ	48
<i>Коваленко І.А.</i> ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ІЗ РСВН ПІД ЧАС ОБРОБКИ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ	51
<i>Комарова Г.Л., Каптур А.П., Приміський І.В.</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ДИМНОСТІ ТА ЇХ МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	53

Комарова Г.Л., Сергєєв Д.М., Крамаренко С.Б. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИБОРУ КООРДИНАТНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ МЕТРОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ	56
Кордецький О.С., Середюк Д.О., Січкарук В. В., Солопчук Д. М., Ночвай В.М., Полонський Л.Г. ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ	60
Кусков Ю.М., Проскудін В.М., Нетяга А.В., Римар С.В. ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ В СТРУМОПІДВИДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ ШАЙБ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ НА СТАЛЕВИЙ ЛИСТ БІЧНОЇ ФУТЕРОВКИ ЩОКОВОЇ ДРОБАРКИ	63
Лавріненко В.І. МОНОГРАФІЯ «ПОВЕРХНЯ ПІСЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ: ШОРСТКІСТЬ, ПЛІВКИ, ЗМІНА ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ» – СУЧАСНЕ НАУКОВЕ ВИДАННЯ ДЛЯ ФАХІВЦІВ- ТЕХНОЛОГІВ	69
Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Смоквина В.В., Логінова О.Б., Зайцева І.М., Тимошенко В.В. ВИВЧЕННЯ ДЕФЕКТНОСТІ ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ МАРКИ АС6 РІЗНОЇ ЗЕРНИСТОСТІ	70
Лавріненко В.І., Пошванюк Н.Ф., Бондарчук Л.П., Солод В.Ю., Тищенко В.А. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В НАПРЯМКУ ПОНОВЛЕННЯ РІЗУЧОЇ ЗДАТНОСТІ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ	73
Лавріненко В.І., Смоквина В.В., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Базалій Г.А., Бологов П.І., Кошкін О.М. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ ФЛОТАЦІЙНИМ РОЗДІЛЕННЯМ	77
Лавріненко В.І., Солод В.Ю., Кашинський І.С. Музичка Д.Г. НОВІТНІ РОЗРОБКИ В НАПРЯМКУ ВИГОТОВЛЕННЯ 3D-ДРУКОМ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	80

<i>Лещенко О.І.</i> ПАРАМЕТРИ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ НА ЇХ ВПЛИВ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ТА ЯКІСТЬ РЕЙКОВОГО ПРОКАТУ	87
<i>Логінова Ю.В.</i> ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ ТЕХНІЧНИХ ПОСЛУГ ПІД ЧАС МОНТАЖУ І ДІАГНОСТИКИ В ЕНЕРГЕТИЦІ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ	90
<i>Лопата В.Н., Лопата О.В., Солових А.Є., Катеринич С.Є.</i> ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ШВИДКОЗНОШУВАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ БРОНЕТЕХНІКИ ЕЛЕКТРОДУГОВИМ НАПИЛЕННЯМ	93
<i>Лопата Л.А., Рутковський А.В., Калініченко В.І.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	96
<i>Лупкін Б.В., Андреев О.В., Andrzej Dzierwa, Антонюк В.С., Вислоух С.П., Волошко О.В.</i> ОБРОБЛЮВАНІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РОЗРІЗАННІ АЛМАЗНИМ КРУГОМ	102
<i>Майорова К.В., Скиба О.С., Суслов А.С., Капінус О.О.</i> АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРІЇ АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ	107
<i>Марков О., Рябченко С.</i> ОТРИМАННЯ РЕГУЛЯРНИХ РЕЛЬЄФІВ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТА З АЛМАЗНОЮ КУЛЬКОЮ	110
<i>Мельничук Ю.О., Манохін А.С., Клименко С.Ан., Чумак А.О., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю., Найдено А.Г., Рижов Ю.Е.</i> ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ОСНАЩЕНОГО ПКНБ, ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ З УДАРОМ	112
<i>Мельник Т.В., Школьнікова Т.В.</i> ПИТАННЯ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ В УКРАЇНІ	115
<i>Мікосянчик О.О., Шамрай В.Б.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ ПОКРИТТЯМИ	118

<i>Молчанов В.Ф., Латішев Д.В., Козаченко С.Ю.</i> АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ШЛІФУВАННІ	121
<i>Немировський Я.Б., Отаманський В.В., Цмех Д.С.</i> ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ	124
<i>Пащенко Є.О., Рябченко С.В., Федоренко В.Т., Курганов Р.</i> ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ІЗ БУРШТИНОВОГО КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ПРИ ОБРОБЦІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ	126
<i>Прокоф'єв О.С., Губатюк Р.С., Римар С.В., Пантелеймонов Є.О., Абдулах В.М.</i> АПРОБАЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИПОЮ 18 XFC У СКЛАДІ АКТИВУЮЧИХ РЕЧОВИНИ В ПРОЦЕСІ ІНДУКЦІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ МОДЕЛЬНИХ ЗРАЗКІВ СТРИЖНІВ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ	129
<i>Роїк Т.А., Гавриш О.А., Майстренко Ю.Ю.</i> ПАРАМЕТРИ НАКЛЕПУ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН ПРИ ТОНКОМУ КУБОНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ	132
<i>Salenko O., Danilchenko Yu., Gabuzian G., Hann Swook</i> MONITORING OF LASER WELDING OF DIFFERENT THICKNESSES PARTS	134
<i>Сахнюк І.О., Кириленко Л.В.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ І НАПИСАННЯ НАЗВИ ТА ПОЗНАЧЕНЬ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ І СИМВОЛІВ ВЕЛИЧИН	139
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.</i> НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ ДІАМЕТРОМ ≤ 12 мм	143
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возний В.В.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ ДІАМЕТРОМ МЕНШЕ 12 мм ЗА КРУГОВОЇ ПОДАЧІ З КОЛИВАННЯМИ	146

<i>Тимофєєва Л.А., Гарбуз О.С., Чичин Є.В.</i> ФОРМУВАННЯ ОБМЕЖУВАЛЬНИХ СПИСКІВ І РЕГЛАМЕНТІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ	150
<i>Тимофєєва Л.А., Роценко О.В., Свєтош В.Ю.</i> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	152
<i>Тимофєєв С.С., Баглай О.П., Назаренко М.Р.</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОГРАФІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАРЮВАННЯ	154
<i>Тимофєєв С.С., Сергєєв О.В., Печериця В.М.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ТА НОВІ РІШЕННЯ LIDAR У МЕТРОЛОГІЇ В КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0	155
<i>Томашевський О.О., Балицька Н.О.</i> ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ МІКРОФРЕЗЕРУВАННЯ	158
<i>Шейко М.М.</i> ДО ПИТАННЯ ПРО ПРИРОДУ ОСЦИЛЯЦІЙ СИЛ, ЩО РЕЄСТРУЮТЬ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ, ПРО ДИНАМІЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ТА ДИНАМІЧНУ ТАРИРОВКУ	160
<i>Шейко М.М.</i> ПРО МЕТОД ФУНКЦІЇ ГРІНА, ПРО ПРЯМІ ТА ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ У ПРОЦЕСАХ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ	164
<i>Шипіло Р.Г., Харченко Б-А.О., Волошина Л.В.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В ГАЗОВИХ МЕРЕЖАХ	169
<i>Юрчишин О.Я., Даниленко Ю.А.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ СЕРІЇ СТАНДАРТІВ ISO 56000 В СФЕРІ ОСВІТИ ТА НАУКИ	171

Наукове видання

СУЧАСНІ ПИТАННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ В ПРОМИСЛОВОСТІ І НА ТРАНСПОРТІ

Матеріали 25 Міжнародного науково-технічного семінару

25–26 березня 2025 р.

Мови семінару: українська, англійська

Комп'ютерна верстка Копейкіна М.Ю.

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, atmul@meta.ua

Підписано до друку 21.03.2025 р.

Формат 60x84/16.

Папір офсет.

Гарнітура Times New Roman.

Умов. надр аркуш. 11,25.

Зам. № 3922.



Віддруковано в ПП «Рута»

10014, Україна,

м. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17 а,

Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК №3671

від 14.01.2010

E-mail: ruta-bond@ukr.net

тел. 0679621687