

ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ З ГРАДІЄНТНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

¹Вінницький національний технічний університет

В статті запропоновано технологію нанесення зносостійких покриттів з використанням екзотермічних ефектів, яка дозволяє забезпечити фізико-механічні властивості поверхонь деталей машин, що змінюються за потрібними закономірностями від поверхні до серцевини.

ВСТУП

Необхідність виготовлення деталей з матеріалів, що забезпечують різні властивості для окремих робочих поверхонь та певний закон їх зміни в глибину, зумовлена складними процесами, що супроводжують весь життєвий цикл машини. Переважно ці необхідні властивості є антагоністичними, а технічні вимоги до поверхонь можуть мати значний діапазон розсіювання. Розглянемо, наприклад, типовий вал редуктора, ескіз якого показано на рис. 1.

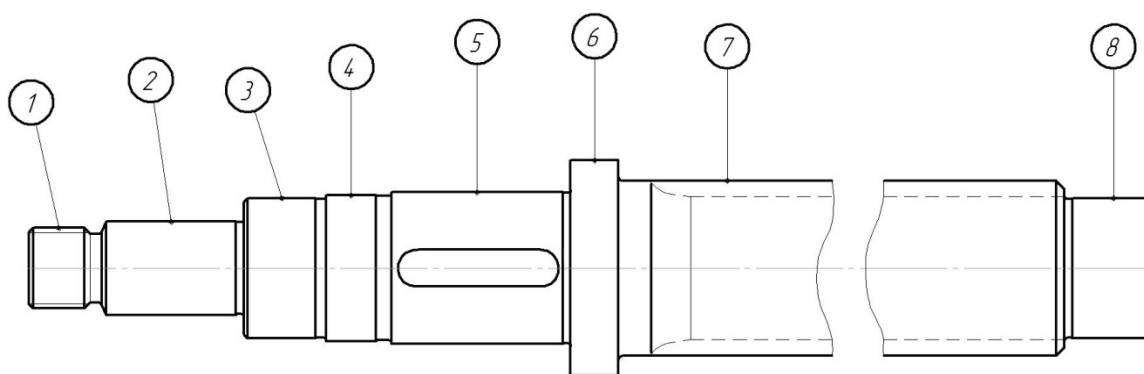


Рисунок 1 – Приклад деталі

Основні робочі поверхні вала пронумеровані від 1 до 8. Різьбова поверхня 1 призначена для осьового фіксування шестерні, що встановлюється на ступені 2 (основна руйнівна дія на поверхню – вібрації). На поверхні 2 за допомогою посадки з натягом встановлюють зубчасте колесо, яке номінально нерухоме відносно вала (основна руйнівна дія на поверхні – фретинг, знакозмінні навантаження в зоні з'єднання). Поверхні 3 і 8 використовуються для встановлення підшипників кочення з рухомим внутрішнім кільцем (основна руйнівна дія на поверхні – тертя ковзання). Поверхні 4 та 6 є вільними. На ступені 5 за допомогою шпонки встановлюють зубчасте колесо (основна руйнівна дія на поверхні – фретинг та ударні навантаження на бічні поверхні шпонкового паза). На поверхні 7 встановлюють блок шестерень, які мають можливість переміщуватись вздовж осі вала (основна руйнівна дія на поверхні – тертя ковзання та ударні навантаження на бічні сторони шліцьових пазів).

Забезпечити одночасно такі різні властивості робочих поверхонь деталі шляхом виготовлення з гомогенного матеріалу практично неможливо. Результатом компромісу, на який доводиться йти, є різна довговічність окремих поверхонь. У цьому випадку деякі поверхні через певне напрацювання вже повністю зношені або на них виникли втомні пошкодження, а інші ще мають значний залишковий ресурс. Не тільки підвищити довговічність деяких поверхонь деталі, а й забезпечити одночасний граничний стан (знос) усіх робочих поверхонь, є головним завданням машинобудування.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для розв'язання такого завдання потрібно задіяти весь арсенал інженерії поверхні. Потужною зброєю цього арсеналу є технології нанесення функціональних покриттів. Але особливо важко забезпечити градієнтність властивостей матеріалу поверхні за потрібним законом, що диктується особливостями функціонування поверхні, середовищем тощо. Складно, наприклад, забезпечити збільшення міцності або твердості від поверхні вглиб матеріалу. Адже переважна більшість методів найбільше зміцнює поверхню, а вглиб міцність та твердість зменшуються. Застосування покриттів, що мають градієнт властивостей, складу та структури по товщині, дозволяє оптимізувати їхні

експлуатаційні характеристики, забезпечити необхідний ресурс роботи. Плавний перехід по твердості та інших фізико-механічних характеристиках від покриття до основного матеріалу заготовки (основи) сприяє їх міцному з'єднанню, підвищенню загальної міцності деталі. Створення та регулювання такої структури можливе при використанні шаруватих екзотермічних сумішей. Суть запропонованого технологічного процесу полягає в тому, що на поверхню заготовки в певній послідовності наносяться та фіксуються [3] шари з порошкових сумішей на основі карбідотворних металів та вуглецевих матеріалів: волокон, фулеренів, графенів, нанотрубок тощо (рис. 2), які підігріваються до температури ініціювання екзотермічної реакції синтезу карбідів з формуванням покриття. Зміна пропорцій компонентів дозволяє змінювати фізико-механічні властивості шарів покриття в широких межах.

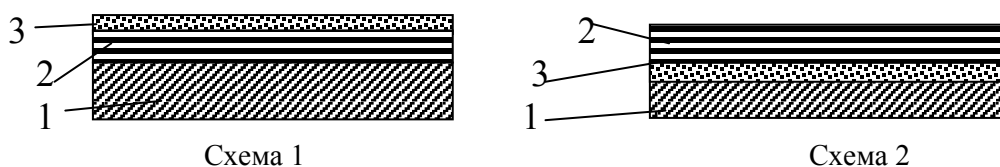


Рисунок 2 – Схеми нанесення шарів для формування металокарбідного покриття:
1 – основа; 2 – вуглецевий матеріал; 3 – порошки карбідотворних металів

В цій роботі досліджено вплив схеми нанесення шарів з вихідних компонентів (схема 1 – «основа–вуглецевий матеріал–порошок металу»; схема 2 – «основа–порошок металу–вуглецевий матеріал») на властивості покриттів, одержаних при підігріванні до температури 1100 ± 50 °С, їх структуру, мікротвердість окремих складових. Мікротвердість визначалась на різній глибині від поверхні покриттів та в перехідній зоні з'єднання з основою. Мікротвердість визначали на приладі типу ПМТ-3 при навантаженні 0,98 Н. Результати досліджень подано в таблиці 1.

Отримані покриття мають гетерогенну структуру з різним ступенем диференційованості та неоднорідності. У їх складі матрична фаза (це може бути карбідна евтектика, тверді розчини на основі тугоплавких металів, заліза та легувальних додатків) і структурно вільна карбідна фаза.

Результати дослідження мікротвердості сформованих покриттів показано на рис. 3–4. Вони свідчать, що її значення по глибині може бути практично постійним або змінюватись в залежності від схеми укладання шарів.

Таблиця 1 – Дані про властивості покриттів та їх окремих складових

Метал	Масова частка вуглецю	Товщина покриття, мм	Схема нанесення	Структура покриття	Мікротвердість, ГПа
Cr	0,14–0,16	1,5–2,5	1	Карбіди (Cr_7C_3), (Cr_3C_2), твердий розчин Cr–Fe	10,0–15,0 4,0–5,0
Cr	0,14–0,16	1,5–2,0	2	Евтектика : карбіди (Cr_3C_2), (Cr_7C_3). Твердий розчин Cr–Fe	8,0–15,5
W	0,25–0,27	0,5–0,8	1–2	Карбіди (WC), (W_2C) Тв. розчин	10,0–15,5

Максимальні значення мікротвердості зміцнюючої карбідної фази покриття системи Cr–C, нанесеного за схемою 1, знаходяться в середніх шарах. При наближенні до перехідної зони з підкладкою та в поверхневих шарах покриття мікротвердість зменшується. В цілому по глибині покриття мікротвердість карбідної фази коливається в межах від 10,5 до 15,0 ГПа.

На рис. 4 показано розподіл значень аналогічних вимірювань мікротвердості для покриття системи Cr–C, сформованого при чергуванні шарів суміші за схемою 2. Мікροструктура покриття більш однорідна, ніж за альтернативною схемою, про що свідчать також результати вимірювань мікротвердості. Покриття має дещо більший діапазон розсіювання мікротвердості карбідної фази (8,0–15,5 ГПа), що не дозволяє однозначно розмежувати області карбідної фази та матриці. Максимальна мікротвердість досягає 14,0–15,0 ГПа; а в перехідній зоні товщиною 0,1–0,2 мм вона падає до 5,0–4,0 ГПа. Фазовий склад покриття – карбід Cr_7C_3 та твердий розчин Cr–Fe. Структура є в цілому однорідною, щільною, литою, з колоніями тонкодиференційованої евтектики та крупними карбідами.

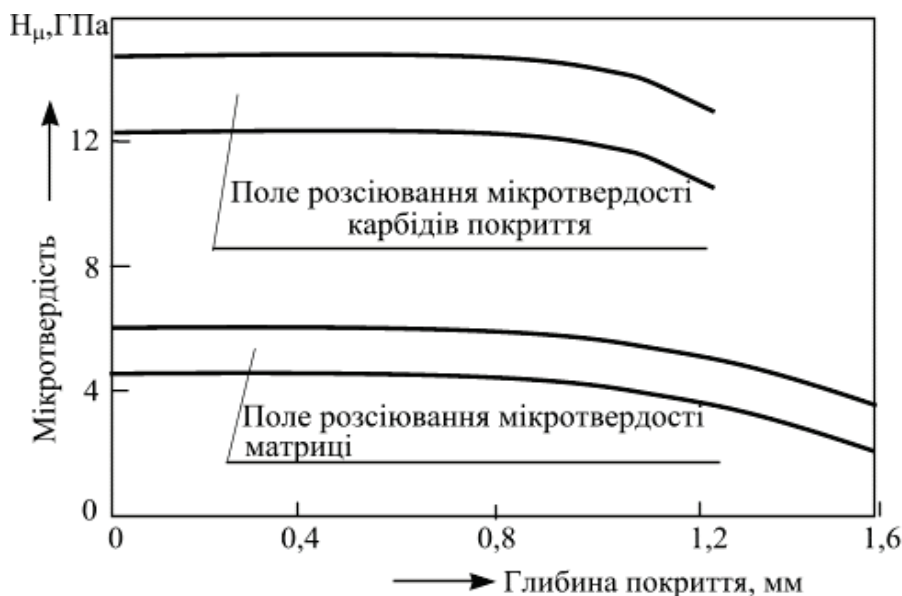


Рисунок 3 – Мікротвердість покриття системи Cr–C, сформованого з нанесенням шарів за схемою 1

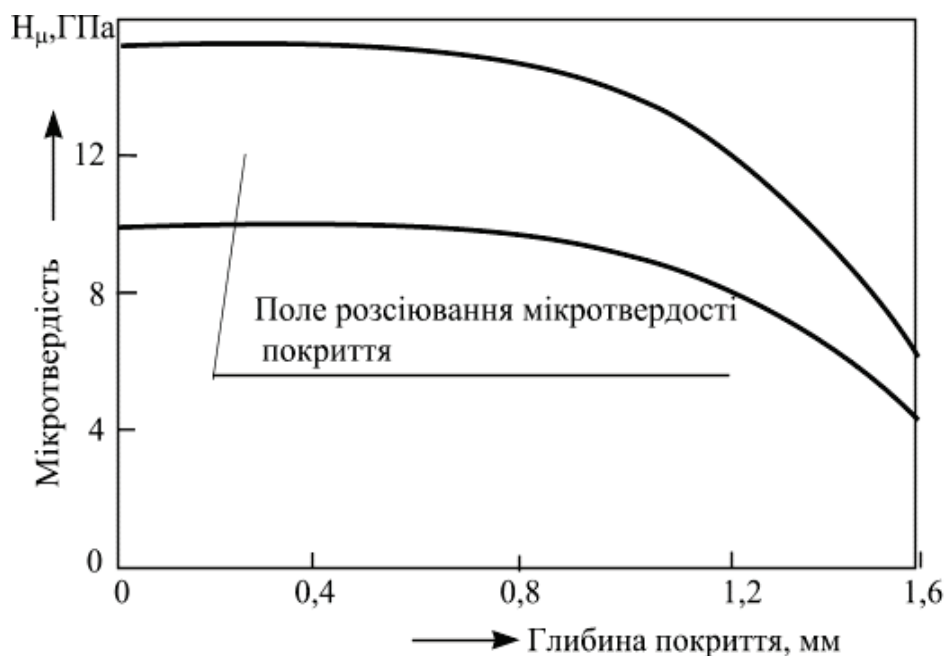


Рисунок 4 – Мікротвердість покриття системи Cr–C, сформованого з нанесенням шарів за схемою 2

Термодинамічний аналіз, проведений в роботі [2], показав, що в суміші системи Cr–C при підігріванні до 1050–1100 °C можливе утворення рідкого розплаву евтектичного складу. Використання схеми 1 нанесення шарів спричиняє утворення покриття на основі карбідної евтектики з порівняно рівномірною структурою (рис. 5а). Під час нанесення шарів за схемою 2 у формуванні покриття провідну роль відіграє залізовуглецевий розплав, який утворюється в результаті контактного плавлення «залізо–вуглець». Карбіди хрому, які при цьому утворюються, коагулюють з різних причин і тому утворюється неоднорідна структура (рис. 5б).

Однорідним за мікротвердістю є покриття системи W–C. Виділення окремих фазових складових цього покриття для визначення мікротвердості пов'язано з певними труднощами внаслідок їх високої дисперсності.

Тому виміряні значення мікротвердості мають досить велике поле розсіювання: від 10,0 до 15,0 ГПа (рис. 6). Покриття містить карбідну фазу WC та W₂C в матриці складу W–Fe. Поверхневий

шар підкладки дещо підплавлений. Перехідний шар має структуру, близьку до евтектоїдної сталі в результаті науглецювання поверхневого шару підкладки.

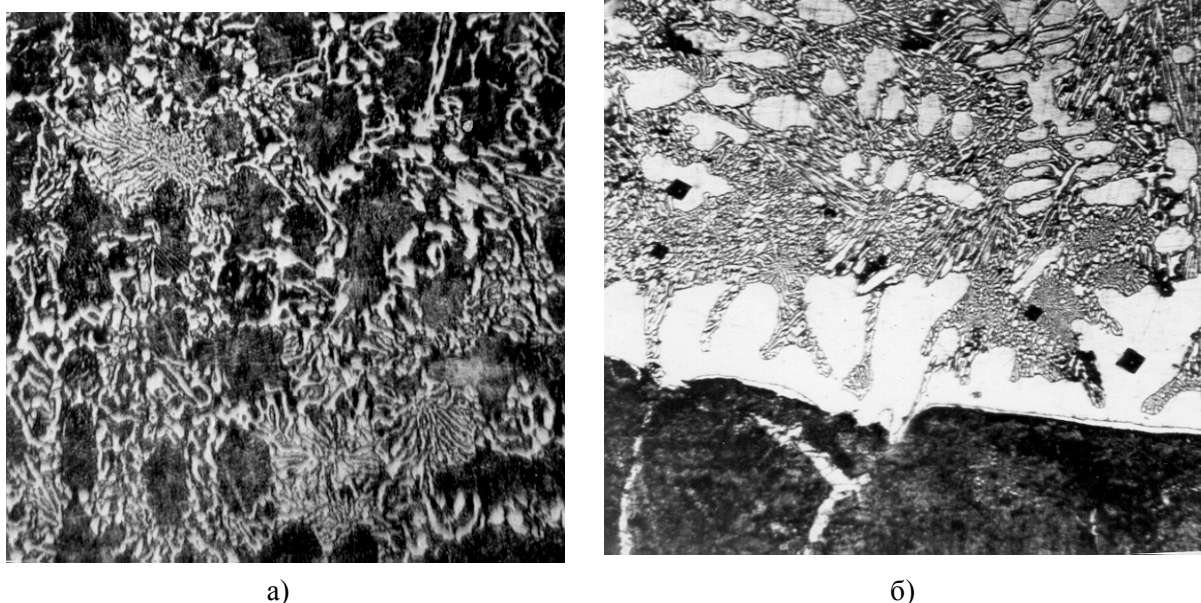


Рисунок 5 – Мікроструктури покриттів системи Cr–C, одержані при пічному підігріванні до 1100–1150 °С; $\times 100$: а) за схемою укладки шарів №1 (основа–порошок металу–вуглець); б) за схемою укладки шарів №2 (основа–вуглець–порошок металу)

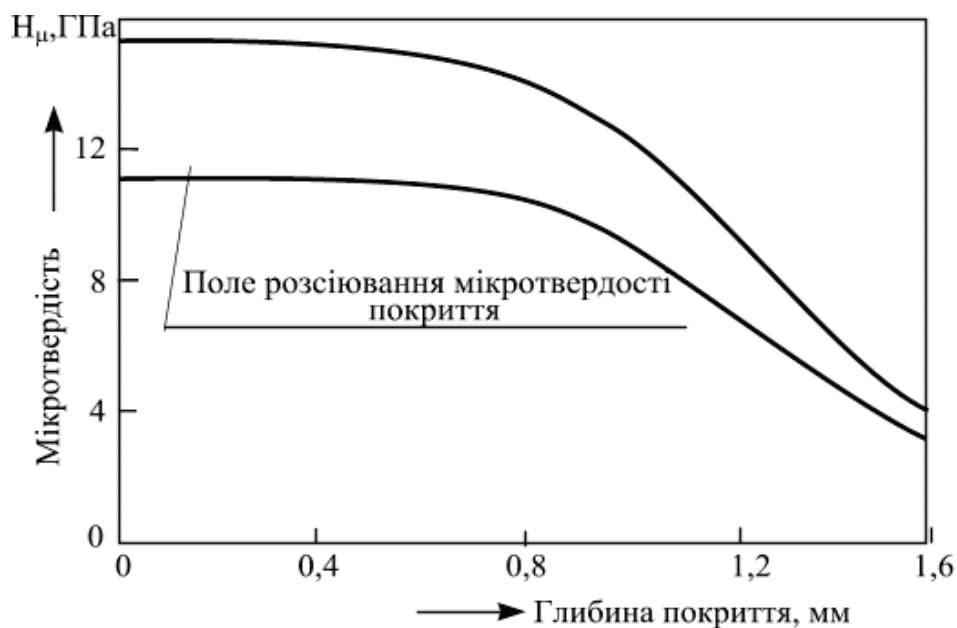


Рисунок 6 – Мікротвердість покриття системи W–C, сформоване з нанесенням шарів за схемою 1

Отримані результати свідчать, що залізо основи бере активну участь у формуванні покриття системи W–C, впливаючи на характеристики як матриці, так і зміцнювальної фази, особливо у зоні, що межує з підкладкою. Залізо утворює тверді розчини з вольфрамом та карбіди, впливаючи на властивості перехідної зони. Слід також відзначити, що вплив заліза збільшується при укладці шарів вихідних компонентів за схемою 1 (див. рис. 2). В цьому випадку на контакті основи з вуглецевим матеріалом в процесі синтезу утворюється рідка залізівуглецева евтектика, що добре змочує вольфрам та його карбіди і тому перехідна зона розширюється. Оптимальні умови карбідоутворення створені у тій частині нанесеного шару суміші, де співвідношення між компонентами відповідає стехіометричному. Проведені дослідження дозволили оцінити коректність методики

термодинамічного аналізу процесу нанесення покриттів з використанням екзотермічних сумішей, запропонованої в роботах [2, 3, 4].

В цій роботі розрахунок співвідношень між компонентами суміші, фазовим і хімічним складом продуктів реакції проводився з використанням рівнянь (1), (2).

Узагальнене рівняння хімічної реакції синтезу подамо у вигляді:

$$\sum_{i=1}^k n_i X_i = \sum_{j=1}^p m_j Z_j, \quad Z_j = \sum_{i=1}^k m_{ji} X_i, \quad (1)$$

де Z_j – j -та фаза сплаву – продукту синтезу; k – кількість компонентів X_i суміші; p – кількість фаз у продукті синтезу; n_i , m_j , m_{ji} – стехіометричні коефіцієнти в рівнянні реакції.

Рівняння теплового балансу системи

$$\sum_{j=1}^p m_j H_Z(T_{Ad}) = \sum_{j=1}^p \Delta H_{Z_j}(T_{Ad}) + \sum_{i=1}^k n_i H_X(T_n), \quad (2)$$

де T_{Ad} – температура синтезу; T_n – необхідна мінімальна температура підігрівання; L_{eB} – теплота плавлення продуктів реакції; v – частка рідкої фази), $\Delta H_{Z_j}(T_{Ad})$ – тепловий ефект реакції синтезу (утворення фази Z).

Термодинамічний аналіз процесів карбідоутворення в системі W–C показує, що карбідна фаза в ній за даних температурних умов може утворюватись лише шляхом твердофазного синтезу.

ВИСНОВКИ

1. Структура і властивості металокарбідних покриттів, сформованих з використанням екзотермічних сумішей системи Cr–C, визначаються ступенем проходження процесів евтектичного плавлення між основними компонентами суміші, тобто тепловиділенням у ній.

2. З суміші системи W–C покриття може бути сформоване лише в присутності залізівуглецевого розплаву, який утворюється або при контактному плавленні «залізо-вуглець» (схема 1), або при насиченні основи вуглецем через газову фазу до евтектичного складу.

3. Структура сформованих покриттів і характер перехідної зони залежать від схеми укладки шарів шихти. Для формування покриття з перехідною зоною, яка має плавний перехід по мікротвердості від покриття до основи, рекомендується використовувати схему укладки шарів «основа–вуглецевий матеріал–металеві порошки». Покриття з більш високою інтегральною твердістю дозволяє сформувати використання укладки шарів за схемою «основа–металеві порошки–вуглецевий матеріал».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Savulyak V. I. Formation process of wear resistant coatings with using of exothermal mixtures / V. I. Savulyak, G. A. Chernaya // Buletinul Institutulul Politehnic din IASI. – 2000. – Т. XLVI(L), F. 3–4. – Р. 107–112.
2. Савуляк В. І. Деякі питання термодинаміки систем $Fe - C - i$, де i – третій сильно ліквуючий компонент / В. І. Савуляк // Вісник ТУП. – 2001. – № 1. – С. 25–29.
3. Савуляк В. І. Синтез зносостійких композиційних матеріалів та поверхневих шарів з екзотермічних компонентів / В. І. Савуляк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2002. – 161 с.
4. Савуляк В. І. Побудова та аналіз моделей металевих сплавів / В. І. Савуляк, А. О. Жуков, Г. О. Чорна. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 200 с.

REFERENCES

1. Savulyak V. I. Formation process of wear resistant coatings with using of exothermal mixtures/ V. I. Savulyak, G. A. Chernaya // Buletinul Institutulul Politehnic din IASI. – Т. XLVI(L), F. 3–4. – 2000. – Р. 107–112.

2. Savulyak V. I. Dejaki pytannja termodinamiki system $Fe - C - i$, de i – tretij silno likvujuchij component / V. I. Savulyak. Visnik TUP. – 2001, №1. – P. 25 – 29.

3. Savulyak V. I. Sintez znosostijkich kompozicijnych materialov i poverchnevich shariv z eozotermichnich componentov / V. I. Savulyak. Vinniza, Universum. –Vinniza, 2002. – 161 p.

4. Savulyak V. I. Pobudova i analiz modelei metalevich splaviv/ V. I. Savulyak, A. O. Zhukov, G. A. Chernaya. Vinniza, Universum–Vinniza, 1999. – 200 p.

V. I. Savulyak¹, V. V. Savulyak¹

ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ З ГРАДІЄНТНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропонована технологія нанесення металокарбідних покриттів з використанням екзотермічних порошкових сумішей дозволяє отримати змінні фізико-механічні властивості від робочої поверхні до серцевини деталі. Причому твердість та міцність можуть бути максимальними на поверхні, що необхідно для протидії абразивному зношуванню, або збільшуватись від поверхні, що бажано для протидії фретингу. Це дозволяє забезпечувати зносостійкі властивості і протидію втомі різних поверхонь деталі у відповідності до умов експлуатації та параметрів потоків енергії, що вони сприймають. Зміцнення деталей за такою технологією дозволяє вирівняти зносостійкість різних поверхонь та забезпечити оптимальну довговічність.

Ключові слова: градієнтні покриття; екзотермічний синтез; структура; карбіди; твердість; зносостійкість

Савуляк Валерій Іванович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: korsav84@gmail.com, +380963507247, Україна, 21021, м.Вінниця, вул В. Інтернаціоналістів, 3, к. 311.

Савуляк Віктор Валерійович, кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування ВНТУ, e-mail: vvs_81@mail.ru +380937539146, Україна, 21021, м.Вінниця, вул В. Інтернаціоналістів, 6, к. 39.

V. I. Savulyak¹, V. V. Savulyak¹

WEARPROOF COVERINGS WITH GRADIENT PROPERTIES

¹Vinnitsia National Technical University

The offered technology of drawing metallcarbide coverings with use of exothermic powder mixes allows to receive variable physico-mechanical properties from a working surface to a detail core. And the hardness and durability can be maximum on a surface that is necessary for counteraction to abrasive wear, or to increase from a surface that is desirable for counteraction to a fretting. It allows to provide wearproof properties and counteraction of fatigue of different surfaces of a detail in compliance with service conditions and parameters of streams of energy which they perceive. Hardening of details on such technology allows to level wear resistance of various surfaces and to provide optimum durability.

Keywords: gradient coverings; exothermic synthesis; structure; carbides; hardness; wear resistance

Savulyak Valery I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnitsia National Technical University, Head of the department of Technology improve durability, VNTU, e-mail: korsav84@gmail.com, +380963507247, Ukraine, 21021, Vinnitsia, 3, V. Internationalistiv St, apt. 311.

Savulyak Viktor V., Candidat of Sciences (Engineering), Ass. Professor of department of Machine-building and automation, Vinnitsia National Technical University, VNTU, e-mail: vvs_81@mail.ru, +380937539146, Ukraine, 21021, Vinnitsia, 6, V. Internationalistiv St, apt. 39.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ С ГРАДИЕНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

¹Винницкий национальный технический университет

Предложенная технология нанесения металлокарбидных покрытий с использованием экзотермических порошковых смесей позволяет получать переменные физико-механические свойства от рабочей поверхности к сердцевине детали. Причем твердость и прочность могут быть максимальными на поверхности, что необходимо для противодействия абразивному изнашиванию, или возрастать от поверхности, что желательно для противодействия фреттингу. Это позволяет обеспечивать износостойкие свойства и противодействие усталости разных поверхностей детали в соответствие с условиями эксплуатации и параметрами потоков энергии, которые они воспринимают. Упрочнение деталей по такой технологии позволяет выровнять износостойкость различных поверхностей и обеспечить оптимальную долговечность.

Ключевые слова: градиентные покрытия; экзотермический синтез; структура; карбиды; твердость; износостойкость

Савуляк Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, Винницкий национальный технический университет, заведующий кафедрой технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: korsav84@gmail.com, +380963507247, Украина, 21021, г.Винница, ул В. Интернационалистов, 3, к. 311.

Савуляк Виктор Валериевич, кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры технологии и автоматизации машиностроения ВНТУ, e-mail: vvs_81@mail.ru, +380937539146, Украина, 21021, г. Винница, ул В. Интернационалистов, 6, кв. 39.