

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ

В.Б.Тарельник, д.т.н., професор, Сумський національний аграрний університет

В.С. Марцинковський, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

Є.В.Коноплянченко, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

В.П. Яременко, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

Представлені результати досліджень параметрів якості поверхневих шарів, сформованих з твердих зносостійких та м'яких антифрикційних металів, нанесених на поверхню сталей методом електроерозійного легування (ЕЕЛ).

Постановка проблеми в загальному вигляді. Однією з найбільш важливих і актуальних проблем машинобудування є підвищення надійності важко навантажених деталей. Найбільш перспективне рішення цієї проблеми пов'язане з використанням технологічних методів, які забезпечують параметри якості поверхневого шару на рівні, що відповідає найбільшому підвищенню необхідної сукупності експлуатаційних властивостей.

Для забезпечення необхідної якості поверхневого шару в технологічний процес виготовлення деталі вводяться операції поверхневої оздоблювально-зміцнювальної обробки. У цей час існує велика кількість методів підвищення якості поверхонь деталей. Кожний з них має переважну область застосування, свою технологічну нішу, обумовлену комплексом і рівнем значень параметрів забезпечення якості несучого шару.

Простим і ефективним способом, підвищення надійності і збільшення довговічності деталей тертя, є метод електроерозійного легування (ЕЕЛ).

До основних особливостей ЕЕЛ відносять можливість використання в якості обробних матеріалів як чистих металів, так і їх сплавів, металокерамічних композицій, тугоплавких з'єднань і т.п.; локальну обробку поверхні – легування можна здійснювати в строго зазначених місцях не захищаючи при цьому іншу поверхню деталі; високу міцність зчеплення нанесеного матеріалу з основою; відсутність загального нагрівання деталі в процесі обробки; відсутність необхідності

спеціальної попередньої підготовки оброблюваної поверхні [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомий спосіб ЕЕЛ коли спочатку наносять шар покриття антифрикційним легкоплавким металом, обираючи із групи In, Sn, Cd, Pb. Потім на отримане покриття наносять шар зносостійкого високотвердого металу або його карбиду, обраного із групи Ti, V, W.

Даний порядок нанесення шарів покриття сприяє розплавлюванню спочатку нанесеного покриття з легкоплавкого металу при нанесенні другого шару, заповненню їм мікронерівностей і пор основного покриття. Кристалізація другого шару відбувається повільніше за рахунок акумулювання тепла розплавом легкоплавкого металу. Шорсткість поверхні знижується до значень $Ra = 0,6-0,8$ мкм. Одночасно підвищується зносостійкість поверхні в 3 – 6 рази. [2].

У результаті металографічних досліджень зразків зі сталі Р6М5, 07Х16Н6 і сталі 45 з комбінованими електроерозійними покриттями (КЕП) з'ясувалося, що використання в якості технологічного покриття легкоплавких металів, обраних із групи In, Cd, Sn, Pb при наступному їх ЕЕЛ зносостійкими тугоплавкими матеріалами, приводить до зниження не тільки шорсткості поверхневого шару, але й мікротвердості. Наприклад, на рис. 1 зображені структури поверхневого шару швидкорізальної сталі Р6М5 з різними КЕП: In + ВК8 (а), In + Т15К6 (б) і In + Cr (в).

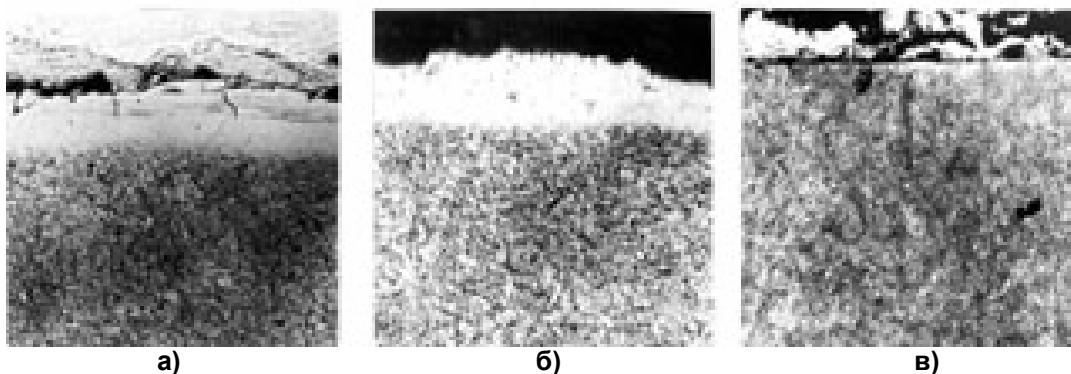


Рисунок 1 – Мікроструктура поверхневого шару сталі Р6М5 з КЕП:
а - In + ВК8, б - In + Т15К6, в - In + Cr, $\times 400$.

ЕЕЛ зразків здійснювалося на установці «УИЛВ - 8», при цьому Іп наносився на 1-му режимі (струм короткого замикання, $J_{кз} = 0,5...0,6A$; напруга холостого ходу, $U_{хх} = 38,5В$; ємкість накопичувального конденсатора, $C = 20мкФ$), а твердий сплав ВК8, Т15К6 і хром - на 5-му режимі ($J_{кз} = 2,0...2,2A$; $U_{хх} = 68,7 В$; $C = 300 мкФ$). Вимірювання мікротвердості покриття Іп + ВК8 показує, що області зі структурою типу дисперсної евтектики мають мікротвердість $H_{\mu} = 7850 МПа$, світлі, ті що не травилися ділянки – 6700 МПа. На їхньому тлі є світлі включення з H_{μ}

= 9700 МПа. При послідовності Іп + Т15К6 світлого, ті що не травилися поля мають мікротвердість $H_{\mu} = 6700 – 7800 МПа$, сірі поля – 6700 МПа, світлі включення - $H_{\mu} = 13000 – 16600 МПа$.

Результати вимірювання мікротвердості в залежності від заглиблення з поверхні КЕП занесені в табл. 1.

Аналогічна ситуація складається при нанесенні КЕП на нержавіючу сталь 07Х16Н6. На рис. 2 зображена структура поверхневого шару сталі 07Х16Н6 (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару (б) при формуванні КЕП Іп + W.

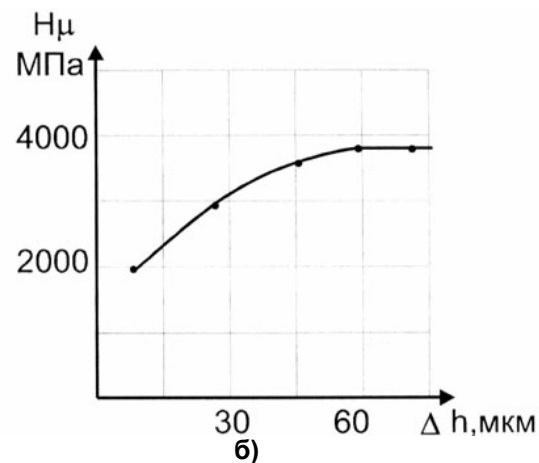
Таблиця 1

Результати металографічних досліджень КЕП на сталі Р6М5

Матеріал покриття	Товщина, мкм		Мікротвердість, H_{μ} , МПа		
	шару	перехідної зони	шару	перехідної зони	основи
Іп + ВК8	20	40	6400, 6400	7040, 8900, 8300	850
Іп + Т15К6	30	40	7800, 8300	8300, 8300, 8300	Така сама
Іп + Cr	20	30	5700, 7450	7850, 8000	Така сама



а)



б)

Рисунок 2 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару (б) КЕП Іп + W сталі 07Х16Н6, $\times 400$.

Легований шар майже не проглядається. У цьому випадку відбувається загартування з аустенитоутворенням безпосередньо зовнішнього шару основи, що приводить до істотного зниження мікротвердості. Потім твердість підвищується й уже на глибині 50...80 мкм відповідає твердості основного металу.

При ЕЕЛ сталі 45 карбідом вольфраму мікротвердість, по мірі заглиблення з поверхні зразка, при «кроці» вимірювання 10 мкм, розташовується в ряд: 12500, 11000, 4700, 3300, 2800 МПа, а при попередньому ЕЕЛ індієм, потім карбідом вольфраму - 2000, 2500, 3800, 2800 МПа.

Досвід показує, що мікротвердість КЕП, сформованих з використанням в якості технологічного покриття не тільки Іп, а й таких легкоплавких металів, як Cd, Sn, Pb, недостатньо висока.

Відомо [1], що при ЕЕЛ легкоплавких металів і їхніх сплавів приріст ваги катода (деталі) весь період обробки залишається негативним.

У нашому випадку, у результаті ЕЕЛ сталеві основи легкоплавким металом, на катоді відбувається взаємодія рідких фаз матеріалу елект-

родів, що сприяє встановленню між ними хімічному зв'язку та розвитку об'ємних процесів самодифузії та гетеродифузії, утворенню інтерметалідів, сплавів, псевдосплавів, механічних сумішей і т.п. Як правило, на поверхні, знову утворений шар складається з матеріалу анода з поступовим зниженням концентрації по мірі заглиблення. Тому, наступне легування знову утвореного шару з легкоплавкого матеріалу зносостійким більше тугоплавким матеріалом утруднено самою фізикою процесу ЕЕЛ.

Так як що процес ЕЕЛ відбувається через рідку ванну, то для здійснення стабільного масопереносу зносостійкого тугоплавкого матеріалу необхідно, щоб він протікав при режимах легування, достатніх для розплавлення раніше нанесеного шару з легкоплавкого матеріалу.

Звідси виходить, що мікротвердість КЕП значною мірою залежить від кількості м'якого, більш легкоплавкого матеріалу в технологічному підшарі (початковому нанесеному шарі з м'якого, антитрифційного металу).

Формулювання цілей статті (постановка

завдання).

Метою роботи є вибір режимів ЕЕЛ, що забезпечують найбільш раціональну кількість технологічного покриття.

Зважаючи на те, що найбільш стабільні результати по масопереносу забезпечуються при ЕЕЛ металевих поверхонь міддю [3], металографічні дослідження з визначення впливу кількості м'якої складової в КЕП на мікротвердість поверхневого шару проводилися з використанням в якості технологічного, підшару з міді.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Методика досліджень. З метою визначення впливу на структуру формованих покриттів найбільш раціональної кількості м'якої складової (міді) у КЕП, на зразки зі сталі 45 (розміром 10x10x10 мм), термооброблених до твердості 2800 МПа на різних режимах легування наносилася мідь. ЕЕЛ зразків здійснювалося на установці «УИЛВ - 8». Час легування зразків становив 1 хв/см². При цьому зразки зважувалися на аналітичних вагах «ВЛА-200» до й після легування. Після цього, другим шаром, на всі зразки на 5-му режимі ($J_{кз} = 2,0...2,2$ А; $U_{кx} = 68,7$ В; $C = 300$ мкФ) наносився зносостійкий тугоплавкий матеріал – твердий сплав ВК8. Потім на приладі профілографі-профілометрі мод. 201 заводу «Калібр» вимірялася шорсткість сформованих покриттів, приготувалися шліфи й проводилися металографічні дослідження структури на оптичному мікроскопі «Неофот-2». Розподіл мікротвердості по глибині поверхневого шару вимірювався на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавненням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н.

Для якісної оцінки зносостійкості КЕП, застосовуваних для підвищення експлуатаційних характеристик поверхневих шарів деталей, використовували експресний метод, що здійснювався за допомогою установки, змонтованої на базі вертикально-свердлильного верстата моделі 2М-112. Лінійне зношування зразків, розміром 15x15x8 мм із КЕП, що працюють у парі із фторопластом 4К-20, визначався методом штучних баз по різниці глибин відбитків, нанесених на приладі Віккерса. Зразки по черзі встановлювалися в пристосуванні 3 (рис. 3), що забезпечувало самовстановлення площини зразка щодо площини торця контртіла. Контртіло являє собою циліндричний зразок (рис. 4) із фторопласта 4К-20. Він закріплюється в шпинделі верстата. Установка містить реле часу, що фіксує час випробувань і реверс обертання шпинделя. Навантаження на контртіло становить 100 Н.

Для оцінки зношування на зразок по шаблону наноситься чотири заглиблення шляхом вдавнення індентору твердоміра Віккерса або ПМТ-3. Заглиблення розміщені по колу середнього діаметру контртіла в діаметрально протилежних сторонах.

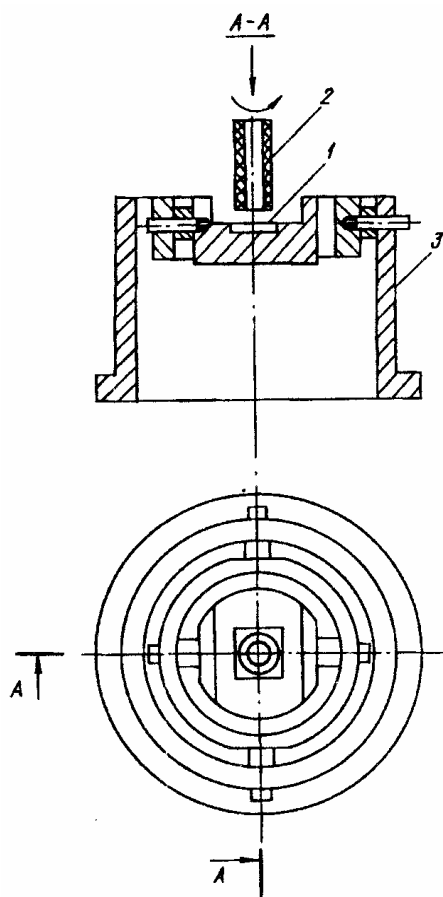


Рисунок 3 – Пристосування для випробування зразків на зносостійкість: 1 - зразок для випробування; 2 - контртіло; 3 - пристосування для випробування.

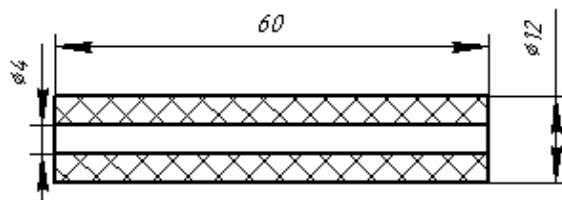


Рис. 4. Контртіло для випробувань зразків на зносостійкість.

Для визначення величини зношування до, і після випробувань, вимірювали довжину діагоналі поглиблень, розташованих перпендикулярно до вектора швидкості руху. Середнє лінійне зношування зразка визначали відповідно до формули (1).

Середня величина лінійного зношування, мкм:

$$\Delta h_{cp.} = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4}{4}, \quad (1)$$

де $\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3, \Delta h_4$ – лінійне зношування зразків відповідно в кожній із чотирьох точок, мкм. Час випробувань зразків на один кілометр шляху при 2500 об/хв. шпинделя становить 16 хв.

Результати досліджень. Режими легування та приріст ваги зразків наведені в табл. 2.

Приріст ваги зразків зі сталі 45 легованих міддю

Ємкість накопичувального конденсатора, С, мкФ	Струм короткого замикання, J _{кз} , А	Напруга холостого ходу, U _{хх} , В	Приріст ваги зразків, г · 10 ⁴ /см ²
20	0,2-0,4	38,5	28,46
20	0,5-0,6	56,1	51,26
300	1,6-2,0	56,1	115,3
300	2,0-2,2	68,7	156,3

У табл. 3 наведені результати вимірювання глибини шару та дифузійної зони, а також мікротвердості та шорсткості сформованих покриттів.

Для порівняння на один зі зразків (див. табл. 3) на сталь 45 наносили КЕП у послідовності: твердий сплав ВК8 + С_u, причому твердий сплав наносився на 5-му режимі (J_{кз} = 2,0...2,2 А; U_{хх} = 68,7В; С = 300 мкФ), а мідь - на 3-му режимі (J_{кз}

= 0,5...0,6 А; U_{хх} = 56,1В; С = 20 мкФ).

Кращими показниками по шорсткості та мікротвердості поверхневого шару дають КЕП з підшаром з міді, нанесеному на 3-му режимі (J_{кз} = 0,5...0,6 А; U_{хх} = 56,1В; С = 20 мкФ) і основного покриття із твердого сплаву ВК8, нанесеного на 5-му режимі (J_{кз} = 2,0...2,2А; U_{хх} = 68,7В; С = 300 кФ).

Таблиця 3.

Результати металографічних досліджень КЕП на сталі 45 з різним складом міді

Приріст ваги зразків, г · 10 ⁴ /см ²	Товщина, мкм		Мікротвердість, МПа		Шорсткість, Ra, мкм
	шару	перехідної зони	шару, до	перехідної зони	
28,46	10-20	20	4480	2200-2600	1,8
51,26	15-25	25	10490	2300-3570	0,5
115,3	5-10	10	6420	2000-3700	0,6
156,3	10-20	20	4790	1920-2300	0,8
23,17*	15-30	5-10	2500, 11500	3300-4300	2,4

* Покриття з міді наносилося другим шаром після твердого сплаву ВК8.

Основні показники процесу ЕЕЛ (продуктивність, товщина шару, рівномірність, і ін.) визначаються енергією розряду W_u, під якою розуміється енергія, накопичена в робочому конденсаторі, яка визначається по формулі

$$W_u = k \cdot \frac{C \cdot U^2}{2}, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт, що враховує втрати в ланцюзі (k = 0,5-0,6);

С - ємкість накопичувального конденсатора;

U - напруга холостого ходу.

Таким чином, з огляду на значення коефіцієнта втрат у ланцюзі, мідь наносилася при енергії розряду W_u = 0,016-0,019 Дж, а твердий сплав ВК8 при W_u = 0,354-0,425 Дж.

При нанесенні спочатку тугоплавкого покриття, потім міді мікротвердість поверхневого шару невелика (H_ш = 2300 - 2500 МПа). Глибина поширення шару з такою мікротвердістю - до 30 мкм. Потім, по мірі заглиблення, знаходиться шар товщиною 5 - 10 мкм з більш високою мікротвердістю (H_ш = 8000...12300 МПа) і далі - перехідна зона з мікротвердістю H_ш = 3300...4300 МПа. Рідко на поверхні покриття зустрічаються ділянки з високою мікротвердістю (до H_ш = 11500 МПа). Це, найімовірніше, мікротвердість вершин виступів раніше нанесеного покриття - твердого сплаву ВК8. Шорсткість КЕП, сформованих за схемою ВК8 + С_u, досягає 2,4 мкм.

Таким чином, з метою підвищення мікротвердості та зниження шорсткості в поверхневому шарі деталей що змінюються, спочатку необхідно наносити шар «технологічного» покриття м'яким, антифрикційним металом міддю, а потім - шар із твердого зносостійкого металу або його

карбіду, із групи Ті, V, W. Причому, мідь наноситься на 3-му режимі (W_u = 0,016-0,019 Дж), а зносостійкий високотвердий метал - на 5-му режимі (W_u = 0,35-0,43 Дж).

Металографічні дослідження КЕП по пропонованому способу показують, що їх мікротвердість перебуває на порівняно високому рівні (8400...12300 МПа). Слід зазначити, що на поверхні покриття знаходиться плівка міді товщиною 1...2 мкм. Всі покриття, сформовані пропонованим способом, мають характерний колір міді. Наявність міді як на поверхні, так і по глибині покриття підтверджується рентгеноструктурним аналізом.

Мідь має більш низьку температуру плавлення (T_{пл.} = 1083⁰С), чим метали основного покриття (T_{пл.} = 1672...3410⁰С). У процесі кристалізації утвориться структура типу механічної суміші із частковим утворенням твердого розчину. Металографічні дослідження КЕП, нанесених на сталь 45 по пропонованому способу наведені в табл. 4.

Даний порядок нанесення шарів покриття сприяє розплавленню спочатку нанесеного покриття з більше легкоплавкого металу міді при нанесенні другого шару, заповненню їм мікронерівностей і пор основного покриття. Кристалізація другого шару відбувається повільніше за рахунок акумулювання тепла розплавом міді, при цьому шорсткість поверхні знижується до Ra = 0,5...0,9 мкм.

Для відпрацювання технології нанесення КЕП і перевірки їхньої зносостійкості використовувалися зразки зі сталі 45 з покриттями із твердих зносостійких і м'яких антифрикційних матеріалів, що наносилися у різній послідовності. Результати випробувань занесені в табл. 5.

Таблиця 4.

Результати металографічних досліджень КЕП

Матеріал покриття	Мікротвердість, МПа		Шорсткість поверхні Ra, мкм
	шару	Перехідної зони	
Без покриття (сталь 45)	2800	2800	0,23
Ti	10800, 9600	3700, 3100	2,81
Ti + Cu	2500, 2500, 9500	3600, 3120	2,80
Cu + Ti	10500, 10500	4800, 3700	0,90
V	8500, 7300	3800, 3300	3,19
V + Cu	2300, 2300, 8200	3800, 3300	2,80
Cu + V	8400, 7800	3900, 3300	0,80
W	9500, 8200	3800, 3400	3,26
W + Cu	2500, 2500, 8100	4300, 3600	3,14
Cu + W	9500, 9100	3700, 3200	0,65
Ti	12000, 11500	3900, 3300	3,07
Ti + Cu	2500, 2500, 9500	3600, 3400	2,91
Cu + Ti	12000, 11500	3900, 3300	0,82
VC	10000, 9000	4200, 3200	3,16
VC + Cu	2400, 2400, 9000	4200, 3400	2,80
Cu + VC	10500, 9600	3900, 3200	0,62
WC	12500, 11000	4700, 3300	2,96
WC + Cu (а)	2350, 2350, 12300	4190, 3300	2,81
WC + Cu (б)	11500, 10490	4760, 2860	2,81
Cu + WC	12300, 10490	3570, 3300	0,48
In + WC	1970, 2500	3860, 3570	0,52
Pb + WC	2600, 3969	3700, 3300	0,56
Cd + WC	2300, 3800	3600, 3300	0,77
Sn + WC	2000, 3500	4200, 3100	0,59

Таблиця 5.

Зносостійкість зразків зі сталі 45 з КЕП

Матеріал покриття		Лінійне зношування (Δh) зразка за 320 хв випробувань, мкм		
основного*	Технологічного**	Без технологічного покриття	З наступним технологічним покриттям	З попереднім технологічним покриттям
Ti		***	***	2,4
V		***	***	2,6
W	In	***	***	1,2
TiC		***	***	2,5
VC		***	***	2,6
WC		***	***	2,2
Ti		***	***	4,8
V		***	***	4,6
W	Sn	***	***	4,3
TiC		***	***	5,1
VC		***	***	3,8
WC		***	***	4,2
Ti		***	***	1,4
V		***	***	1,7
W	Cd	***	***	0,9
TiC		***	***	1,2
VC		***	***	1,6
WC		***	***	1,3
Ti		***	***	3,8
V		***	***	4,6
W	Pb	***	***	3,2
TiC		***	***	2,8
VC		***	***	4,7
WC		***	***	3,3
Ti		***	***	0,9
V		***	***	0,8
W	Cu	***	***	1,2
TiC		***	***	0,82
VC		***	***	0,62
WC		***	***	0,8

* $J_{кз} = 2,0 \dots 2,2 \text{ A}$; $U_{xx} = 68,7 \text{ В}$; $C = 300 \text{ мкФ}$;** $J_{кз} = 0,5 \dots 0,6 \text{ A}$; $U_{xx} = 38,5 \text{ В}$; $C = 20 \text{ мкФ}$.*** одержати результати досліджень зносостійкості зразків не вдалося через їх високу шорсткість $Ra = 2,28 \dots 3,41 \text{ мкм}$ і, як наслідок, катастрофічного зношування контрзразка із фторопласта.

Висновки. Таким чином, до практичного застосування рекомендується спосіб електроерозійного легування, що включає нанесення зносостійкого, високотвердого покриття тугоплавкими металами або їхніми карбідами та антифрикційним покриттям з міді, який відрізняється тим, що з метою підвищення мікротвердості, зносостійкості

та зменшення шорсткості поверхні, спочатку наносять шар покриття з міді при енергії розряду $W_u = 0,016-0,019$ Дж, а потім шар покриття зі зносостійкого високотвердого металу або його карбіду, що обирається із групи Ti, V, W при енергії розряду $W_u = 0,354-0,425$ Дж.

Список використаної літератури:

1. Гитлевич А.Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М. – Кишинев: Штинца, 1985. – 196 с.
2. А. с. 1734968 СССР, В 23 Н 9/00. Способ электроэрозионного легирования / В.Б. Тарельник, Е.А. Коломыцев, Л.А. Иванов, А.Г. Марченко, В.И. Тарадонов, В.Ф. Руденко, Ю.А. Серобабин, Г.Н. Анисимов.-заявл. 20.09.88; опубл. 23.05.92, Бюл. № 19.
3. Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев комбинированным электроэрозионным легированием. / Тарельник В.Б. - Сумы, 2002.- МакДен.- 324 с.

Представлены результаты исследований параметров качества поверхностных слоев, сформированных из твердых износостойких и мягких антифрикционных металлов, нанесенных на поверхность стальных деталей методом электроэрозионного легирования (ЭЭЛ).

Presented the researches results of surface layer parameters of quality which generated from hard wearproof and soft antifrictional metals, and coating on a steel parts surface by a electroerosive alloying method (EEA).

Дата надходження в редакцію: 18.02.2012. р.
Рецензент: д.т.н., професор Кочмола М.М.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ

Е.В. Агеева, к.т.н., доцент, Юго-западный государственный университет, г. Курск
Е.В. Агеев, к.т.н., доцент, Юго-западный государственный университет, г. Курск

В статье представлены результаты исследования технологических свойств порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, которые позволили наметить перспективные области их практического применения.

Ключевые слова: *отходы твердых сплавов, электроэрозионное диспергирование, порошок, технологические свойства.*

Спеченные твердые сплавы имеют в современной технике очень большое значение. Основой большинства применяемых твердых сплавов является карбид вольфрама. Анализ исследовательских работ в области вольфрамсодержащих твердых сплавов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения вольфрама. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов твердых сплавов и их переработка. В отечественной и зарубежной промышленности в настоящее время применяют несколько методов переработки отходов твердых сплавов, которые в большинстве своем характеризуются крупнотоннажностью, энергоёмкостью, большими производственными площадями, малой производительностью, а также экологическими проблемами [1]. Одним из перспективных

методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и твердого сплава, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [2].

Широкое использование метода ЭЭД для переработки вольфрамсодержащих твердых сплавов в порошки с целью их повторного использования сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования порошков, полученных из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.