

УДК 621.762.55

ГОНЧАРУК О. О.¹, ас.; ГОЛОВКО Л. Ф.¹, д.т.н., проф.; СОРОЧЕНКО В. Г.², к.т.н., с.н.с.;
ЛУТАЙ А. М.¹, к.т.н., ст. викл.; КАГЛЯК О. Д.¹, ас.

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

² Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ НА ФОРМУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ АБРАЗИВНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Повідомляються результати досліджень із встановлення оптимальних технологічних параметрів спікання інструментальних композитів з надтвердих матеріалів із мінімально можливою щільністю потужності і максимально можливими швидкостями руху лазерного випромінювання відносно дослідного зразка.

Ключові слова: лазерне спікання, надтверді матеріали, інструментальні композити.

© Гончарук О. О., Головка Л. Ф., Сороченко В. Г., Лутай А. М., Кагляк О. Д., 2014.

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень. Розширення використання нових важкооброблюваних конструкційних матеріалів вимагає створення нових високоефективних інструментів, у тому числі на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Кристали КНБ мають високу твердість і теплостійкість (від 800 до 1200...1400 °С). За вищих температур відбувається окислення, що спричиняє втрату 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 під час оброблення різних залізвмісних сплавів, оскільки при цьому забезпечується зменшення адгезійного й дифузійного зношування (порівняно з алмазним).

Як відомо, якість інструмента, його працездатність значною мірою залежать від механічних, фізичних і хімічних властивостей зв'язки, особливостей міжфазних процесів, що відбуваються на межі поділу КНБ – зв'язка, в умовах формування робочого шару інструмента.

Для виготовлення інструментів на основі КНБ застосовують різні технології, що відрізняються методами формування робочого інструментального шару й способом закріплення зерен КНБ. Інструментальні композити одержують методами спікання зерен КНБ і зв'язування, гальванічним осадженням або плазмовим напилюванням. Кожний із цих способів має переваги й недоліки, області доцільного застосування.

Головним напрямком у технології спікання порошкових матеріалів є використання високошвидкісного нагрівання, що дозволяє збільшити продуктивність і оптимізувати процес спікання, одержувати матеріали з високою щільністю й дрібнозернистою структурою [2]. Виникла низка неізотермічних методів, серед яких варто виділити спікання металевих порошків прямим проходженням електричного струму [3], а також застосування лазерного нагрівання [1, 4-7].

Як джерело нагрівання лазерне випромінювання має ряд переваг: воно дозволяє завдяки високій швидкості безконтактно вводити енергію в матеріал і добре її дозувати, здійснювати надшвидкісне нагрівання локальних областей матеріалів у широкому діапазоні температур і, завдяки цьому, формувати високодисперсні структури. Наведені особливості лазерного нагрівання виявлені й використані при спіканні інструментальних композитів, що виявило переваги цього способу [7]. Тому актуальним вбачається дослідження можливості застосування й розроблення технологічних основ лазерного формування робочих шарів інструментів на основі кубічного нітриду бору.

Метою статті було встановлення оптимальних технологічних параметрів спікання інструментальних композитів із надтвердих матеріалів (НТМ) із мінімально можливою щільністю потужності і максимально можливими швидкостями руху лазерного променя відносно дослідного зразка.

Методика дослідження. Як встановлено раніше [8], КНБ має високу поглинальну здатність до лазерного випромінювання. Водночас відомо, що лазерне випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 1,06$ мкм краще поглинається металами. Виходячи із сказаного, було прийняте рішення провести порівняльні дослідження впливу лазерного випромінювання з різною довжиною хвилі на геометрію та властивості сформованих лазерним випромінювання шарів інструментального композиту з довжинами хвиль 1,06 і 10,6 мкм.

Вплив лазерного опромінення на структуру (дисперсність, однорідність, розподіл легуючих елементів) вивчали на зразках інструментальних композитів різних систем, що відрізнялися за температурою плавлення й твердістю: ПГ-12Н-01 ТУ48-19-383-90, ХТН23, ПС-12Н-ВК ТУ48-19-383-90, Бр010.

Зразки з ущільненими й зволженими цапонлаком порошковими композитами (за методом «шлікерного» обмазування), розташовували на підкладці, виготовленої зі сталі 30, та піддавали лазерному опроміненню з різними довжинами хвилі із застосуванням лазерно-технологічних комплексів ЛАТУС 31 (CO₂-лазер, $\lambda = 10,6$ мкм) і DY044 (Nd:YAG-лазер; $\lambda = 1,06$ мкм).

Оброблення на ЛАТУС 31 виконували на повітрі протягом $\tau = 0,15 \dots 0,45$ с за щільності потужності $W_p = (0,30 \dots 6,37) \cdot 10^4$ Вт/см², на DY044 – на повітрі та в середовищі аргону з витратою $V_a = 2 \dots 20$ л/хв. протягом $\tau = 0,06 \dots 4,50$ с за щільності потужності $W_p = (0,1 \dots 1,4) \cdot 10^4$ Вт/см². Оброблення всіх зразків здійснювали за розташування крапки старту й зупинення променя за межами зразка на відстані 40 мм, щоб уникнути його перегрівання й забезпечити рівномірну швидкість оброблення. Потім зразки зі сформованим шаром розрізали на електроіскровому верстаті з ЧПУ, виготовляючи шліфи, які протравлювали розчином HNO₃ (3 %) і досліджували методами макро- і мікроаналізу структурних складових, мікротвердості й растрової електронної мікроскопії.

Результати досліджень та їхнє обговорення

Оброблення на ЛАТУС 31. За вибраних режимів найбільш ефективно застосовувати порошки на нікелевій основі ПС-12Н-ВК. Утворені внаслідок спікання валики мають рівномірну поверхню і стабільну геометрію (рис. 1). Для них є характерною загальна закономірність монотонного зменшення ширини й товщини із підвищенням швидкості відносного руху лазерного променя відносно зразка.

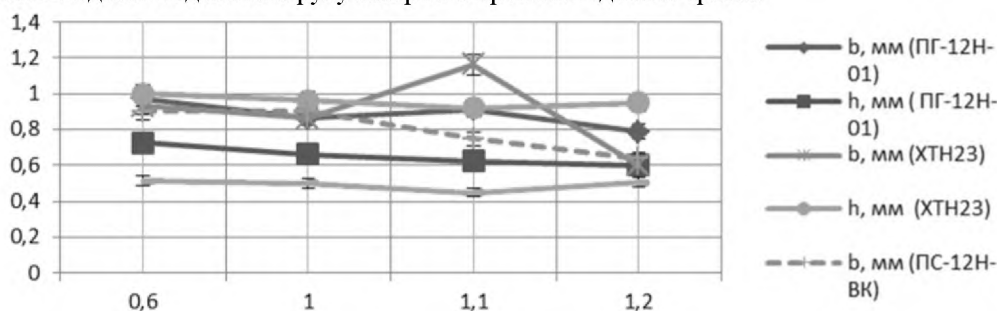


Рис. 1 – Вплив швидкості лазерного випромінювання, м/хв., на розмірні характеристики, мм, наплавленого шару ПГ-12Н-01, ХТН 23 і ПС-12Н-ВК ($P = 800$ Вт; $d_n = 2$ мм; $\nu = 0,6 \dots 1,2$ м/хв.)

Оброблення на DY044. На рис. 2-3 наведено залежності розмірних характеристик спечених шарів композитів від швидкості відносного руху лазерного променя. При цьому використано порошкові композиції з нижчою температурою плавлення.

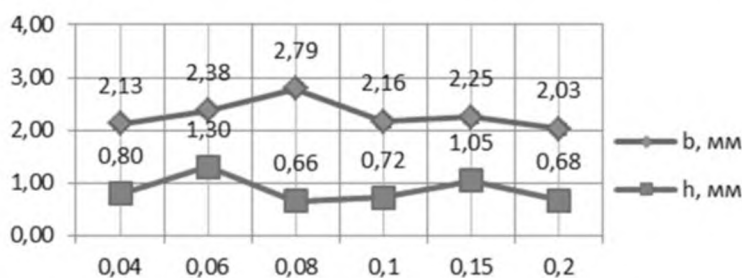


Рис. 2 – Вплив швидкості лазерного випромінювання, м/хв., на розмірні характеристики, мм, наплавленого шару Бр010 ($P = 300$ Вт; $d_n = 3$ мм; шар покриття $50 \times 3 \times 0,7$ мм)

Аналіз результатів свідчить, що найбільш тугоплавкою із порівнюваних є зв'язка ПГ-12Н-01, що має температуру плавлення 1450 °С. Спікання стабільного валика спостерігається за відносно невеликих швидкостей ($\nu = 0,2 \dots 0,6$ м/хв.) і збільшених щільностей потужності $W_p = (0,7 \dots 1,5) \cdot 10^4$ Вт/см².

Щоб збільшити швидкість відносного руху (і таким чином зменшити щільності потужності лазерного випромінювання), було застосовано лазерне спікання в середовищі аргону за його витрати $V_a = 7 \dots 20$ л/хв. Підтвердилося й те, що випромінювання з довжиною хвилі 1,06 мкм краще поглинається металами. Порів-

няно з технологічними режимами при спіканні композитів із довжиною хвилі 10,6 мкм, спостерігалось зменшення щільності потужності й підвищення швидкості оброблення.

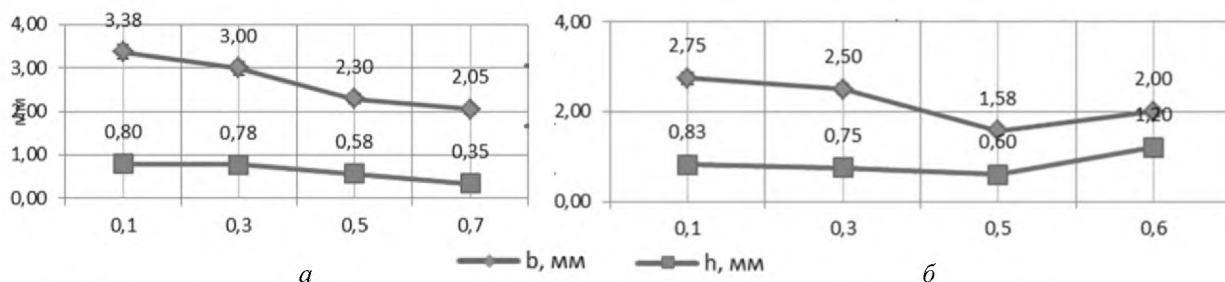


Рис. 3 – Вплив швидкості лазерного випромінювання, м/хв., на розмірні характеристики, мм, наплавленого шару 50×3×0,7 мм ($d_n = 3$ мм): а – ПГ-12Н-01, $P = 700$ Вт; б – ПС-12Н-ВК, $P = 500$ Вт

Застосування захисного середовища дозволяє виключити утворення тріщин (рис. 4, 5).

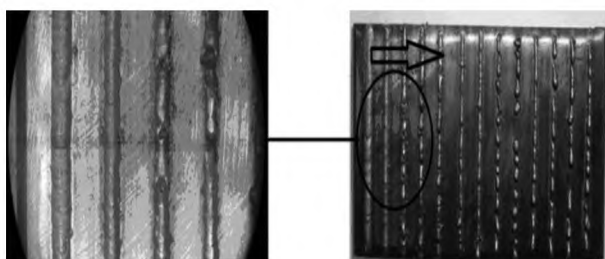


Рис. 4 – Валики з ПГ-12Н-01
(×32; $v = 0,1$ м/хв., $P = 500$ Вт; $d_n = 3$ мм;
оброблення за стрілкою; $V_a = 7$ л/хв.)

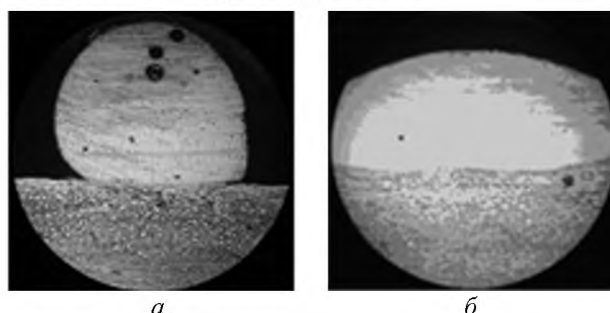


Рис. 5 – Шліфи ПГ-12Н-01 (×100; $v = 0,1$ м/хв.;
 $d_n = 3$ мм): а – $P = 300$ Вт; б – $P = 500$ Вт

Установлено, що зі збільшенням щільності потужності лазерного випромінювання зростає зона легування, майже зникають тріщини, пори і мікронерівності (рис. 5, 6).

Спікання композитів на основі міді, зокрема Бр010 і ПГ-19М-01, відбувалося за меншої щільності порівняно з композитами ПГ-12Н-01 і ПС-12Н-ВК, потужності $W_p = 0,4 \cdot 10^4$ Вт/см².

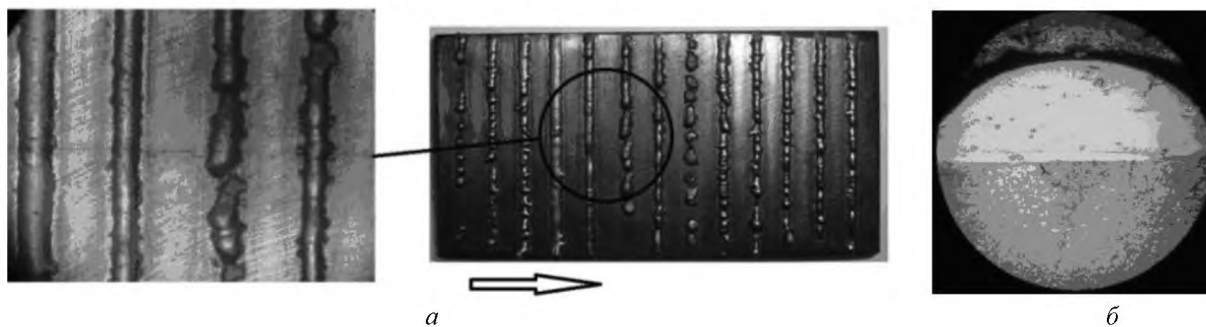


Рис. 5 – Валики і шліф із ПС-12Н-ВК ($v = 0,1$ м/хв.; $P = 300$ Вт; $d_n = 3$ мм; оброблення за стрілкою;
 $V_a = 7$ л/хв.): а – ×32; б – ×100

З огляду на менші енергетичні затрати, для виготовлення композитів із НТМ інструментального призначення доцільно використовувати порошки на основі міді, зокрема Бр010, а для більш зносостійкого інструмента – порошки ПС-12Н-ВК, що утворюють тугоплавкі карбіди.

Для визначення впливу технологічних режимів випромінювання на фізико-механічні властивості композитів, зокрема мікротвердість, проведено серію експериментів. За лазерного спікання з довжиною хвилі 10,6 мкм мікротвердість вимірювали в центрі валика й зоні термічного впливу; із довжиною хвилі

1,06 мкм – у центрі валика, перехідній зоні під ним (зона з'єднання матеріалу основи з композитом) і зоні термічного впливу матеріалу основи.



Рис. 6 – Валики і шліф із Бр010 ($d_n = 3$ мм; оброблення за стрілкою):
 $a - \times 32, v = 0,2$ м/хв., $P = 300$ Вт; $b - \times 100, v = 0,1$ м/хв., $P = 500$ Вт, $V_a = 7$ л/хв.

Установлено, що вплив швидкості лазерного випромінювання майже не впливає на мікротвердість композитів і визначається хімічним складом порошкової суміші (рис. 7-8).

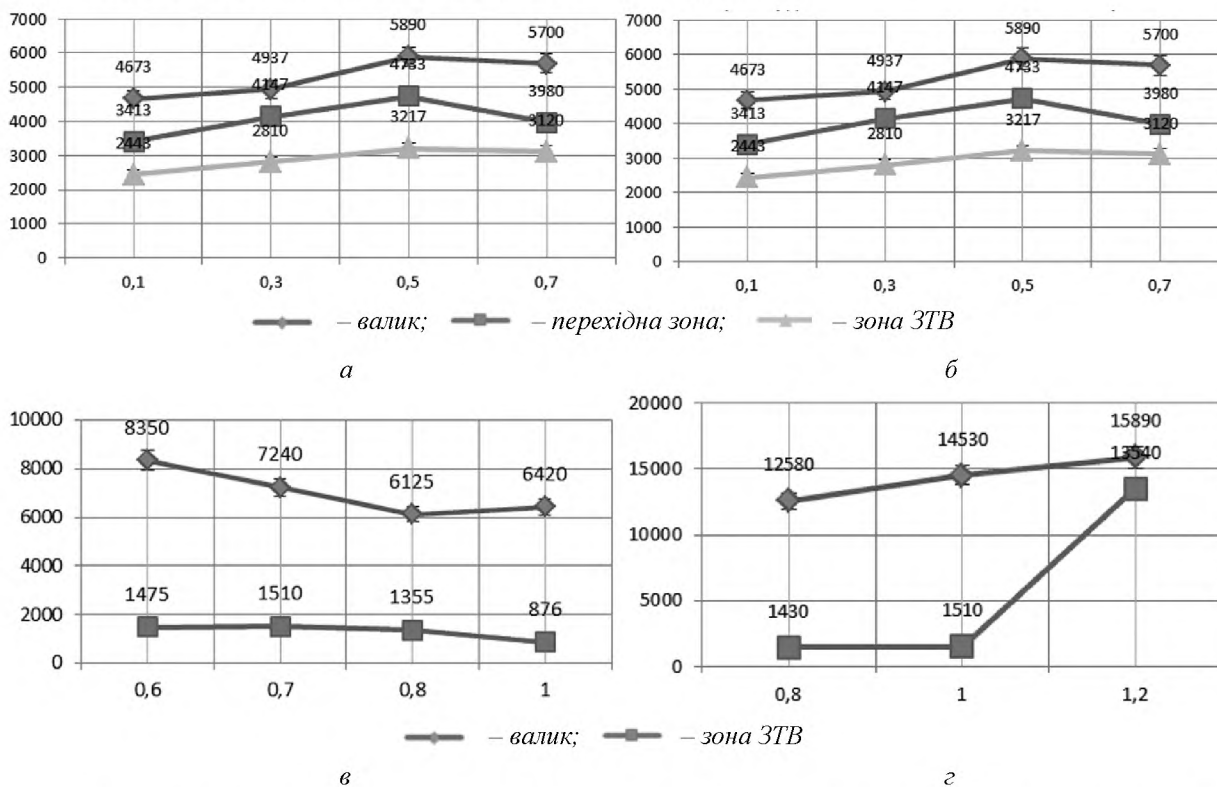


Рис. 9 – Вплив швидкості лазерного випромінювання, м/хв., на мікротвердість, МПа, композитів ПГ-12Н-01: $a - \lambda = 10,6$ мкм, $P = 800$ Вт, $d_n = 2$ мм; $b - \lambda = 1,06$ мкм, $P = 700$ Вт, $d_n = 3$ мм; $\lambda = 10,6$ мкм, $P = 700$ Вт, $d_n = 2$ мм: $в - ХТН23$; $г - ПС-12Н-ВК$

Максимальну твердість 16 000 МПа має композит ПС-12Н-ВК. За глибиною валика мікротвердість плавно змінюється. При цьому структура першого наплавленого шару плавно переходить у структуру підкладки – сталеві пластини, що свідчить про високу пластичність зони його з'єднання з основою. Ефективність застосування цього порошку можна підвищити, додаючи під час його спікання карбідоутворювальні компоненти.

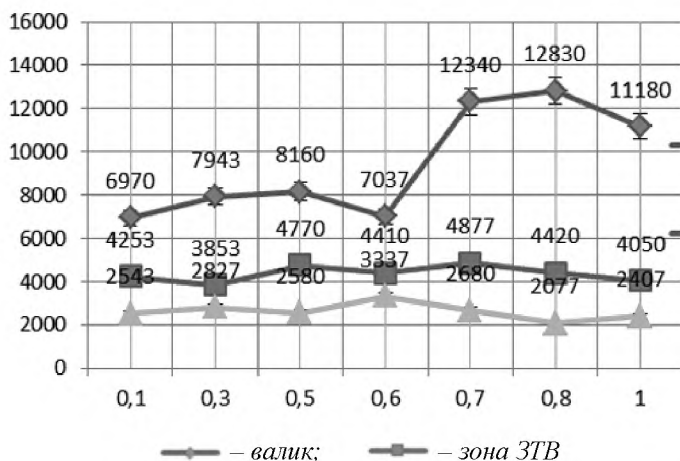


Рис. 10 – Вплив швидкості лазерного випромінювання, м/хв., на мікротвердість, МПа, композиту ПС-12Н-ВК ($\lambda = 1,06$ мкм, $P = 1000$ Вт, $d_n = 3$ мм)

Узагальнюючи, можна констатувати, що структури, утворені завдяки лазерному опроміненню в поверхневих шарах дослідних зразків, мають підвищену твердість.

Висновки. Установлено основні закономірності фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час лазерного спікання композитів із синтетичних алмазів і КНБ на основі заліза, нікелю і системи Cu+Sn. Під час спікання енергія лазерного випромінювання добре поглинається абразивними зернами КНБ і металевими композитами (60...70 %). Технологічні режими лазерного опромінювання зерен КНБ за щільності потужності $(1,6...2,0) \cdot 10^3$ Вт/см², що не приводять до втрати їх міцності, є достатніми для розплавлення металевих складових, забезпечуючи утворення композитів із заданими властивостями.

Список використаної літератури

1. Блошаневич А. М. Лазерная резка материалов на основе алмаза и плотных модификаций нитрида бора / А. М. Блошаневич, А. М. Бочко // Порошковая металлургия. – 2004. – № 3/4. – С. 47–53.
2. Скороход В. В. Спекание порошковых материалов при электротермическом, плазменном и лазерном нагреве / В. В. Скороход // Порошковая металлургия. – 1998. – С. 228–248.
3. Райченко А. И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока / А. И. Райченко. – М. : Металлургия, 1984. – 128 с.
4. Толочко Н. К. Измерение поглотительной способности свободно насыпанных однокомпонентных металлических порошков и ее изменение в процессе лазерной обработки / Н. К. Толочко, Ю. В. Хлорков // Порошковая металлургия. – 1997. – № 7/8. – С. 89–94.
5. Рагуля А. В. Селективное лазерное спекание. 1. Принципы. Континуальная модель / А. В. Рагуля // Порошковая металлургия. – 1998. – № 8/9. – С. 94–99.
6. Коваленко В. С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головкин, В. С. Черненко. – К. : Техника, 1991. – 228 с.
7. Головкин Л. Ф. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Л. Ф. Головкин, С. О. Лук'яненко. – К. : Вістка, 2009. – 295 с.
8. Головкин Л. Ф. Влияние лазерного нагрева на прочность кубического нитрида бора при статическом нагружении / Л. Ф. Головкин, О. О. Гончарук, О. Д. Каглык // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 1/6 (43) – С. 4-10.

Надійшла до редакції 12.02.2014

Goncharuk O. O., Golovko L. F., Sorochenko V. G., Lutay A. M., Kaglyak O. D.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF LASER SINTERING ON THE FORMATION MECHANISM AND PROPERTIES OF SUPER HARD ABRASIVE COMPOSITES

Optimal technological parameters of laser sintering with the aim to minimize laser beam power density and to maximize travel speed of laser beam or workpiece for the formation of cutting tools from super-hard composites were determined in this paper.

Keywords: laser sintering, super-hard materials, composites for tool manufacturing.

References

1. Bloshhanevich A. M. Lazernaja rezka materialov na osnove almaza i plotnyh modifikacij nitrída bora [Laser cutting of materials based on diamond and boron nitride dense modifications] / A. M. Bloshhanevich, A. M. Bochko // Poroshkovaja metallurgija. – 2004. – № 3/4. – S. 47–53.

2. Skorohod V. V. Spekanie poroshkovykh materialov pri jelektrotermicheskom, plazmennom i lazernom nagrebe [Sintering of powder materials in the electrothermal, plasma and laser heating] / V. V. Skorohod // Poroshkovaja metallurgija. – 1998. – S. 228–248.
3. Rajchenko A. I. Osnovy processa spekanija poroshkov propuskaniem jelektricheskogo toka [Fundamentals of sintering powders by passing an electric current] / A. I. Rajchenko. – M. : Metallurgija, 1984. – 128 s.
4. Tolochko N. K. Izmerenie pogloshhatel'noj sposobnosti svobodno nasypannyh odnokomponentnyh metallicheskikh poroshkov i ee izmenenie v processe lazernoj obrabotki [Measurement of absorbance freely pour one component metal powders and its change during the laser processing] / N. K. Tolochko, Ju. V. Hlorkov // Poroshkovaja metallurgija. – 1997. – № 7/8. – S. 89–94.
5. Ragulja A. V. Selektivnoe lazernoe spekanie. [Selective laser sintering] 1. Principy. Kontinual'naja model' / A. V. Ragulja // Poroshkovaja metallurgija. – 1998. – № 8/9. – S. 94–99.
6. Kovalenko B. C. Uprochnenie i legirovanie detalej mashin luchom lazera [Alloying hardening of machine parts and the laser beam] / B. C. Kovalenko, L. F. Golovko, B. C. Chernenko. – K. : Tehnika, 1991. – 228 s.
7. Golovko L. F. Lazerni tehnologii i ta komp'juterne modeljuvannja [Laser technology and computer simulation] / L. F. Golovko, S. O. Luk'janenko. – K. : Vistka, 2009. – 295 s.
8. Golovko L. F. Vlijanie lazernogo nagreva na prochnost' kubicheskogo nitrída bora pri staticheskom nagruženii [Effect of laser heating on the strength of cubic boron nitride under static loading] / L. F. Golovko, O. O. Goncharuk, O. D. Kagljak // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2010. – № 1/6 (43) – S. 4-10.

УДК 664.002.5

ДАВИДОВ А. С., БІРЮК Д. О., магістранти; ЗУБРІЙ О. Г., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОТОРНО-ПЛІВКОВОГО АПАРАТА З ВИСХІДНИМ ПОТОКОМ

Проведено експериментальне дослідження середньої товщини плівки, гальмівного впливу стінки на рідину в роторно-плівковому апараті з висхідним потоком.

Ключові слова: роторно-плівковий апарат, висхідний потік, тонка плівка, гальмівний ефект.

© Давидов А. С., Бірюк Д. О., Зубрій О. Г., 2014.

Постановка задачі та аналіз попередніх досліджень. Актуальною науковою проблемою є підвищення інтенсивності процесів оброблення сировини в роторно-плівкових апаратах із висхідним потоком. Через складність гідродинаміки висхідного потоку відсутні точні аналітичні залежності, що його описують.

Існують плівкові апарати з гравітаційним рухом та висхідним потоком, що вимагають застосування довгих труб і певних гідродинамічних умов [1]. Коли необхідно забезпечити рівномірну товщину плівки, випарувувати в'язкі рідини та розчини, що кристалізуються, використання гравітаційних плівкових апаратів не рекомендовано [2].

Використання роторно-плівкового апарата з висхідною плівкою гарантує рівномірне розподілення плівки й максимальну щільність зрошення завдяки нерозривності потоку за висотою апарата. Відомі залежності для визначення висоти підйому рідини, що знаходиться в апараті, які встановлені без урахування складності характеру руху рідини [3].

Метою статті було експериментальне встановлення емпіричних залежностей висоти підйому та товщини плівки від кількості обертів та витрат рідини.

Виклад основного матеріалу. Дослідження здійснювали на експериментальній установці (рис. 1), що складається з роторно-плівкового апарата 1 з прозорою стінкою та висотою зливу 200 мм, ротора 2 з жорстко закріпленими лопатями, із можливістю регулювання кількості лопатей (від 2 до 6) і зазора між лопатями та стінкою. Досліджували висхідний рух ізотермічної течії води з температурою 18 °С за 6 лопатей і відстані між ними та стінкою 2 мм. Швидкість обертання ротора змінювали від 5 до 70 рад/с.

Рідина, що перебуває в апараті, обертаючись, утворює параболічний профіль і піднімається на висоту $h = h_3 + \omega^2 R^2 / (4g)$, де h_3 – рівень рідини за нерухомого ротора, м; ω – кутова швидкість, рад/с; R – радіус обер-