

высокоэнергетических пучков [Текст] / А. И. Ильин, В. С. Крапошин // Поверхность. Физика, химия, механика. - 1985. - № 6. - С. 5-16. **12.** Астахов Е. А. Детонационное напыление аморфных и микрокристаллических покрытий [Текст] / Е. А. Астахов, В. Н. Коржик, А. В. Чернышев. - Брошюра общества «Знание». СССР, 1990. - 20 с. **13.** Вирник А.М., Морозов И.А., Порзей А.В. К оценке остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных плазменным напылением // Физика и химия обработки материалов. - 1970. - № 4. - С. 53 - 58. **14.** Никитин М.Д., Кулик А.Я., Захаров И.Н. Напряженное состояние плазменных покрытий // Физика и химия обработки материалов. - 1978. - №2. - с. 131 - 136. **15.** Борисов Ю.С., Козьяков И.А., Коржик В.Н., Миц И.В., Бобрик В.Г. Структура и свойства газотермических из порошковых проволок Fe-Cr-V и Fe-Cr-V-C // Автоматическая сварка. - 1996. - № 5. - С. 21 - 24. **16.** Борисова А.Л., Бобрик В.Г., Борисов Ю.С., Коржик В.Н., Гордань Г.Н., Борисов В.В., Петров С.В. Влияние русловий плазменного напыление на структуру покрытий из сплава Fe-Mo-Cr-Ni-V // Автоматическая сварка. - 1995. - № 7. - С. 28 - 34. **17.** Коржик В.Н., Борисова А.Л., Губенко Б.Г., Чернышов А.В., Дармохвал В.Т. Особенности структурного состояния аморфно-кристаллических газотермических покрытий из никелевых и железных сплавов // Труды III Международной н/т конференции «Упрочнение и защита поверхности газотермическим и вакуумным напылением». - Киев: ИЭС им. Е.О. Патона АН Украины. - 1991. - С. 37 - 45. **18.** Артемчук В.В. Визначення раціональних параметрів шаруватого покриття при відновленні зношених деталей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2012. - № 2. Т.13(56). - С. 3 - 8.

Поступила в редколлегию 08.06.2012

УДК 621.762.55

О.О. ГОНЧАРУК, асис, НТУУ «КПІ», Київ,
Л.Ф.ГОЛОВКО, докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ,
В.Г.СОРОЧЕНКО, с.н.с., Інститут надтвердих матеріалів ім.В.М.Бакуля,
Київ,
А.М.ЛУТАЙ, ст.викл., НТУУ «КПІ», Київ,
О.Д. КАГЛЯК, асис, НТУУ «КПІ», Київ

ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ З РІЗНОЮ ДОВЖИНОЮ ХВИЛІ НА МІЦНІСТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

Повідомляються результати досліджень по впливу прямого лазерного опромінення на міцність при статичному навантаженні шліфпорошків кубічного нітриду бору. Обговорюються питання використання розглянутих шліфпорошків в процесах лазерного формування інструментальних композитів на зв'язках з різною температурою плавлення. Розглянуті методи захисту шліфпорошків від перегріву в процесі формування абразивного шару.

Ключові слова: лазерне випромінення, спікання, кубічний нітрид бору, статична міцність.

Сообщаются результаты исследований по влиянию прямого лазерного облучения на прочность при статической нагрузке шлифпорошков кубического нитрида бора. Обсуждаются вопросы использования рассмотренных шлифпорошков в процессах лазерного формирования инструментальных композитов на связках с различной температурой плавления. Рассмотрены методы защиты шлифпорошков от перегрева в процессе формирования абразивного слоя.

Ключевые слова: лазерное излучение, спекание, кубический нитрид бора, статическая прочность.

We report the results of studies on the effect of direct laser irradiation on the strength of the static load of cubic boron nitride grinding powders. We discuss the issue of grinding powders considered in the

process of laser forming tool contacts composites with different melting points. The methods of protection against overheating of grinding powders in the process of forming an abrasive layer.

Keywords: laser irradiation, sintering, cubic boron nitride, strength.

1. Вступ

У сучасному інструментальному виробництві широко використовуються різноманітні високопродуктивні швидкорізальні сталі, леговані вольфрамом, кобальтом, ванадієм, молібденом, які мають підвищену твердість й зносостійкість. Однак ефективне використання нових марок швидкорізальних сталей у виробництві стримується через відносно погану їх оброблюваність абразивними інструментами, низькою ріжучою здатністю кругів зі звичайних абразивів і неминучою появою на оброблених поверхнях підпалів. Високі температури й швидкості нагрівання поверхневих шарів, що виникають у зоні різання при шліфуванні кругами з електрокорунду, викликають фазові й структурні зміни, а внаслідок циклічного високотемпературного нагрівання й охолодження поверхневих шарів при роботі із СОЖ, виникає сітка мікро- і макротріщин. Підпали приводять до зниження твердості й інших фізико-механічних властивостей ріжучих поверхонь інструментів, у результаті чого істотно погіршується їх працездатність. Застосування шліфувальних кругів із КНБ (ельбора, кубоніта і гексаніта-А) дозволяє успішно вирішити проблему якісної й продуктивної обробки інструмента зі швидкорізальної сталі.

Розширення використання нових важкооброблюваних конструкційних матеріалів вимагає створення високоефективних інструментів, у тому числі на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Кристали кубічного нітриду бору залежно від марки мають високу твердість і теплостійкість (від 800°C до 1200°C). При температурах, що перевищують ці значення, протікають процеси окислення, які приводять до втрати їхньої міцності. Специфічні властивості щільних модифікацій нітриду бору (високі твердість, хімічна стійкість, термостійкість і ударна в'язкість) відкривають широкі перспективи для створення нових класів абразивного інструмента з унікальними характеристиками й функціональними можливостями. Особливо ефективно застосування таких інструментів при обробці різних залізовмісних сплавів, оскільки при цьому забезпечується різке зниження (у порівнянні з алмазним) адгезійного й дифузійного їхнього зношування.

Головним напрямком у сучасній технології спікання порошкових матеріалів є використання високошвидкісного нагрівання, що дозволяє радикально збільшити продуктивність і оптимізувати процес спікання, одержувати матеріали з високою щільністю й дрібнозернистою структурою [2]. У зв'язку із цим, з'явився ряд неізотермічних методів, серед яких варто виділити метод спікання металевих порошків прямим пропусканням електричного струму [3], а також застосуванням лазерного нагрівання [1,4,5,6,7].

Основними параметрами, які визначають фізико - хімічні процеси, що протікають у поверхневому шарі при лазерному спіканні композитів із надтвердих матеріалів (НТМ) є температура і час нагрівання, швидкість охолодження. Ці параметри знаходяться в прямій залежності від ряду факторів, пов'язаних з лазерним променем, складовими порошкової суміші та умовами

реалізації технологічного процесу спікання. Кінцевою метою лазерного спікання є забезпечення поверхневого шару композита заданих фізико-механічних і експлуатаційних властивостей. Між фізико-хімічними процесами і експлуатаційними характеристиками існує опорядкований зв'язок через якісні характеристики сформованого поверхневого шару композиту із НТМ. Встановлення цих взаємозв'язків дозволяє проектувати технологічні процеси, які забезпечують отримання гарантованого результату, планувати проектно-виробничі системи, які включають в себе лазерне спікання композитів із НТМ інструментального призначення.

Постановка задачі

Метою даного дослідження є вивчення процесу взаємодії лазерного випромінювання із зернами КНБ, впливу параметрів обробки на характеристики міцності в залежності від марки і зернистості, структури й властивостей розглянутих шліфпорошків, створити базу даних для розробки технології виготовлення високопродуктивного інструменту, оснащеного ріжучими елементами, сформованими лазерним спіканням.

Методика дослідження

Основним завданням дослідження є визначення максимальних значень температур швидкісного лазерного нагрівання різних шліфпорошків КНБ і відповідних їм умов опромінення, при яких не спостерігається зниження їх міцності і ріжучих властивостей. Для його вирішення необхідно:

- вивчити вплив лазерного опромінення на процес нагрівання й міцність зерен КНБ;
- визначити умови лазерного нагрівання, що не знижують абразивні здатності зерен КНБ;
- обґрунтувати технологічні режими лазерного нагрівання й діапазони температур, що дозволяють використовувати лазерне спікання інструментальних композитів, яке забезпечує збереження вихідних властивостей зерен КНБ і високу міцність їх закріплення у зв'язці.

Лазерне опромінювання дослідних зразків виконували на лазерних технологічних комплексах на базі "ЛАТУС 31" (CO₂ – лазер, довжина хвилі $\lambda=10,6$ мкм) і YAG:Nd – лазера «DY044» з довжиною хвилі випромінювання $\lambda=1,06$ мкм. При обробці на "ЛАТУС 31" використовувались наступні технологічні параметри: обробка проводилася на повітрі при різних густині потужності випромінювання в межах $W_p = (0.3 - 6.37) \times 10^4$ Вт/см² і часі обробки $\tau=0,15-0,45$ сек.

Лазерний технологічний комплекс «DY044» дозволяв варіювати параметри обробки в широких межах. Зразки піддавалися лазерному опроміненню на повітрі й при додатковому захисті, в середовищі аргону з витратою 2-20 л/хв, щільності потужності в межах $W_p = (0.1 - 1.4) \times 10^4$ Вт/см² і часі обробки $\tau=0,06-4,5$ сек.

Обробка всіх зразків проводилася при розташуванні крапки старту й зупинки променя за межами зразка на відстані 40 мм, для запобігання процесів перегріву зразків і рівномірності швидкості обробки.

Прямий вплив лазерного опромінення на КНБ визначався за методикою, розглянутою в [8]. Для дослідження були обрані найпоширені шліфувальні

порошки марок KB та KP (металізовані Ni), вихідна міцність при статичному навантаженні яких представлена в таблиці. Визначення показника статичної міцності шліфпорошків КНБ проводили за стандартною методикою на приладі моделі ДА-2. При цьому визначалось значення статичного навантаження, що руйнує зерна КНБ, розміщених між двома паралельними пластинами.

Таблиця - Вихідна міцність при статичному навантаженні

| Шліфпорошок КНБ | Міцність зерен, Н | |
|--------------------|-------------------|-------------------------|
| | Дані вимірів | Дані вимірів виробників |
| KB 250/200 | 13,8 | 13,2 |
| KP 315/250 (H160%) | 16,9 | - |
| KP 250/200 | 8 | - |
| CBN 100 | 13 | - |

Для визначення умов ефективного використання енергії лазерного випромінювання та оптимальних технологічних параметрів та умов лазерного спікання функціональних композитів необхідно встановити закономірності поглинальної здатності композиту і його складових.

Ефективність використання енергії лазерного променя залежить від співвідношення відбитого і поглиненого випромінювання. Одна частина променя, як правило, безповоротно втрачається, друга – проникає на невелику глибину в матеріал і при поглинанні переходить у тепло. Взаємозв'язок цих часток визначається співвідношенням $R = I - A$, де R і A - віддзеркалена і поглинальна здатність матеріалу.

Для виміру поглинання матеріалами лазерного випромінювання розроблено експериментальний пристрій на базі технологічного лазера "Квант-15" імпульсно-періодичної дії (рис. 1), що включає в себе столик 4, конструкція якого забезпечує можливість повороту досліджуваного зразка 5 у межах від 0 до 15°, і приймач відрядженого сигналу 1. Останній за допомогою схеми комутації 2 з'єднаний із приладом, що аналізує, 3. Як приймач відбитого сигналу використовується фотодіод, сигнали з якого через ланцюжок інтегрування

надходять на вхід осцилографа. Розгорнення осцилографа засинхронізоване із СУМом (Система управління модулятором) 6 лазерної установки. Для одержання прямого відбитого сигналу від поверхні опроміненого матеріалу, столик фіксується в положенні "0". При цьому вертикальне розгорнення осцилографа настроєне так, що у випадку опромінення дзеркала з 100%-ою

відбивною здатністю при енергії лазерного випромінювання $E_d = 10$ Дж на екрані осцилографа одержуємо сигнал висотою $I_{отр} = 10$ см.

Отже, поглинальна здатність матеріалу може бути оцінена по залежності

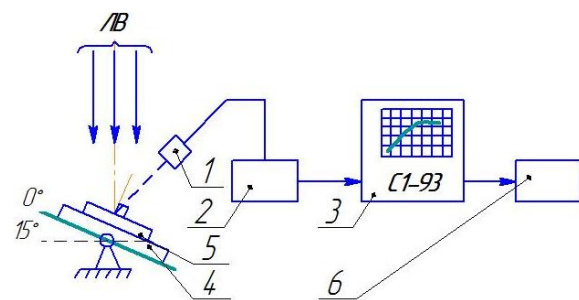


Рис. 1. Експериментальний пристрій вимірювання поглинальної здатності матеріалів лазерного випромінювання

$$A = \left(\frac{1 - I_{\text{отр}}}{E_{\text{л}}} \right) \cdot 100\%$$

де $I_{\text{отр}}$ - інтенсивність відбитий сигнал на екрані осцилографа; $E_{\text{л}}$ - енергія лазерного випромінювання, Дж.

Результати досліджень та їх обговорення

На рис. 2 – 3 наведені графічні залежності поглинальної здатності матеріалів від температури при їх нагріванні лазерним випромінюванням з довжиною хвилі 1,06 мкм, які, як відомо, достатньо добре поглинається металами.

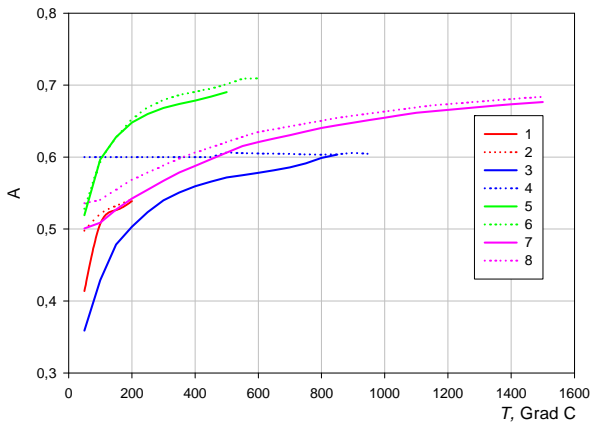


Рис. 2. Залежність поглинальної здатності А суцільних матеріалів від температури спікання: 1, 2 – мідь, перший і другий імпульс; 3, 4 – цирконій, перший і другий імпульс; 5, 6 – сталь 65 Г, перший і другий імпульс; 7, 8 – КНБ марки КВ 250/200, перший і другий імпульс

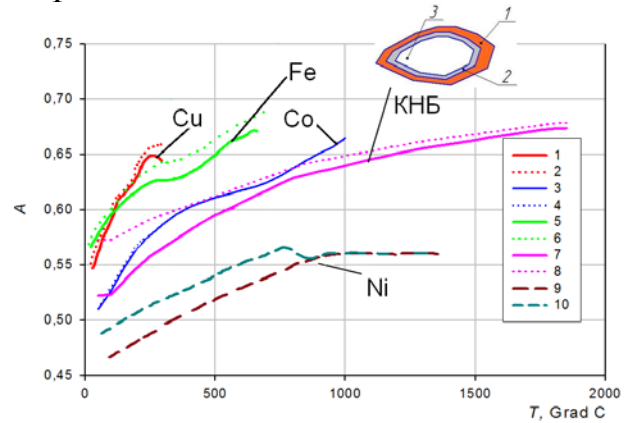


Рис. 3. Залежність поглинальної здатності А порошкових матеріалів від температури: 1, 2 – мідь, перший імпульс; 3, 4 – цирконій, перший і другий імпульс; 5, 6 – залізо, перший і другий імпульс; 7, 8 - КНБ марки КВ 250/200, перший і другий імпульс; 9 – нікель, другий імпульс; 10 – кобальт, другий імпульс

Таким чином, виконаний енергетичний аналіз процесу лазерного спікання показав, що певна частка енергії лазерного випромінювання (14%, при товщині спеченого шару $>0,4$ мм і 60% при меншій товщині $< 0,3$ мм) витрачається на процес нагрівання і оплавлення матеріалу основи, (60–20%) енергії витрачається на нагрівання і оплавлення порошкового матеріалу (в залежності від його витрати), 15–20% енергії витрачається непродуктивно в результаті відбивання і незрівнянно мало на процеси структурно-фазових перетворень (6–10%), радіаційне випромінювання (5–10%) і конвективну взаємодію з навколишнім середовищем (5–10%). Із збільшенням продуктивності спікання переважно зростають витрати енергії на нагрівання порошку.

Для підвищення ефективності використання кубічного нітриду бору при лазерному формуванні абразивних інструментів запропонований спосіб захисту монокристалу від термічного впливу лазерного випромінювання. В основу способу поставлене завдання підвищення ефективності використання сформованого на абразивному зерні захисного шару й підвищення експлуатаційних показників отриманого

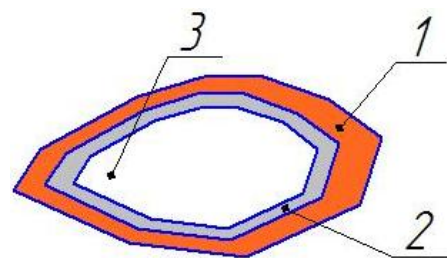


Рис. 4. Монокристал КНБ із функціональним захисним покриттям

інструментального композиту. Поставлене завдання вирішується тим, що на зерно абразива (поз.3) наноситься кілька функціональних шарів різних матеріалів (рис.5), які забезпечують високу адгезію покриття до поверхні абразивного зерна, високу твердість покриття (поз.2), високу відбиваючу здатність, що до лазерного випромінювання, здатність утворювати загальні з'єднання з матеріалом зв'язки (поз.1).

Використання зазначеного способу дозволяє збільшити теплову стійкість абразивного матеріалу й значно розширити спектр виготовлення використовуваних інструментальних композитів. Даний спосіб захищений охоронним документом [9].

Аналіз результатів виміру міцності шліфпорошків КНБ при статичному навантаженні показав, що шліфпорошки всіх марок, при нагріванні випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda=10,6$ мкм і швидкістю переміщення від 0,2 до 2,0 м/хв при щільності потужності $W_p = (0,2 - 2,5) \times 10^4$ Вт/см², практично не втрачають свої вихідної міцності. Спостерігається невелике падіння міцностних характеристик у межах 10-15%, про що свідчать дані наведені на діаграмах рис. 5.

Наявність зерен КНБ, які мають після лазерного впливу низьку міцність 2,6 Н, що приблизно в 5 - 6 разів нижче, ніж аналогічний показник у вихідних шліфпорошків, свідчить про присутність у вибірці графітоподібного α -BN, BN_{gr}, що служить вихідним матеріалом при утворенні β -BN, BN_k у присутності металів (їхніх нітридів і боридів) лужної та лужноземельної груп періодичної системи елементів, які мають низьку вихідну міцність і потрапили у вибірку випадково, у вигляді зерен білого кольору.

Деяка інша картина розподілу статичної міцності шліф порошків, які оброблялись випромінюванням $\lambda=1,06$ мкм. Діаграми виміру їх статичної міцності представлені на рис. 6.

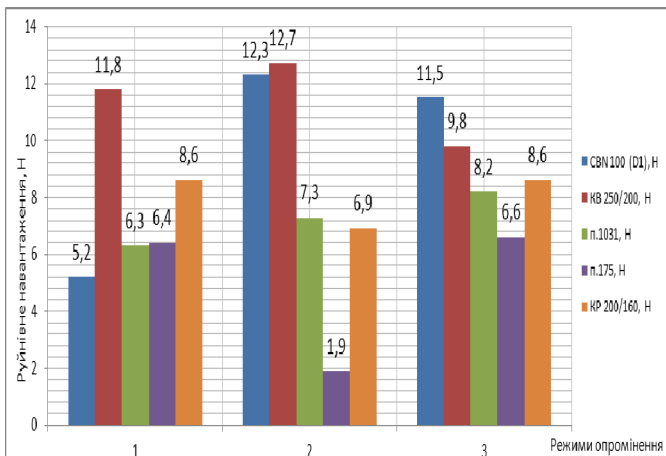


Рис. 5. Діаграми розподілу статичної міцності шліфпорошків різних марок в залежності від швидкості переміщення й діаметра лазерного променя при: довжині хвилі $\lambda = 10,6$ мкм: 1 - d=7 мм; V=0,8 м/хв; P=800 Вт; 2 - d=7 мм; V=1,4 м/хв; P=800 Вт; 3 - d=7 мм; V=2,0 м/хв; P=800 Вт

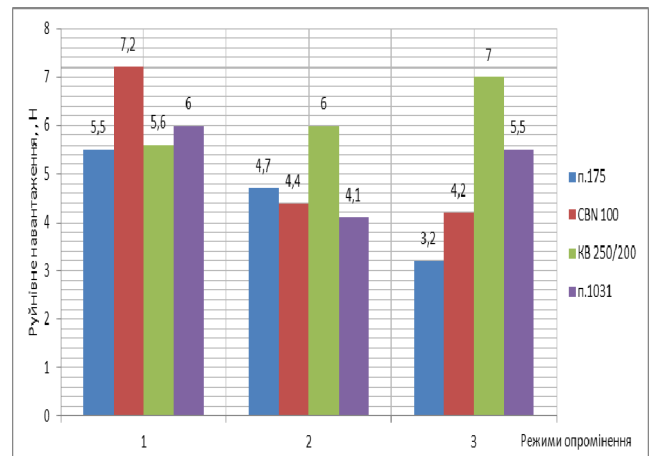


Рис.6. Діаграми розподілу статичної міцності шліфпорошків різних марок при різних швидкостях переміщення й потужності лазерного випромінювання: довжина хвилі $\lambda = 1,06$ мкм: 1 - d=3 мм; V=0,1 м/хв; P=300 Вт; 2 - d=3 мм; V=1,4 м/хв; P=600 Вт; 3 - d=3 мм; V=2,0 м/хв; P=900 Вт

Така значна втрата статичної міцності шліфпорошків КНБ при обробці лазерним випромінюванням з $\lambda = 1,06$ мкм, пояснюється високою поглинальною здатністю КНБ до даної довжини хвилі, що було визначено вище, а також відсутністю захисту зони лазерного впливу від окислювачів з навколишнього середовища. Як показали дослідження рис.7-9 при подачі в зону обробки захисного інертного газу аргону з витратою до 10 л/хв, кількість зруйнованих зерен різко зменшується. Відзначається, що застосування аргону сприяє підвищенню швидкості формування спечених валиків і поліпшенню їх якісних показників.

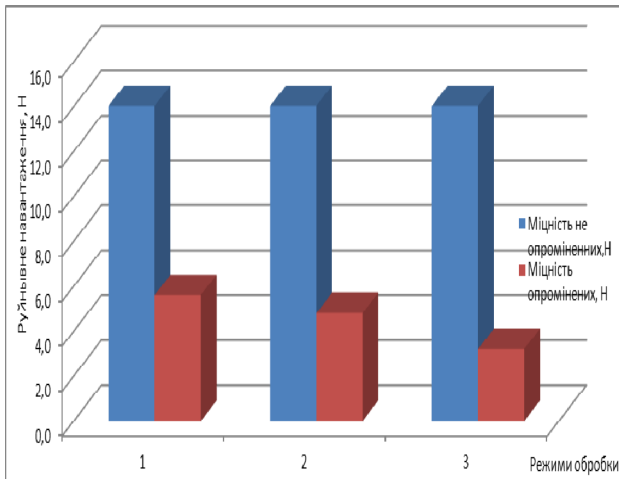


Рис.7. Діаграма розподілу статичної міцності шліфпорошків марки KB 250/200 при різних швидкостях переміщення й потужності лазерного випромінювання: довжина хвилі $\lambda = 1,06$ мкм; середовище – повітря, $d=3$ мм: 1 - $V=0,1$ м/хв, $P=300$ Вт; 2 - $V=1,0$ м/хв, $P=600$ Вт; 3 - $V=1,5$ м/хв, $P=900$ Вт

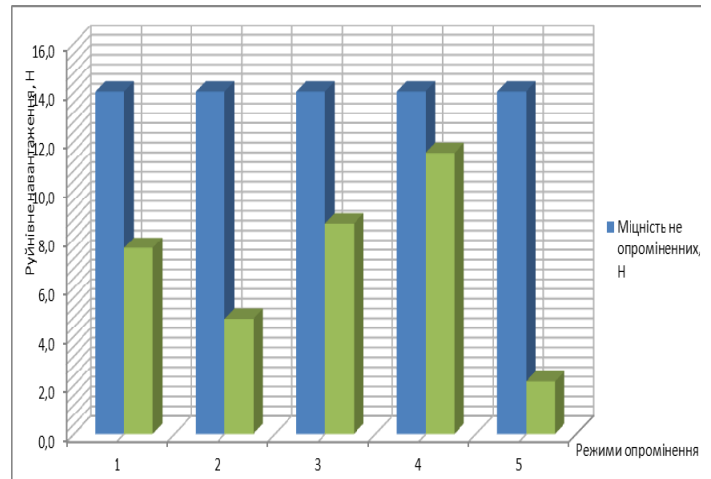


Рис.8. Діаграма розподілу статичної міцності шліфпорошків марки KB 250/200 при різних швидкостях переміщення й потужності лазерного випромінювання, при параметрах обробки: $\lambda = 1,06$ мкм; $d=3$ мм, середовище – $Ar=7$ л/хв: 1- $V=0,1$ м/хв, $P=300$ Вт; 2- $V=0,2$ м/хв, $P=300$ Вт; 3- $V=0,2$ м/хв, $P=500$ Вт; 4 - $V=0,4$ м/хв, $P=500$ Вт; 5- $V=1,0$ м/хв, $P=800$ Вт

Результати дослідження показали, що шліфпорошок марки KB 250/200 виробництва ІНМ ім. Бакуля навіть без застосування захисту мають задовільні показники міцності. Це відкриває перспективи ефективного його використання при формуванні інструментальних композитів методом лазерного селективного спікання.

Висновки

Таким чином, головним результатом виконаних досліджень впливу лазерного опромінювання на фізичний стан та властивості порошків КНБ можна вважати: визначенні оптимальні енергетичні параметри лазерного

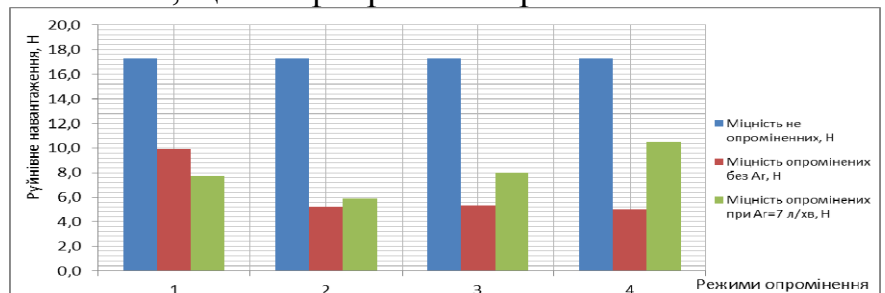


Рис.9. Діаграма розподілу статичної міцності шліфпорошків марки KR 315/250 додатково металізованих нікелем (60% від ваги зерна) при різних швидкостях переміщення і потужності лазерного випромінювання та наявності захисного середовища, при обробці з $\lambda = 1,06$ мкм $d=3$ мм: 1 - $V=0,1$ м/хв, $P=300$ Вт; 2 - $V=0,2$ м/хв, $P=500$ Вт; 3 - $V=0,4$ м/хв, $P=500$ Вт; 4 - $V=0,6$ м/хв, $P=600$ Вт

опромінювання порошків КНБ (густина потужності $W_p=(0,1\dots 1,8)*10^4$ Вт/см², час дії 0,2–0,3 с, в залежності від величини шару, що спікається), які забезпечують температурний інтервал їх нагрівання в межах 800–1400°C, яке не чинить негативного термічного руйнівного впливу. При формування інструментальних шарів доцільно використовувати подачу в зону плавлення захисного інертного газу (аргону, азоту) при витраті 5-14 л/хв. Збільшення витрат приводить до нестабільності геометрії отриманого шару. Для спікання доцільно використовувати шліфпорошки зерен КНБ із захисним покриттям, що забезпечує в сумі із захисним газом, підвищену термостійкість і збереження абразивних властивостей.

Запропонований і досліджений спосіб дозволяє з принципово високою продуктивністю і низькою собівартістю формувати кубонітовмісні композити інструментального призначення для різноманітної номенклатури інструментів з точки зору форми, геометричних розмірів та властивостей зв'язок, до того ж він створює передумови для лазерного селективного сортування та лазерного модифікування порошків КНБ.

Список літератури: 1. *А.М. Блощаневич, А.М. Бочко и др.* Лазерная резка материалов на основе алмаза и плотных модификаций нитрида бора. – Порошковая металлургия. – 2004. – №3/4 – С.47-53. 2. *В.В. Скороход.* Спекание порошковых материалов при электротермическом, плазменном и лазерном нагреве. – 1998. – С. 228-248. 3. *Райченко А.И.* Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. -М.: Металлургия, - 1984. – С.128. 4. *Н.К. Толочко, Ю.В. Хлорков и др.* Измерение поглощательной способности свободно насыпанных одно компонентных металлических порошков и ее изменение в процессе лазерной обработки. - Порошковая металлургия. -1997. - № 7/8. -С. 89-94. 5. *Рагуля А.В.* Селективное лазерное спекание. 1.Принципы. Континуальная модель. - Там же. - 1998. 6. *Коваленко В.С., Головка Л.Ф., Черненко В.С.* Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. - К.: Техника. - 1991. – С.128. 7. *Головка Л.Ф., Лук'яненко С.О.* Монографія. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання. – К.:Вістка, 2009. – 295С. 8. *Головка Л.Ф., Гончарук О.О., Кагляк О.Д.* Влияние лазерного нагрева на прочность кубического нитрида бора при статическом нагружении. – Восточно-европейский Журнал передовых технологий – 2010. – №1/6(43) – с. 4-10. 9. Патент на корисну модель №63067 Спосіб виготовлення надтвердих абразивів з покриттям 26.09.2011.

Поступила в редколлегию 11.06.2012

УДК 621.941

Л.Д. МЕЛКОНОВ, канд. техн. наук, доц., Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНЬЯ ОТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И УГЛА СКРЕЩИВАНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ВАЛОВ ЧАШЕЧНЫМИ ПРИНУДИТЕЛЬНО ВРАЩАЮЩИМИСЯ РЕЗЦАМИ

Підібрано найбільш прийнятний метод визначення температури в зоні різання. Це метод термопар. Встановлено залежність зміни температури в зоні різання від режимів різання і кута схрещування інструменту і заготовки. Наведені протоколи залежностей, за якими побудовані графіки. Приведено оптимальне значення режимів різання і кута схрещування.