

Дудан О.В.,*
Солових Є.К.,**
Волков Ю.В.,**
Катеринич С.Є.,**
Солових А.Є.,**
Шевченко Д.В.**

*Полоцький державний університет,

м. Новополоцьк, Білорусь,

**Центральноукраїнський національний

технічний університет,

м. Кропивницький, Україна

E-mail: ekskntu09@gmail.com

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ВАРАНТИ
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НОЖІВ
ПОДРІБНЮЮЧОГО БАРАБАНА
КОМБАЙНУ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ
ПРИПІКАННЯМ ПОКРИТТІВ**

УДК 621.793.620.172

DOI:10.31891/2079-1372-2018-90-4-14-21

На основі проведених досліджень було визначено, що серед методів нанесення покриттів перевагу слід віддати електроконтактному припіканню – методу, який використовує теплову енергію, що виділяється електричним струмом. Електроконтактне припікання порошкових покриттів характеризується незначними енерговитратами, малою зоною термічного впливу, високою міцністю зчеплення і щільністю. Причиною зносу традиційних покриттів є їх локальне перенапруження. З метою усунення цього недоліку було запропоновано наносити покриття не суцільним, а дискретним. Нанесення покриттів дискретної структури електроконтактним припіканням дозволяє поряд з високою щільністю і адгезійною міцністю забезпечити мінімальний рівень напружено-деформованого стану покриття під впливом експлуатаційних навантажень.

Ключові слова: дискретне покриття, електроконтактне припікання, пористість, технологічні параметри, оптимізація, довговічність.

Актуальність проблеми

Довговічність робочих органів сільськогосподарських машин, що експлуатуються в умовах абразивного зношування, знаходиться в прямій залежності від здатності протистояти абразивному або корозійно-механічному руйнуванню їх ріжучих кромки [1]. Багаточисельні дослідження показали, що найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин є застосування покриттів із композиційних матеріалів. Вирішення поставленої проблеми пов'язано з розробкою технологічних способів нанесення композиційних покриттів.

Методи наплавлення покриттів внаслідок високотемпературного нагрівання не дозволяють зберегти вихідні властивості покриття. Наплавлені деталі характеризуються значними термічними деформаціями і вимагають механічної обробки для отримання необхідної геометрії ріжучої кромки. Методи напилення зносостійких композиційних матеріалів не забезпечують достатню міцність зчеплення покриття і рівномірну твердість, потребують попередню підготовку поверхні перед напиленням і механічну обробку після напилення, малоефективні при зміцненні поверхонь невеликих розмірів із-за втрати матеріалу, який напилюється, характеризуються шкідливими умовами роботи персоналу під час попередньої підготовки поверхні та при самому напиленні.

При підвищенні зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин доцільно використовувати дисперсно-зміцнені (порошкові) композиційні матеріали (ПКМ). В якості матеріалу матриці для зносостійких покриттів пропонують використовувати порошки заліза ПЖ1, нікеля, міді, наплавочних сплавів, самофлюсуєчі порошки ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4 (системи Ni-Cr-B-Si-C) на нікелевій основі і ПГ-С1 на залізній основі, а в якості зносостійких наповнювачів – порошки ферросплавів, карбідів. оксидів. Матеріал зміцнюємої деталі необхідно вибирати враховуючи його роботу в композитній системі. Він повинен мати мінімальну різницю коефіцієнтів термічного розширення в порівнянні з покриттям, забезпечувати максимальну міцність зчеплення з ним, мати невисоку вартість. Одним з підходів вибору матеріалу покриття є встановлення зв'язків усередині системи «експлуатація-матеріал», а з позиції технології – в умовному трикутнику «склад-структура-властивості». КП і матеріал деталі повинні мати «експлуатаційну сумісність».

Виходячи з природи композиційних матеріалів, покриття доцільно наносити за допомогою методів порошкової металургії в режимі спікання і припікання. На основі проведених досліджень було визначено, що серед методів нанесення порошкових покриттів в режимі спікання і припікання перевагу

слід віддати електроконтактному припіканню – методу зміцнення, який використовує теплову енергію, що виділяється електричним струмом. Покриття, одержані цим методом має міцність зчеплення 180 - 220 МПа і щільність 96 - 98 %. Його характеризують незначні енерговитрати, мала зона термічного впливу, висока продуктивність. Електроконтактне припікання дозволяє зберегти вихідну (спадкову) структуру порошку сплаву і забезпечити дрібнозернисту гомогенну структуру покриття.

Основним недоліком покриттів, нанесених на деталь при допомозі роликового електроду, являється зменшення їх твердості і щільності, а також міцності зчеплення на граничних ділянках. Це явище, що пояснюється специфікою ущільнення і нагріву порошкових шарів у відкритого торця електроду, утруднює формування стабільної і якісної кромки при зміцненні ріжучих елементів деталей машин. Для усунення вищевказаних недоліків необхідно було розробити спеціальні технологічні варіанти способу електроконтактного припікання на ріжучі кромки ножів подрібнюючого барабану.

Аналіз попередніх досліджень

Одним із технологічних варіантів способу електроконтактного припікання на ріжучі кромки ножів подрібнюючого барабану являється спосіб, по якому дві деталі стикаються одна з одною з утворенням єдиної плоскої поверхні, і на цю поверхню в місці стику наносять шар порошку, що дорівнює подвійній ширині зміцнюємої ріжучої кромки, а в процесі прокатки площина симетрії роликового електроду проходить через лінію стику сполучених деталей. На рис. 1 представлена схема реалізації способу. Зміцнюємі деталі 1 і 2 стикають один з одним таким чином, щоб зміцнюємі поверхні ріжучих кромок 3 і 4 утворювали загальну поверхню. Деталі стикаються під дією стискаючого навантаження P , що прикладається до їх бокових поверхонь. Потім наносять шар порошку 5, ширина якого рівна подвійній ширині зміцнюємої ріжучої кромки. Шар порошку прокочують роликівим електродом 6, ввімкненим в коло зварювального трансформатора 7, причому замикання цього кола здійснюють через шар порошку і зміцнюємі деталі. При протіканні електричного струму через порошок шар відбувається інтенсивне нагрівання останнього, а одночасно прикладує до ролика 6 тиск P_0 забезпечує припікання покриття до поверхні деталі. Прокатка ролика 6 по шару порошку здійснюється при безперервному співпаданні площини симетрії Б, розташованої перпендикулярно осі ролика з лінією з'єднання деталей. Після зміцнення електричний струм відключають, а тиск з ролика знімають. Зміцнюємі деталі 1 і 2 роз'єднують по лінії. Ця операція утворює ріжучу кромку на зміцнюємих деталях (рис.1), причому її фізико-механічні властивості (твердість, щільність і інші) являються найкращими. Як правило (при нанесенні шарів з товщиною до 1,0 ... 1,2 мм) рознімання деталей відбувається мимовільно внаслідок залишкових напружень в шарі зразу ж після зняття стискаючого зусилля (рис. 1). Зміцнення вказаним способом деталі не потребує подальшої механічної обробки і володіє високою зносостійкістю (рис. 2).

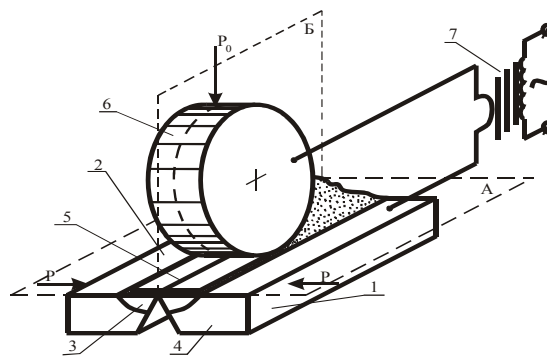


Рис. 1 – Технологічна схема нанесення покриття на дві ріжучі кромки



Рис. 2 – Нож з покриттям суцільної структури

Мета досліджень

Зміцнення ріжучі кромки ножів подрібнюючих барабанів електроконтактним припіканням покритть дискретної структури.

Результати досліджень

Для зміцнення ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарських машин запропонований спосіб електроконтактного припікання покритть дискретної структури, суть якого полягає в наступному. На ріжучу кромку наноситься покриття у вигляді дискретів із зазором 1 ... 1,5мм (рис. 3). Величина кута нахилу визначає інтенсивність розширення зазору і нерівномірність зносу покриття по його довжині в процесі експлуатації. На рис. 4 представлені експериментальні криві, що відображають вплив кута нахилу на розширення зазору d :

$$\eta = \frac{d_1}{d_2},$$

де d_1 – величина зазору на початку процесу експлуатації;

d_2 – після напрацювання 2000 т зеленої маси;

Коефіцієнт нерівномірності зносу:

$$\beta = \frac{h_1' - h_1''}{h_1'}$$

де h_1' – товщина покриття в зоні входу ножа;

h_1'' – товщина покриття в зоні виходу ножа.

Як випливає з експериментальних даних, оптимальним кутом нахилу бічних граней елемента покриття до його основи є 35 ... 60°.

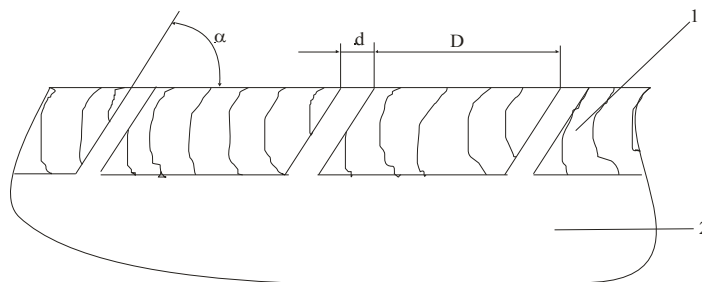


Рис. 3 – Схема нанесення дискретного покриття (1) на ріжучу кромку (2) деталі

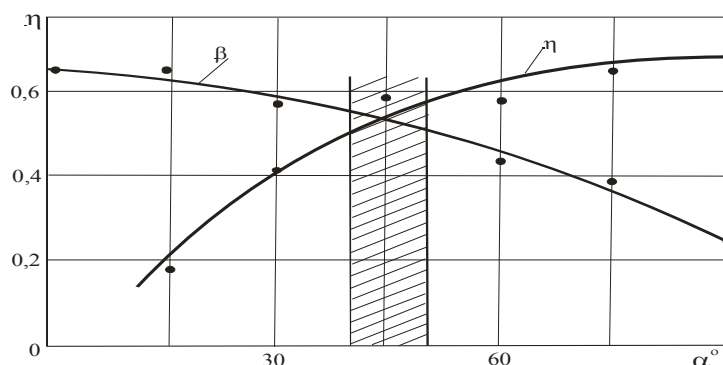


Рис. 4 – Вплив кута нахилу α на збільшення зазору та коефіцієнт нерівномірності зносу ріжучої кромки

Для реалізації процесу нанесення дискретних покриттів розроблений електрод із спеціальною поверхнею. Спеціальний електрод створює переривчастість шару покриття (рис. 5, 6). Вибір геометричних параметрів електродів, а у випадку електроконтактного припікання і параметрів дискретних покриттів

здійснювався із результатів теоретичних і експериментальних досліджень їх напружено-деформованого стану і емпірично із умов рівномірної пористості і адгезійної міцності покриття.

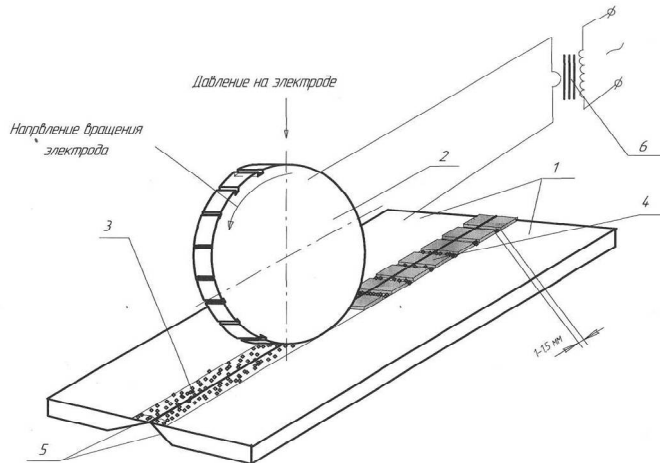


Рис. 5 – Технологічна схема електроконтактного припікання дискретних порошкових покриттів на дві ріжучі кромки:

1 – спеціальний електрод;

2 – деталь;

3 – покриття;

P – тиск на електроді;

S – подача електрода;

ω , ω_0 – кутові швидкості електрода і деталі

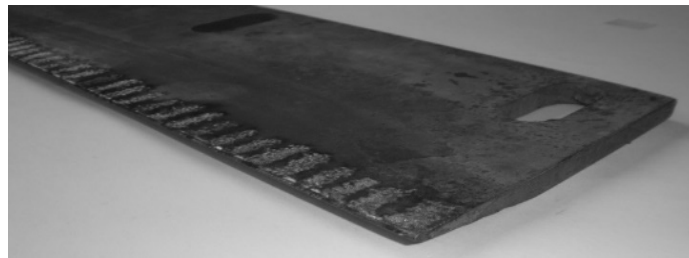


Рис. 6 – Нож з покриттям дискретної структури

В процесі експлуатації особливістю зносу ріжучих елементів робочих органів є його локальний характер і нерівномірність. Враховуючи цю особливість, доцільно дискретне покриття наносити відповідно з епюрою нерівномірного зносу. Диференціальне відновлення і зміцнення може здійснюватися дискретними покриттями змінною суцільністю. У основу вибору величини суцільності покладена залежність зносостійкості від суцільності. Типова залежність зносостійкості від суцільності покриття (відношення площі, яку займає покриття, до загальної площі поверхні, що зміцнюється, наведено на рис. 7.

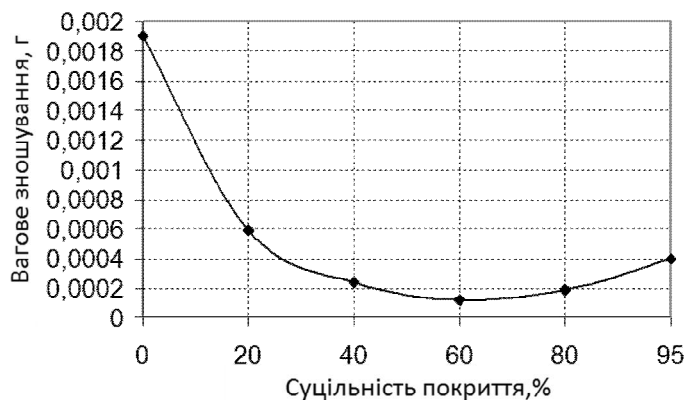


Рис. 7 – Залежність вагового зносу від суцільності покриття

Одним з важливих питань при виборі покриття є його товщина. При відновленні зношених деталей прагнуть досягти максимально можливої товщини покриття, що можливо шляхом застосування способу електроконтактного припикання (табл. 1). Несуча здатність деталі з покриттям в умовах експлуатації має функціональний зв'язок із товщиною покриття. Встановлені залежності товщини покриття, його адгезійної міцності, залишкових напружень, а також експлуатаційних навантажень. Ці залежності встановлюють граничні значення товщини покриття суцільної структури.

Таблиця 1

Розміри покриття в залежності від розмірів деталі

Товщина деталі, мм	Максимальна довжина покриття, мм				
	товщина покриття, мм				
	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
5	18,2	3,6	1,7	-	-
0	42,1	7,8	3,6	1,7	-
20	80,5	15,7	7,7	3,6	1,2
40	158,3	31,6	15,6	7,5	2,6
50	201,2	39,7	20,1	10,4	3,9

По критерію міцності і зносостійкості, дискретна структура успішно працює при відновленні великого зносу, тоді як суцільні покриття непрацездатні із-за руйнування і фрагментації при малих деформаціях деталі. Залежність інтенсивності зношування I_n від товщини диференційних дискретних покриттів h_n приведена на рис. 8.

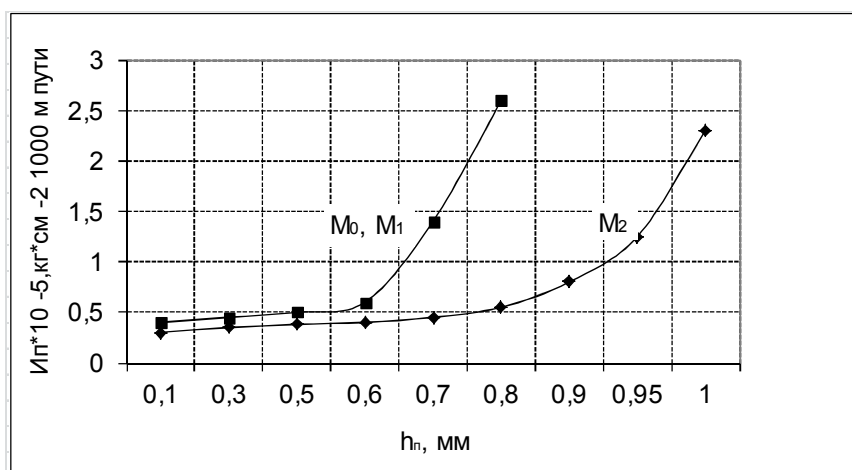


Рис. 8 – Залежність інтенсивності зношування від товщини покриття:

- 1 – двошарове покриття;
2 – одношарове покриття

Виходячи із загальних представлень процесу ЕКПП була побудована регульовальна характеристика електроконтактного припикання порошків ПГ-С1 з наповнювачами типу ФХ-800 (рис. 9). Обмеження по осям абсцис і ординат проводилось по максимальним значенням струму припикання ($I = 30$ кА) і тиску ($\Delta P = 0,65$ МН/м). Вибір параметрів в заштрихованій області гарантує отримання шарів з високими фізико-механічними властивостями: $\sigma_{зч} = 150 \dots 180$ МПа, твердість (для ПГ- С1) HRC 51 \dots 53, пористість 3 \dots 5 %.

Кінцевою метою роботи є розробка технологічного процесу зміцнення і відновлення ріжучих кромки ножів подрібнюючого барабану кормозбирального комбайну композиційними покриттями дискретної структури методом електроконтактного припикання.

Технологічний процес нанесення зносостійких покриттів на ріжучі кромки ножів складається із наступних операцій :

1. Закріплення двох зміцнюємих деталей в рамці-касеті.

Ножі встановлюються на контактній мідній плиті з утворенням загальної зміцнюємої поверхні, після чого вони стискаються боковими поверхнями з зусиллям 1000 \dots 1500 Н. При встановленні ножів необхідно щоб стик сполучених деталей співпадав з площиною симетрії роликів електроду. Для

рівномірного прогрівання обох ріжучих кромки електрод повинен щільно прилягати до деталей (з відхиленням не більше 0,05 ... 0,08 мм).

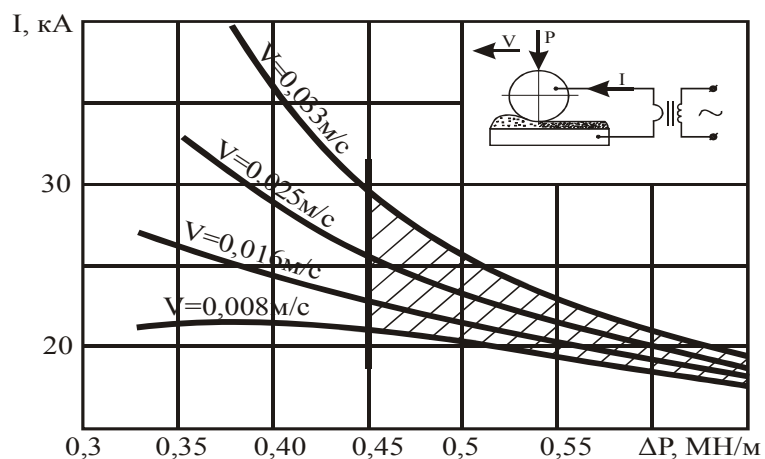


Рис. 9 – Регулювальна характеристика процесу електроконтактного припикання:
 $\sigma_{\text{зм}} = 150 \dots 180 \text{ МПа}$;
 HRC = 51 ... 53

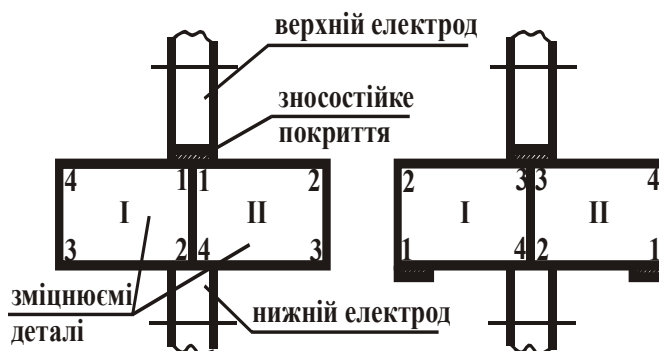


Рис. 10 – Схема нанесення покриття на дві ріжучі кромки

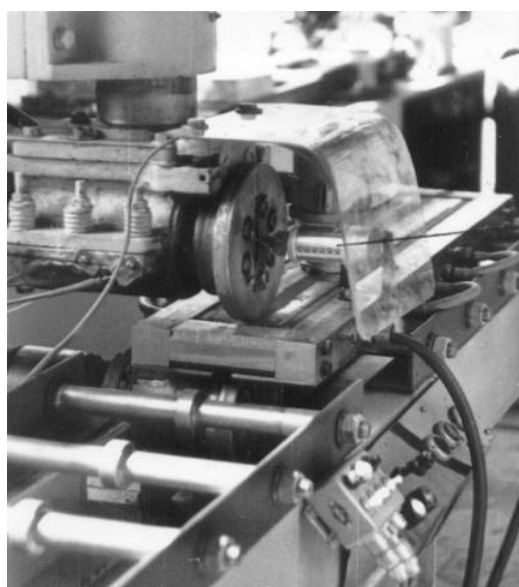


Рис. 11 – Електроконтактне припикання покриття на ножи подрібнюючого барабану

2. Нанесення порошкової шихти (ПГ-С1 + 40 ... 50 % ФХ-800). Шар порошку наноситься в місці стику шириною, що дорівнює подвоєній ширині ріжучої кромки – 14 мм. Товщина шару порошку при $d_1/d_2 = 0.2 \dots 0.5$ складала 1,6 ... 1,8 мм.

3. Прокатка порошкового шару з одночасним пропусканням електричного струму роликовим електродом в рамці-касеті. Режими: $I = 16 \dots 20$ кА, $\Delta P = 0,55 \dots 0,6$ МН/м, $V = 0,01 \dots 0,016$ м/с, $t_u = t_n = 0,04$ с.

4. Повернення рамки-касети в вихідне положення. Гаряча прокатка: $I = 7 \dots 8$ кА, $\Delta P = 0,8 \dots 0,99$ МН/м, $V = 0,008 \dots 0,01$ м/с, $t_u = 0,02$ с, $t_n = 0,04$ с.

При зміцненні двох ріжучих кромок припикання здійснювалось по схемі, яка представлена на рис. 10.

Для нанесення порошкового покриття на плоскі деталі (наприклад, ножі і протиріжучі бруски комбайна) можна використовувати машину для шовного зварювання. Порошок вільно насипають (із бункера) на поверхню, що зміцнюється, далі деталі пропускають через ролики-електроди одночасно з подачею на них імпульсів електричного струму силою до 25 ... 30 кА та напругою 1,5 ... 6 В (рис. 11).

Висновки

При виборі методу зміцнення і відновлення шляхом використання зносостійких покриттів враховували використання безвідходних та маловідходних технологій. На основі проведених досліджень було визначено, що серед методів нанесення покриттів перевагу слід віддати електроконтактному припиканню – методу, який використовує теплову енергію, що виділяється електричним струмом. Покриття, отримані цим методом має міцність зчеплення 180 - 220 МПа і щільність 96 - 98 %. Електроконтактне припикання порошкових покриттів характеризується незначними енерговитратами, малою зоною термічного впливу, високою продуктивністю.

Причиною зносу традиційних покриттів є їх локальне перенапруження. З метою усунення цього недоліку було запропоновано наносити покриття не суцільними, а дискретними. Мета нанесення покриття дискретної структури ЕКПП – поряд з високою щільністю і адгезійною міцністю забезпечити мінімальний рівень напружено-деформованого стану покриття під впливом експлуатаційних навантажень. Моделювання покриттів дискретної структури при ЕКП дозволило вибрати геометричні параметри дискретної поверхні, матеріал і оптимальні режими нанесення покриття.

На основі експериментальних досліджень та використання математичного моделювання проведено комплексну оцінку впливу основних технологічних параметрів (тиску, струму, швидкості спікання) електроконтактного припикання порошоків на фізико-механічні властивості покриттів (адгезійна міцність і довговічність). Багатовимірний експеримент з певною зміною цих параметрів дозволив оцінити вплив кожного з них на властивості покриттів і виявити ефекти взаємодії. Зроблено висновок, що для поліпшення фізико-механічних властивостей покриттів, що одержуються, доцільно використовувати всі три технологічні параметри процесу.

Література

1. Ярошевич В.К., Верещагин В.А., Гафо Ю.Н. Разработка технологии электроконтактного упрочнения деталей сельскохозяйственных машин. – В кн.: Технологическое обеспечение ресурса и надежности машин: Тез. Всесоюз. научн. -техн. конф., М.: ЦНТО Машпром, 1980. – 198 с.
2. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры /Б.А. Ляшенко, А.А. Мовшович, А.И. Долматов // Технологические системы – 2001. – № 4. – С. 17-25.
3. Ляшенко Б.А. Восстановление деталей машин дифференциальными покрытиями дискретной структуры / Б.А. Ляшенко, О.А. Розенберг, В.В. Ермолаев и др. // Тяжелое машиностроение – 2001. – № 2. – С. 21-23.
4. Лопата Л.А. Получение износостойких дискретных покрытий электроконтактным припеканием/ Л.А. Лопата, Б.А. Ляшенко, В.И. Калиниченко, Ю.В. Волков, Т.В. Ворона // Проблемы трения и изнашивания: науч. - техн. сб. – Киев: НАУ, 2009. – № 51. – С. 139–148.

Надійшла в редакцію 17.12.2018

Dudan A.V., Solovykh Ye.K., Volkov Y.V., Katerinch S.Ye., Solovykh A.Ye., Shevchenko D.V. **Technological options for improving the wear resistance of the knives of the chopping drum of the combine by electrical contact welding of coatings.**

On the basis of the studies conducted, it was determined that among the methods of applying coatings, preference should be given to the method of electrocontact welding, which uses thermal energy emitted by electric current. Electrocontact powder coating is characterized by low energy consumption, a small heat-affected zone, high performance, adhesion strength and density.

The reason for the wear of traditional coatings is their local overstrain. In order to eliminate this drawback, it was proposed to apply a coating not solid, but discrete. The coating of a discrete structure by electrocontact welding allows, along with high density and adhesive strength, to ensure a minimum level of stress-strain state of the coating under the influence of operating loads. Simulation of the coatings of a discrete structure during electrocontact sintering allowed choosing the geometrical parameters of a discrete surface, material and optimal coating application modes.

On the basis of experimental studies and using mathematical modeling comprehensive assessment of the impact of major technological parameters (pressure, current, speed of sintering) of the electrocontact sintering process of powders on physical and mechanical properties of the coatings (adhesion strength and durability) is given. Multivariate experiment with a certain variation of these parameters allowed us to estimate the impact of each of them on the properties of the coatings and to identify the effects of the interaction. It is concluded that in order to improve the physical and mechanical properties of the resulting coatings is advisable to use all three complex technological parameters of the process.

Key words: discrete coating, electrocontact sintering, optimization, durability, porosity, technological parameters.

References

1. Iaroshevich V. K., Vereshagin V. A., Gafu Y. N. Razrabotka tecgnologii elektrokontaktного uprochneniya detaley selskohoziastvennyh mashyn: Tez. Vsesoyzn. Nauchn.-techn. konf. M. ZNTO Mashprom, 1980. 198s.
2. Liashenko B. A. Uprochniyashie pokrytiia diskretnoy struktury. B. A. Liashenko A. Ia. Movshovich, A. I. Dolmatov. Teshnologicheskie sistemy. 2001. №4. S. 17-25.
3. Liashenko B. A. Vosstanovlenie detaley machyn differencial'nymi pokrytiami diskretnoi struktury. B. A. Liashenko, O. A. Rozenberg, V. V. Ermolaev I dr. Tz;oleo mashinostroenie. 2001. №2. S. 21-23.
4. Lopata L. A. Poluchenie iznosostoykikh diskretnyh pokrytiiy elektrokontaktным pripekaniem. L. A. Lopata, B. A. Liashenko, V. I. Kalinichenko, Y. V. Volkov, T. V. Vorona. Problemy treniia I iznashyvaniia: nauch. teshn. sb. Kiev: NAU, 2009. №51. S. 139-148.