



УКРАЇНА

(19) UA (11) 48590 (13) U  
(51) МПК (2009)  
C25D 3/56  
C25D 5/10  
C25D 7/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ НІКЕЛЬ-МІДНОГО ПОКРИТТЯ НА МАГНІТ NdFeB

1

2

(21) u200909930

(22) 29.09.2009

(24) 25.03.2010

(46) 25.03.2010, Бюл.№ 6, 2010 р.

(72) МАЙЗЕЛІС АНТОНІНА ОЛЕКСАНДРІВНА,  
БАЙРАЧНИЙ БОРИС ІВАНОВИЧ, ТРУБНИКОВА  
ЛАРИСА ВАЛЕНТИНІВНА, ДЕВІЗЕНКО ОЛЕКСАНДР  
ЮРІЙОВИЧ(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"(57) Спосіб електроосадження нікель-мідного покриття на магніт NdFeB, при якому використовують розчини, що містять іони міді, нікелю і сполуки фосфору та амонію, який **відрізняється** тим, що ні-

кель-мідне покриття осаджують у вигляді мультишарового покриття (Cu-Ni)/(Ni-Cu) з електроліту, що включає іони нікелю і міді у співвідношенні  $[Ni^{2+}]:[Cu^{2+}] = 2 \div 10$ , сполуки фосфору та іони амонію у вигляді 180-450 г/дм<sup>3</sup> амонію пірофосфорнокислого, 4-5 г/дм<sup>3</sup> амонію хлориду й амонію гідроксиду до рН 8,2-8,7, при періодичній зміні струму від  $J_1 = 20-70$  А/м<sup>2</sup> протягом  $t_1 = 50-90$  с до  $J_2 = 50-200$  А/м<sup>2</sup> протягом  $t_2 = 20-50$  с, на підшар, що наносять у розчині ванни уловлювання цього електроліту при рН розчину 9,0-9,5 і концентрації  $[Cu^{2+}]$  менше ніж 1 г/дм<sup>3</sup>, а  $[Ni^{2+}]$  більше ніж 3 г/дм<sup>3</sup>.

Корисна модель відноситься до області гальваностегії, зокрема, до нанесення багат шарових покриттів, що містять шари міді й нікелю (або сплавів), на рідкоземельні магніти, наприклад, NdFeB, які одержують із порошків неодиму (Nd), заліза (Fe) і бора (B), для надання їм корозійної стійкості й поліпшення механічних властивостей поверхні.

Магніти NdFeB мають гарні магнітні властивості, але одночасно крихкі й корозійно нестійкі, особливо в середовищі з підвищеною вологістю. Відомі фізичні, хімічні й електрохімічні способи осадження покриттів різними металами на магніти, що захищають їх від корозії й механічних пошкоджень. Складність нанесення покриттів пов'язана з високою електронегативністю основи (через наявність у ній неодиму) і неоднорідністю поверхні (як через порошкову природу матеріалу, так і через його багатоконпонентність).

Як зовнішній шар найбільш широке поширення знайшли покриття нікелем, оскільки вони відносно недорогі, мають гарні механічні властивості, не сприяють конденсації вологи на поверхні й при товщині, достатньої для перекирвання пор, захищають магніт від корозії. Для підвищення мікротвердості поверхні покриття нікелем заміняють сплавом нікелю з фосфором, що наносять хіміч-

ним способом. Хімічні способи дозволяють одержувати рівномірні по товщині покриття, але міцність зчеплення з основою більш висока у гальванічних покриттів.

При збільшенні товщини нікелевого покриття ростуть напруги, погіршується зчеплення з основою й захисні властивості покриттів. Кращі механічні властивості нікелевого шару при збільшенні його товщини забезпечує підшар міді. Однак через значну різницю потенціалів міді й магніту NdFeB при нанесенні мідного покриття з'являється небезпека контактного витиснення міді поверхнею магніту навіть із комплексного пірофосфатного електроліту, що порушує зчеплення мідного шару з основою. Поряд з токсичним ціаністим електролітом для кращого зчеплення з основою мідь наносять із електроліту, що містить органічну фосфорну кислоту, глюконову кислоту, а також одну з органічних карбонових кислот [1].

Іншим варіантом поліпшення зчеплення з основою є осадження тонкого нікелевого шару під мідний шар. Наприклад, гарні антикорозійні властивості забезпечує спосіб, що пропонує наносити нікелевий підшар, шар міді з пірофосфатного електроліту й шар нікелю [2].

Однак ці способи не забезпечують достатні для деяких областей застосування магнітів меха-

(19) UA (11) 48590 (13) U

нічні властивості, такі як стійкість до стирання й ударних навантажень, тобто високу мікротвердість покриттів без погіршення їхньої пластичності й зниження ударної в'язкості.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб [3], за яким на поверхню постійного R-Fe-B (R - рідкоземельний елемент, наприклад, неодим) магніту наносять тришарове покриття, що складається із шару електролітичного нікелю товщиною 3-15мкм як перший шар, шару електролітичної міді або олова товщиною 3-15мкм як другий шар і покриття нікель-фосфор, що осаджений хімічним способом, товщиною 4-7мкм як третій шар. Перший шар наносять із електроліту, що містить сульфат нікелю, цитрат амонію й/або натрію, борну кислоту, нашатир (хлорид амонію) і/або сульфат натрію, добавку для зняття напруг, при рН 6,0-8,0 і температурі 40-60°C. Другий шар - з пірофосфатного електроліту міднення, що містить аміачну воду й агент, що освітляє, при рН 8,0-9,0 і температурі 50-60°C. Третій шар наносять хімічно з розчину, що містить сульфат нікелю, гіпофосфіт натрію, стабілізатор, комплексоутворювач, при рН 4,0-5,0 і температурі 80-95°C. Третій шар, що містить 5-12% фосфору, має твердість по Віккерсу від 400 до 700МПа, що в 2,5-4,5 разів більше, ніж твердість другого (мідь або олово) шару. Загальна товщина шарів становить 15-25мкм.

Спосіб дозволяє одержувати покриття, що одночасно має корозійну стійкість при загальній товщині шарів 15-25мкм, гарний опір стиранню й удароміцність. Однак технологічний процес містить велику кількість операцій для нанесення трьох шарів покриттів, при меншій товщині шарів погіршуються корозійні властивості, а для нанесення необхідної товщини потрібний тривалий час. Всі розчини працюють із підігрівом, що здорожує процес і погіршує магнітні характеристики матеріалу. При функціонуванні розчину для хімічного осадження сплаву нікель-фосфор витрачається сіль нікелю й гіпофосфіт натрію, розчин необхідно постійно коректувати. Після певної кількості операцій коректування його необхідно регенерувати або знешкоджувати перед зливом у стічні води. Крім того, після нанесення кожного із трьох шарів необхідне ретельне промивання деталей. Промивні води після всіх процесів знешкоджують, вилучають метали у вигляді шламу станцій нейтралізації, або в складі елюату іонобмінних установок, або продукту електрохімічної обробки та ін.

Задачею, що розв'язується даним винаходом, є скорочення кількості операцій, зниження витрати води, матеріалів й енергоспоживання за рахунок осаження шарів, що містять мідь і нікель, в одному електроліті у вигляді мультшарового покриття (Cu-Ni)/(Ni-Cu), а також сполучення операцій осаження підшару (першого шару) і вилучення металів з ванни уловлювання цього електроліту.

В основу корисної моделі покладена задача створення способу електроосадження нікель-мідного покриття на магніт NdFeB з розчинів, що містять іони міді, нікелю і сполуки фосфору та амонію.

Для рішення поставленої задачі запропонований спосіб, за яким нікель-мідне покриття осаду-

ють у вигляді мультшарового покриття (Cu-Ni)/(Ni-Cu) з електроліту, що включає іони нікелю і міді у співвідношенні  $[Ni^{2+}]:[Cu^{2+}] = 2 \div 10$ , сполуки фосфору та іони амонію у вигляді 180-450г/дм<sup>3</sup> амонію пірофосфорнокислого, 4-5г/дм<sup>3</sup> амонію хлориду й амонію гідроксида до рН 8,2-8,7, при періодичній зміні струму від  $J_1=20-70A/m^2$  протягом  $t_1=50-90c$  до  $J_2=50-200A/m^2$  протягом  $t_2=20-50c$ , на підшар, що наносять у розчині ванни уловлювання цього електроліту при рН розчину 9,0-9,5 і концентрації  $[Cu^{2+}]$  менш ніж 1г/дм<sup>3</sup>, а  $[Ni^{2+}]$  більш ніж 3г/дм<sup>3</sup>.

Процес здійснюють у такий спосіб.

Підготовлені деталі з магніту NdFeB завантажують у ванну уловлювання основного електроліту, у якій підтримують концентрацію іонів міді менш ніж 1г/дм<sup>3</sup>, іонів нікелю - більш ніж 3г/дм<sup>3</sup>, рН 9,0-9,5 при вмісті інших компонентів основного електроліту, які уловилися у ванні уловлювання, у концентрації 10-30% від їхнього вмісту в електроліті. Температура кімнатна. Наносять 1-2мкм покриття сплавом нікель-мідь при катодній густині струму 30-50A/m<sup>2</sup> і накладенні перемішування. Аноди нерозчинні, у контейнерах з діафрагмою. Потім деталі без промивання переносять в основну ванну, у якій перебуває електроліт, що містить сумарну концентрацію іонів нікелю і міді у співвідношенні  $[Ni^{2+}]:[Cu^{2+}]=2 \div 10$ , 180-450г/дм<sup>3</sup> амонію пірофосфорнокислого, 4-5г/дм<sup>3</sup> амонію хлориду й амонію гідроксида до рН 8,2-8,7. Наносять 9-13мкм мультшарового покриття (Cu-Ni)/(Ni-Cu), що складає із шарів сплавів мідь-нікель і нікель-мідь при накладенні перемішування й періодичній зміні густини струму від  $J_1=20-70A/m^2$  протягом  $t_1=50-90c$  до  $J_2=50-200A/m^2$  протягом  $t_2=20-50c$ . Після нанесення покриття деталі промивають у ванні уловлювання основного електроліту, тобто, у ванні для нанесення підшару, і у ваннах промивання.

При виконанні сукупності зазначених операцій експериментальне виявлено, що умови електролізу, що створилися, при нанесенні нікель-мідного підшару з розчину ванни уловлювання (підтримка концентрації іонів міді не більше 1г/дм<sup>3</sup>, а іонів нікелю не менш 3г/дм<sup>3</sup>, при рН 9,0-9,5, у присутності надлишку іонів амонію й пірофосфату, які виносяться з основної ванни при промиванні), у сполученні з можливістю осаджувати шари без проміжних промивань, дозволяють забезпечити відмінне зчеплення покриття з електронегативною основою магніту NdFeB, а умови електролізу в основній ванні, що включає іони металів у співвідношенні  $[Ni^{2+}]:[Cu^{2+}]=2 \div 10$ , сполуки фосфору та іони амонію у вигляді 180-450г/дм<sup>3</sup> амонію пірофосфорнокислого, 4-5г/дм<sup>3</sup> амонію хлориду й амонію гідроксида до рН 8,2-8,7 (при періодичній зміні густини струму від  $J_1=20-70A/m^2$  протягом  $t_1=50-90c$  до  $J_2=50-200A/m^2$  протягом  $t_2=20-50c$ ), у сполученні з можливістю осаджувати шари без перерви струму й без проміжних промивань, завдяки формуванню покриття з дрібнокристалевою структурою й чергуванню шарів різного складу забезпечує високий опір стиранню (за рахунок шаруватості, утворення міжфазних сполук й, можливо, включення фосфору в покриття) і удароміцність без втрати пластичності (як за рахунок малої товщини

мультишарів так і за рахунок наявності міді в сплавах з нікелем), відмінний опір покриття корозії (за рахунок перекривання пор шарами корозійностійких сплавів товщиною 40-100нм), що дозволяє в 1,5 рази зменшувати товщину покриття, а значить і витрати анодів робочої ванни, а також у меншому ступені збільшувати розміри магніту.

Ідентичність компонентів електроліту для нанесення підшару й основної ванни, а також можливість наносити шари сплавів різного складу в одній ванні без проміжних промивань, крім зменшення ризику окислювання поверхні між операціями, приводить до зменшення кількості операцій, витрат води, втрат хімікатів. Зниження витрат води й матеріалів відбувається за рахунок меншої кількості промивань і меншої концентрації іонів металів у розчині, що виноситься у систему промивних ванн, за рахунок зменшення об'єму стоку, що потребує доочищення, зменшення витрат на поповнення вмісту гіпофосфіту й солей нікелю в розчині для хімічного нікелювання, а також на його регенерацію. Крім того, осадження покриттів при кімнатній температурі дозволяє відмовитися від енергоємних операцій підігріву електролітів, зберігає магнітні властивості деталей з NdFeB.

У технічному плані відмінною рисою пропонованого винаходу є те, що

- на магніті наносять мультишарове покриття, тобто, покриття, що містить на порядок більшу кількість шарів, чим прийняте в гальванічному виробництві багатшарове (3 шари, як й у способі-прототипі);

- мідь і нікель є в покритті у вигляді сплавів мідь-нікель і нікель-мідь, а не у вигляді нікелю, міді й сплаву нікель-фосфор;

- осадження покриття роблять у дві стадії, а не в три;

- електроліт для осадження мультишарового покриття містить сполуки фосфору й іони амонію у вигляді амонію пірофосфорнокислого, а не у вигляді гіпофосфіта й відомих солей амонію або калію (натрію) пірофосфорнокислого;

- шари покриття наносять без проміжних промивань, з утилізацією металів, що виносяться у промивні води, у робочому процесі, а не з виносом компонентів всіх трьох робочих розчинів у промивні води, без використання розчину для хімічного нікелювання.

Відомі способи нанесення мультишарових мідно-нікелевих покриттів із цитратного електроліту з використанням імпульсного режиму електролізу, у процесі якого осаджуються шари товщиною декілька нм. Однак вони не дозволяють одержувати покриття, що мають високу твердість.

Відомі аміакатні й пірофосфатні (у тому числі й що містять іони амонію, але при співвідношенні концентрації іонів амонію й пірофосфата меншому, чим у пропонованому способі), електроліти для осадження сплавів нікель-мідь [4]. Однак і покриття, що осаджені на постійному струмі, і що отримані з використанням імпульсних режимів з одержанням істотно більш тонких шарів, що не перекриваються, не мають високу твердість.

Відомий спосіб осадження підшару, що містить мідь і нікель, з ванни уловлювання електролітів

міднення й нікелювання [5]. Цей спосіб дозволяє заощаджувати метали за рахунок сполучення операції вилучення металів зі сполученої ванни уловлювання сірчаноокислих електролітів міднення й нікелювання й операції нанесення підшару. Однак у відомому способі не можна переносити деталі після осадження підшару без промивання у ванну для нанесення робочого покриття, тому що присутність іонів амонію в сірчаноокислих електролітах міднення й нікелювання небажано. У пропонованому способі ідентичність компонентів основної ванни й ванни вловлювання, у якій наноситься підшар, дозволяє переносити деталі в основну ванну без промивання, що забезпечує зниження витрати води й хімікатів і зменшує ризик окислювання поверхні деталей. Крім того, відомий спосіб дозволяє осаджувати покриття, що має міцне зчеплення тільки зі сталеву основу. У пропонованому розчині ванни уловлювання є надлишок іонів амонію й пірофосфату, що створює умови осадження покриття, які відрізняються від відомих. З основою із магніту NdFeB, що є більш електронегативною, чим сталева основа, міцне зчеплення досягається тільки при спільній присутності цих іонів завдяки осадженню покриття при більш негативних потенціалах.

При збільшенні співвідношення  $[Ni^{2+}]:[Cu^{2+}]$  більш 10 погіршується якість мідно-нікелевих шарів мультишарового покриття, а при зменшенні цього співвідношення менш 2 - погіршується якість нікель-мідних шарів, що в обох випадках приводить до погіршення властивостей усього покриття: знижується його мікротвердість, корозійна стійкість.

Використання сполук, що містять фосфор та іони амонію в концентраціях амонію пірофосфорнокислого більш ніж  $450\text{г/дм}^3$ , хлориду амонію більше  $5\text{г/дм}^3$  і гідроксида амонію до pH більше 8,7, приводить до зниження катодного виходу за струмом, а використання цих компонентів у концентраціях амонію пірофосфорнокислого менш ніж  $180\text{г/дм}^3$ , хлориду амонію менш ніж  $4\text{г/дм}^3$  і гідроксиду амонію до pH менш 8,2 не дозволяє забезпечити хімічну стабільність електроліту.

Використання густини струму за межами значень діапазонів  $J_1=20-70\text{А/м}^2$  (протягом  $t_1=50-90\text{с}$ ) до  $J_2=50-200\text{А/м}^2$  (протягом  $t_2=20-50\text{с}$ ) не дозволяє одержувати корозійностійке покриття, що має мікротвердість вище 400Мпа. Осадження шарів протягом часу менш 50с при густині струму  $20-70\text{А/м}^2$  і менш 20с при  $50-200\text{А/м}^2$  не дозволяє одержувати суцільних шарів мідно-нікелевих і нікель-мідних сплавів, що приводить до зниження корозійної стійкості покриттів. Осадження шарів протягом часу більше 90с при густині струму  $20-70\text{А/м}^2$  і більше 20с при  $50-200\text{А/м}^2$  приводить до одержання більш пухких шарів, що не забезпечують необхідні механічні властивості покриття.

При збільшенні вмісту іонів міді вище  $1\text{г/дм}^3$  і зниженні концентрації нікелю менш  $3\text{г/дм}^3$  у розчині ванни уловлювання, тобто в електроліті для нанесення підшару, порушується склад мідно-нікелевого покриття, що приводить до погіршення якості покриття, погіршенню зчеплення покриття з основою.

При значенні рН розчину ванни уловлювання менш 9,0 погіршується зчеплення покриття з основою, при рН більше 9,5 падає продуктивність ванни.

Таким чином, підтримка виявлених експериментально границь параметрів електролізу є істотно необхідним для реалізації способу, а порівняння технічного рішення, що заявляється, із прототипом й іншими технічними рішеннями дозволяє зробити висновок про відповідність способу, що заявляється, критеріям "новизна" й "істотні відмінності".

Приклад 1. Зразки з магніту NdFeB розміром 5×8×15мм травлять у розчині, що містить 0,2М азотнокислого натрію й 1,5% по об'єму сірчані кислоти при температурі 30°C і накладенні перемішування, промивають із накладенням ультразвуку. Наносять перший шар покриття нікелем з електроліту, що містить 130г/дм<sup>3</sup> сульфату нікелю, 30г/дм<sup>3</sup> цитрату амонію, 15г/дм<sup>3</sup> борної кислоти, 8г/дм<sup>3</sup> хлориду амонію й 8г/дм<sup>3</sup> сахарину, при доведенні значення рН розчину до 6,5 розчином амонію гідроксида, температурі 50°C, густини струму 0,25А/дм<sup>2</sup> і накладенні перемішування. Промивають. Потім наносять другий шар покриття міддю в електроліті, що містить 25г/дм<sup>3</sup> пірофосфата міді, 110г/дм<sup>3</sup> пірофосфорнокислого калію,

3г/дм<sup>3</sup> розчини аміаку, при рН 8,5, густини струму 0,23А/дм<sup>2</sup>, накладенні перемішування й температури 50°C. Промивають. На мідний шар осаджують хімічно третій шар сплаву нікель-фосфор з розчину, що містить 27г/дм<sup>3</sup> сульфату нікелю, 30г/дм<sup>3</sup> гіпофосфіта натрію, 18г/дм<sup>3</sup> янтарнокислого натрію, 15г/дм<sup>3</sup> гліцину при рН 4,0 і температурі 90°C. Промивають (з накладенням ультразвуку). Із промивних вод після осадження шарів нікелю, міді й сплаву нікель-фосфор мідь і нікель у вигляді гідроксидів. Характеристика способу наведена в табл. 1.

Зразки з покриттям: варіант А - перший шар товщиною 3мкм, другий шар товщиною 3мкм і третій шар товщиною 4мкм (всього 10мкм) і варіант Б - перший шар товщиною 10мкм, другий шар товщиною 10мкм і третій шар товщиною 5мкм (всього 25мкм) піддали іспитам на корозійну і механічну стійкість. Після витримки в 3%-ому розчині NaCl тривалістю 1 добу на покритті за варіантом А з'явилися бурі плями продуктів корозії основи, при ударному навантаженні 10<sup>8</sup>-10<sup>9</sup> разів з енергією (1-3)×10<sup>-4</sup> джоуль це покриття руйнувалося до основи з магніту. На покритті за варіантом Б ознак корозії основи не виявлено, зруйнувався лише шар сплаву нікель-фосфор.

Таблиця 1

Характеристика способів

Параметр	Спосіб-прототип	Пропонований спосіб	Переваги пропонованого способу
Операція у ванні	Осадження 1-ого шару Ni	Осадження підшару Ni-Cu, промивання, вилучення [Ni <sup>2+</sup> ] й [Cu <sup>2+</sup> ]	Немає витрат хімікатів на готування електроліту (див. склад в прикладі 1), на підігрів, немає витрати нікелевого анода, зменшується тривалість операції, знижуються витрати на знешкодження стічних вод
Товщина покриття, мкм	3-15	1-2	
Витрата нікелевого анода, г/м <sup>2</sup>	26-133	-	
Тривалість, хв.	15-75	10-20	
Операція у ванні	Промивання	-	Немає витрат на ванну, витрати води, що виносять після нанесення підшару компоненти електроліту повертаються в основну ванну
Винос металів для знешкодження, г/м <sup>2</sup>	[Ni <sup>2+</sup> ] - 5,2	-	
Витрата води, л/м <sup>2</sup>	30	-	
Операція у ванні	Осадження шару міді	Осадження шару (Cu-Ni)/(Ni-Cu)	Знижується витрата анодів, немає витрат на підігрів, зменшується тривалість операції
Товщина покриття, мкм	3-15	9-13	
Витрата мідного анода, г/м <sup>2</sup>	27-134	54-77	
Витрата нікелевого анода, г/м <sup>2</sup>	-	27-38	
Тривалість, хв.	65-330	45-90	
Операція у ванні	Промивання	Промивання	Знижується витрата води, винос компонентів електроліту
Винос металів для знешкодження, г/м <sup>2</sup>	[Cu <sup>2+</sup> ] - 1,3	[Ni <sup>2+</sup> ] - 0,78, [Cu <sup>2+</sup> ] - 0,26	
Витрата води, л/м <sup>2</sup>	15	10	
Операція у ванні	Осадження шару сплаву NiP	-	Немає витрат на ванну. хімікатів на готування електроліту, коректування розчину і його регенерацію, витрат на підігрів, не затрачається час на операцію
Товщина покриття, мкм	4-7	-	
Витрата гіпофосфіта натрію, г/м <sup>2</sup>	254-438	-	
Витрата солі нікелю (у перерахуванні на анод), г/м <sup>2</sup>	36-62	-	
Тривалість, хв.	18-30	-	

Продовження таблиці 1

Операція у ванні		Промивання	-	Немає витрат на ванну, витрат води, виводу компонентів електроліту для нанесення покриття
Винос металів для знешкодження, г/м <sup>2</sup>		[Ni <sup>2+</sup> ] - 1,0	-	
Витрата води, л/м <sup>2</sup>		10	-	
Всього, за способом	Витрата мідних анодів, г/м <sup>2</sup>	28,3-135,3	54,3-77,3	Зниження витрати нікелевих анодів в 2-5 разів, мідних анодів - в 0,5-2 рази, води в 5 разів, тривалості осадження покриття в 2-4 рази.
	Витрата нікелевих анодів, г/м <sup>2</sup>	68,2-201,2	27,8-38,8	
	Витрата води, л/м <sup>2</sup>	55	10	
	Тривалість, хв.	105-440	60-115	

Приклад 2-4. Зразки з магніту NdFeB розміром 5×8×15мм травлять як у прикладі 1, промивають із накладенням ультразвуку. Зразки завантажують у ванну уловлювання основного електроліту (склад розчину ванни уловлювання і умови електролізу дивись у табл. 2). Температура кімнатна, накладення перемішування. Аноди нерозчинні, у контейнерах з діафрагмою. Потім деталі без проми-

вання переносять в основну ванну (склад електроліту і умови електролізу дивись у табл. 2). Аноди комбіновані Cu/Ni. Після нанесення покриття деталі промивають у ванні уловлювання основного електроліту, тобто, у ванні для нанесення підшару, і у ваннах промивання. Характеристика способу наведена в табл. 1 і 2.

Таблиця 2

Склад електролітів і умови електролізу

Параметри	Приклади		
	2	3-4	
Ванна уловлювання			
[Cu <sup>2+</sup> ], г/дм <sup>3</sup>	0,02	0,5	1,0
[Ni <sup>2+</sup> ], г/дм <sup>3</sup>	3,0	4,0	5,0
pH	9,0	9,2	9,5
Jк А/м <sup>2</sup>	30	40	50
Товщина шару, мкм	1,0	1,5	2,0
Електроліт			
[Ni <sup>2+</sup> ]:[Cu <sup>2+</sup> ]	2	5	10
[(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ], г/дм <sup>3</sup>	180	300	450
[NH <sub>4</sub> Cl], г/дм <sup>3</sup>	4,0	4,5	5,0
pH (за допомогою NH <sub>4</sub> OH)	8,2	8,5	8,7
J <sub>1</sub> , А/м <sup>2</sup>	20	50	70
t <sub>1</sub> , с	50	70	90
J <sub>2</sub> , А/м <sup>2</sup>	50	120	200
t <sub>2</sub> , с	20	35	50
Товщина шару, мкм	9	11	13
Мікротвердість, МПа	410	560	680
Корозійна стійкість (див. прикл. 1)	Продуктів корозії магніту немає		
Механічна стійкість (див. прикл. 1)	Руйнується 4мкм покриття	Руйнується 3мкм покриття	Руйнується 3мкм покриття

Таким чином, зіставлення даних, наведених у прикладах, показує, що запропонований спосіб забезпечує скорочення кількості операцій, зниження витрат води, матеріалів й енергоспоживання. Економічна доцільність використання запропонованого способу обумовлена економією металів у вигляді анодів як за рахунок кращої корозійної стійкості мультшарових покриттів (Cu-Ni)/(Ni-Cu), що дозволяє наносити більш тонкі покриття, так і за рахунок сполучення операцій осадження підшару (першого шару) і вилучення металів з ванни уловлювання цього електроліту, зниженням енергоспоживання за рахунок реалізації способу без підігріву і витрат

на воду за рахунок зменшення кількості ванн промивання.

Джерела інформації:

1. US 20090035603, B32B 15/01, C25D 3/38. Method for producing rare earth metal-based permanent magnet having copper plating film on surface thereof / Niinae, Toshinobu - Опубл. 05.02.2009.

2. US 5314756, B22F 7/00. Permanent magnet of rare-earth-element/transition-metal system having important corrosion resistance and manufacturing method thereof / Atsushi Tagaya - Опубл. 24.05.1994.

3. EP20050809460, H02K 15/03; C23C 28/00; C23C 28/02; C25D 5/12; C25D 5/48; C25D 7/00; H01F 1/053. Process for producing permanent magnet for use in automotive IPM motor / Komatsu, T., Shintani, Y., Takahashi, K., Kabasawa, A., Okada, H., Miyao, Y., Kaneko, Y. - Опубл. 08.08.2007.

4. Бондарь В.В., Гринина В.В., Павлов В.Н. Электроосаждение двойных сплавов. (Итоги науки и техники). - 1979, т. 16. - 329с.

5. Патент №79556 Україна, С 25 D 3/56, 5/12. Спосіб одержання захисно-декоративних багатошарових покриттів / Трубінова Л.В., Байрачний Б.І., Савченко В.О., Майзеліс А.О. - Опубл. 25.06.07, Бюл. №9.