

О.С. Завойко¹, С.М. Новіков²

Механізація процесу електроіскрового легування із застосуванням реакційних властивостей газів

¹Чернівецьке відділення НТУ"ХП", вул. Головна, 204, м. Чернівці, 58000, Україна

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012, Україна

В даній статті досліджено новий спосіб фізико-технічної обробки і зміцнення поверхонь за допомогою комбінування двох технологічних процесів – електроіскрового легування і газового осадження на сталюу поверхню.

Ці два процеси розвивають основи матеріалознавства та поглиблюють теорію електропереносу електродних матеріалів на сталюу основу, а також розширяють можливість застосування газових середовищ на отримання нових покриттів, що пов'язані із новими механічними і фізико-хімічними процесами їх застосування.

Електроіскрове легування дозволяє: значно підвищити зносостійкість і твердість металічних поверхонь деталей машин і технологічної оснастки з метою збільшення їх довговічності і заміни спеціальних сталей менш дефіцитними, або більш дешевими; змінити електричні властивості струмопровідних поверхонь, зменшити перехідні опори електричних контактів, їх зношення; збільшити шорткстість металічних поверхонь, наносити проміжні та перехідні шари для полегшення лужіння і процесу пайки, підвищити корозійну та вогнетривку стійкість, а також відновлювану властивість як деталей машин при ремонті, так і вимірних інструментів; отримувати омичні та випрямляючі контакти на напівпровідниках (нанесені покриття мають досконалії і міцний зв'язок з основним металом підкладки, оскільки супроводжується високо реакційними та дифузійними процесами).

При електроіскровому механізованому легуванні металічних поверхонь надійний результат залежить від ряду взаємозв'язаних умов, таких як інтенсивність процесу (кількості матеріалу, перенесеного на облицювальну поверхню за одиницю часу), величини енергії, що виділяється в міжелектродному проміжку, частоти слідування імпульсів, від легуючого і легованого матеріалу, легуючого газу і газуносія, що використовується при введенні їх у міжелектродний простір ззовні.

Для вдосконалення процесу електроіскрового легування і отримання високої продуктивності при механізації та якості покриттів розроблено нову класифікацію джерел живлення для установок, які ще не діяли до цього часу і будуть використовуватися надалі в Україні.

Ключові слова: електроіскрове легування, поліконденсація, полі кристалізація, газове осадження, реакційно-дифузійний процес, карбонітридні фази.

Стаття постуила до редакції 05.04.2013; прийнята до друку 15.09.2013.

Вступ

Електроіскрове легування супроводжується різними видами фізико-хімічних перетворень [1].

Основний ефект отримується через вірність вибору електричних параметрів режиму обробки, конструкції установки, легуючих матеріалів електродів та міжелектродного середовища, реакційної системи застосованих газів (легуючих – CO₂, NC, C₂H₄, повітря; несучих – H₂, N, Ar).

Електроіскрове легування дозволяє: значно підвищити зносостійкість і твердість металічних поверхонь деталей машин і технологічної оснастки з метою збільшення їх довговічності і заміни спеціальних сталей менш дефіцитними, або більш

дешевими; змінити електричні властивості струмопровідних поверхонь, зменшити перехідні опори електричних контактів, їх зношення; збільшити шорткстість металічних поверхонь, наносити проміжні та перехідні шари для полегшення лужіння і процесу пайки, підвищити корозійну та вогнетривку стійкість, а також відновлювану властивість як деталей машин при ремонті, так і вимірних інструментів; отримувати омичні та випрямляючі контакти на напівпровідниках (нанесені покриття мають досконалії і міцний зв'язок з основним металом підкладки, оскільки супроводжується високо реакційними та дифузійними процесами).

Існує декілька моделей процесу електроіскрового переносу одних матеріалів на інші, що пояснюють

окремі експериментальні факти [2,3,4].

I. Основні методи дослідження та нова класифікації джерел живлення установок (електроіскрових апаратів)

Головною метою даних досліджень є: отримання зносостійких покриттів методом електроіскрового легування із газовим осадженням в середовищі повітря, аргону і водню. В досліді використовувались електродні матеріали із металокерамічного сплаву Т30К4 і карбонілу вольфраму W(CO)₆.

Більшість дослідників процесу електроіскрового переносу матеріалу аноду на катод у газовому середовищі розповсюджують (іноді невірно) закономірності процесу електроіскрової розмірної обробки в середовищі рідкого діелектрика на процес електроіскрового легування, тоді як процеси, що проходять при електроіскровому легуванні в газовому середовищі (аргон, водень, кисень, азот, вуглекислий газ, криптон, аміак, пропан-бутан) набагато складніший, адже в цьому випадку діє контакт електродів.

Електричний струм у газах – газовий розряд – складне фізико-хімічне явище, значно відмінне від потоку в твердих і рідких провідниках. У звичайних умовах при нормальній температурі й тиску в газі (повітряне середовище) дуже мало вільних заряджених частинок: іонів, електронів, тому повітря (звичайне) зазвичай поводить себе як ізолятор. Однак під дією різних фізико-хімічних чинників (факторів високої температури, сильного електричного поля, ультрафіолетового випромінювання тощо) в повітряному середовищі з'являються вільні електрони, додатні і від'ємні іони, присутність яких надає газу властивості електропровідності, [5].

Процес виникнення електронів у нейтральному середовищі називається його іонізацією. Для того, щоб у газі міг проходити струм провідності пов'язаний з переносом заряду, заряджені частинки повинні утворюватися в газі шляхом руйнування нейтральних атомів і молекул, або поступати в газ ззовні – з оточуючих газ твердих і рідких тіл, або газових сумішей.

Якщо процес руйнування нейтральних молекул газу називається іонізацією, то процес випускання (витоку) заряджених частинок твердими, рідкими, газоподібними речовинами – емісією. Обидва ці процеси проходять під дією зовнішніх фізико-хімічних факторів: прикладеної до газу напруги і пройденого через газ (суміш газів) струму. Якщо струм у газі викликаний зовнішніми чинниками, то розряд називається несамостійним. Якщо для підтримання струму необхідна певна кількість заряджених частинок і вони утворюються в газі або отримуються із оточуючих газ тіл (електродів), завдяки прикладеної до газу напруги і протікаючому через газ струму, то такий розряд називається самостійним. Струм у газі може бути незмінним за

величиною і напрямком, а може змінюватись з часом і за напрямком. При зміні струму одночасно змінюється механізм процесу утворення заряджених частинок у потоці газу, а отже й електроперенос, тоді розряд називається неупорядкованим (невстановленим). Серед неупорядкованих форм розряду важливе місце займає процес переходу розряду із несамостійного в самостійний. Такий процес називають пробоем газового проміжку, або збудженням газового розряду. За час руху електрону між зіткненнями з нейтральними частинками газу він набуває доповнювальну енергію і, якщо його енергія буде достатньою для іонізації частинки газу, то кількість частинок (іонізованих) у газі буде збільшуватись, а в напрямі від катода до аноду буде проходити електронний потік (лавина), залишаючи після себе малорухомі додатні іони, що утворюють додатний просторовий заряд. Треба врахувати ту обставину, що іонізація молекул газу проходить при їх зіткненнях не тільки з електродами, але й додатними іонами, а під дією бомбардування катода додатними іонами виникає доповнююча (вторинна) емісія електронів [1,5].

Пояснення процесу перенесення анодної речовини на катод за умови електромеханічного контакту враховує всі відомі ефекти і чинники: температуру, електроопір, густину струму, теплопровідність, теплоту плавлення і випаровування, ефект Нотінгама, температурну залежність автоелектронної емісії, силові поля магнітного поля, електродинамічні, статичні сили, процеси інверсії, конверсії, попереднього насичення тощо [1,5].

Із збільшенням тривалості імпульсів зростає загальна кількість елементарних актів перенесення, насичення, ерозії, народження і знищення емісійних центрів. Для утворення нових емісійних центрів (виникнення інтенсивної автоелектронної емісії) необхідно збільшення потенціалу катодного факелу відносно катода. Коли руйнується емісійний центр, його приповерхневий розплавлений об'єм застигає і переходить в твердий стан при напруженості електричного поля, що дорівнює нулеві ($E=0$). Характерний час такого процесу [1]:

$$t = h \sqrt{\frac{\delta}{\alpha_H}}, \quad (1)$$

де δ – коефіцієнт поверхневого натягу, h – висота виступу.

За час самоліквідації затвердіють лише виступи висотою, яка не перевищує [1]

$$h = \frac{\lambda^2 \cdot T_{пл}^2}{\delta \cdot \epsilon_{пит}} \alpha_H, \quad (2)$$

де $\epsilon_{пит}$ – питома теплота плавлення.

Зазвичай на поверхні електродів присутні ізоляційні плівки та різні неметалічні включення. В результаті вибухових процесів на катоді через хмаринку іонізованих парів виникає катодний факел – плазмове утворення. В такому стані попереду руху – електрони з енергією 70–80 еВ, за ними слідують іони легких елементів, далі іони матеріалу аноду (Fe^+ ,

Ni⁺, W⁺, тощо), адсорбованих газів та різних забруднень (H₂⁺, O₂⁺, Si⁺). Швидкість іонів суттєво відмінна – найбільша вона у водню, найменша у важких іонів, наприклад, W⁺ рухається зі швидкістю 8–11 км/с.

Перерозподіл швидкостей розширення катодного факелу та руху фронтальної частини плазми як результат газодинамічних реакційних процесів описано в роботі [1].

При електроіскровому легуванні металічних поверхонь надійний результат залежить від ряду взаємозв'язаних умов, таких як інтенсивність процесу (кількості матеріалу, перенесеного на облицювальну поверхню за одиницю часу), величини енергії, що виділяється в міжелектродному проміжку, частоти слідування імпульсів, від легуючого і легуваного матеріалу, легуючого газу і газу-носія, що використовується при введенні їх у міжелектродний простір ззовні.

Для вдосконалення процесу електроіскрового легування і отримання високої продуктивності та якості покриттів розглянемо розроблену класифікацію джерел живлення установок, які діяли до цього часу і будуть використовуватися надалі (рис. 1).

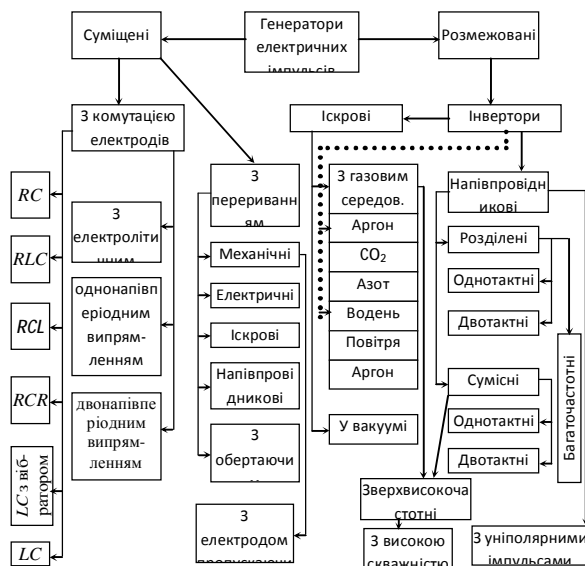


Рис. 1. Класифікація генераторів електричних імпульсів. Крапками виділена схема ділянки легування використаних газів: аргон, водень.

На сьогодні рівень автоматизації електроіскрового легування залишається на низькому рівні. Проблема, яку потрібно було вирішити, має комплексний характер і розподіляється на такі чотири основні складові:

Розробка систем джерел живлення для електроіскрового легування;

Розробка комплексу системної просторової орієнтації електродів відносно складнопрофільної оброблюваної поверхні.

Розробка програмного забезпечення для коректування технологічного процесу електроіскрового легування матеріалів з наперед заданими властивостями досконалості структур та

текстур.

Розробка і впровадження зовнішніх чинників: легуючих газів і газів-носіїв для супроводження процесу легування електродними матеріалами основи сталей та напівпровідникових матеріалів.

До першої групи відносяться пошуки у напрямку зростання потужності генераторів, розширення частотних характеристик, зменшення силових контурів генераторів, розширення можливостей отримання різних по величині і формі імпульсів, досягнення гнучкості регулювання амплітуди і жорсткості системи. Результати теоретичних робіт в цьому напрямку дали можливість їх широкого впровадження у виробництво.

Першопочаткові системи першої групи базувалися на традиційних, досконало розроблених методах стабілізації напруги, струму, потужності міжелектродного проміжку (регулювання швидкості подачі, зміщення електроду), що дозволяло обробляти тільки тіла з єдиним параметром – шляхом обертання деталі правильної форми (диск, циліндр, вал тощо) у площині. При цьому в одних установках легування здійснювалось електромагнітними віброзбуджувачами, закріпленими у супорті станка, в інших – обертальними дисками електротримачів із закріпленими в них легуючими електродами – обертальними головками.

По призначенню і характеру визначених вимог системи автоматичної орієнтації електродів у просторі відносно поверхні деталі друга складова підрозділяється на такі види:

– однокоординатні системи, які автоматично коректують положення електроду у напрямку, перпендикулярному до оброблюваної поверхні (розроблена значна кількість регулюючих систем);

– двокоординатні автоматичні системи, що забезпечують необхідне поперечне і вертикальне переміщення електродів;

– трикоординатні системи орієнтації, що забезпечують поперечне, осьове і кутове положення електроду відносно площини (конфігурації) обробки у функції кривизни легуючого профілю за наперед заданими програмними характеристиками (Ельфа – 754);

– комбіновані системи орієнтації електродів у газовому середовищі із автопідстроюванням на контрольовані системи осадження газових сумішів при поліконденсації на основу металів

Проблема реалізації системи третьої складової, поки що не вирішена, тому що потребує створення для контролю за параметрами відповідних датчиків, аналізаторів за критеріями якості і досконалості структур в процесі легування. При цьому складно виділити збурення і відхилення в системі, їх сумісну дію на кінцевий результат та параметри процесу легування.

Особливостями четвертої складової проблеми є використання зовнішніх чинників (електромагнітних полів, тисків газів, реактивної діючих флюсів, тощо), які суттєво змінюють властивості міжелектродного простору, ускладнюючи або прискорюючи процес електропереносу електродних речовин,

конденсуючих парів розтоплених металів, кристалізуючи на поверхні деталей інтерметаліди, карбіди та напівпровідникові з'єднання [4,5].

II. Результати експериментів і їх обговорення

Розглянемо схему, за якою ми провели дослідження по легуванню металокерамічного сплаву на поверхню вуглецевої сталі У10 (рис. 2).

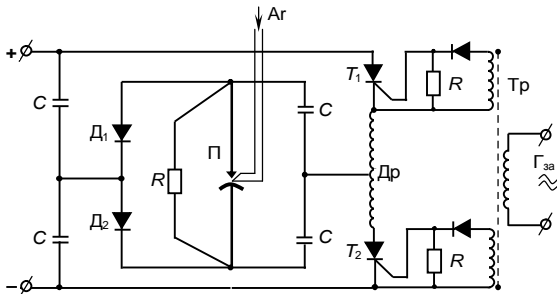


Рис. 2. Принципова електрична схема тиристорного генератора на основі послідовного інвер-тора джерела струму установки ЛЕГ-1.

Дослідження проводилось на лабораторній установці ЛЕГ-1 зі застосуванням визначених в [1] режимів, але з використанням газу-носія: аргону, водню.

У принциповій схемі джерела живлення електроіскрової механізованої установки ЛЕГ-1 імпульси струму розрядного контуру (на схемі виділено жирною лінією) не проходять ні по керованим кремнієвим вентилям, ні по некерованим. Генератор є послідовним інвертором, який утворений конденсаторами C_1 і C_2 , дроселем ДР і тиристорами T_1 і T_2 . Навантаженням інвертора є міст, плечі якого утворені накопичувальними конденсаторами C_3 і C_4 і вентилями D_1 і D_2 . У діагональ мосту включений іскровий проміжок Пр, шунтований резистором R_1 . Управління тиристорами здійснюється від малопотужного генератора, прямокутні імпульси напруги якого подаються на обмотку трансформатора Тр. Із вторинних витків трансформатора протифазні сигнали подаються на запуск тиристорів. Отже, управляючий імпульс відкриває тиристор T_1 , при цьому в ланцюгу протікає струм, що викликає на дроселі Др е.р.с., яка запирає тиристор T_2 . Внаслідок симетрії схеми аналогічний процес проходить при подачі управляючого імпульсу на тиристор T_2 .

Генератор зібраний за цією схемою здійснює перетворення енергії постійного струму в енергію уніполярного імпульсного струму, що виділяється в іскровому проміжку. Частота проходження імпульсів дорівнює подвоєній частоті задаючого генератора $\Gamma_{зад}$. До міжелектродного проміжку підводиться газ-носії (аргон, водень) через центральну осьову частину легуючого електроду так, що складаються певні умови направлено переносу від аноду на катод (деталь), потрібні схемам, які діють в реакційних системах газового осадження у вакуумних установках типу ВУ-1М, УВН-2,5-6,5. Нами розраховано параметри

технологічного процесу електроіскрово-газового переносу електродного матеріалу із металокерамічного сплаву Т20К4 та з карбонілу вольфраму $W(CO)_6$. Порівняльні характеристики приводяться на рис. 4,5,6. Використання іскрового (тліючого) розряду в процесі переносу і кристалізації на деталі в газовій фазі сприяє прискоренню процесу і покращує якість осаджуваних шарів. Прискорення процесу пояснюється кращою іонізацією газового середовища і перенесенням парів аноду на катод (осадженню), при цьому карбоніл вольфраму $W(CO)_6$ розкладається у тліючому розряді газового проміжку з присутністю водню при тиску 0,5 атм і густині струму 500 мА/см².

До переваги цього методу можна віднести можливість попередньої очистки поверхні оброблюваного виробу від окисних і інших забруднень катодним розпиленням і водневим відновленням електроіскровим методом, що суттєво покращує зчеплення покриття з основою і впливає на щільність, густину і досконалість текстури. Енергія активації процесу термодифузії вольфраму через газовий міжелектродний простір в аргонному середовищі вища, ніж для покриттів, отриманих без накладання електроіскрового (тліючого) розряду в повітряному просторі. Експериментально формування металічних шарів при піролізі карбонілу вольфраму проводилось у реакційно-термічних електроімпульсних умовах, схема рис. 3.

Порівнявши результати з роботи [1] і по новоствореній схемі проведення дослідів, бачимо, що показники продуктивності дещо зростають, а якість

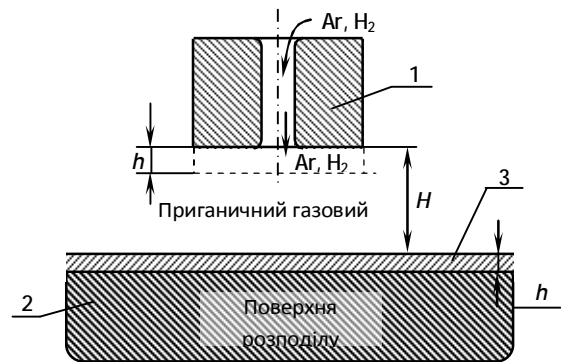


Рис 3. Схема термо-, електро-,газовореакційного розкладу електродних матеріалів: 1 – електродний матеріал: Т20К4, $W(CO)_6$, анод; 2 – вуглецева інструментальна сталь У10, (зразок), (катод); 3 – відкладений (легований) електроіскровим способом шар (при використанні Т20К4 в умовах аргону – 120÷240 мкм, при використанні $W(CO)_6$, в умовах водню – 180÷200 мкм), h_1 – об'єм витраченого аноду в процесі відкладання шару при електроіскровому процесі, h_2 – об'єм відкладеного шару сконденсованої газової суміші електродного (анодного, катодного) матеріалу та газу-носія, H – приграничний об'єм газопарової суміші електродного матеріалу аноду, катоду, газу-носія і повітря.

отриманого шару значно відрізняється як по своїй структурі, так і за характеристиками [4,5].

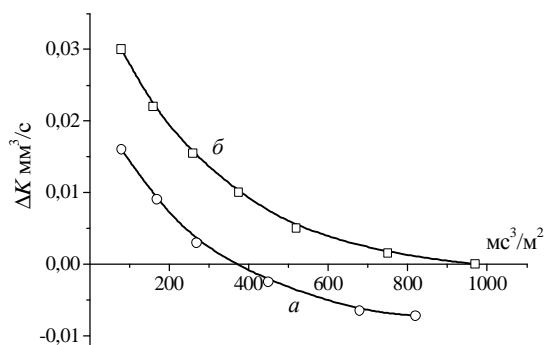


Рис. 4. Залежність питомого переносу матеріалу на катод із сталі У10 від часу легування сплавом Т20К4 в повітряному середовищі (а) і в аргонівому середовищі (б) при 4-ому режимі роботи установки ЛЕГ-1 ($I_{к.з.}=50$ А, $U=50$ В, $C_1=1200$ мкФ, $C_2=1200$ мкФ, $f=400$ Гц) за схемою рис. 2.

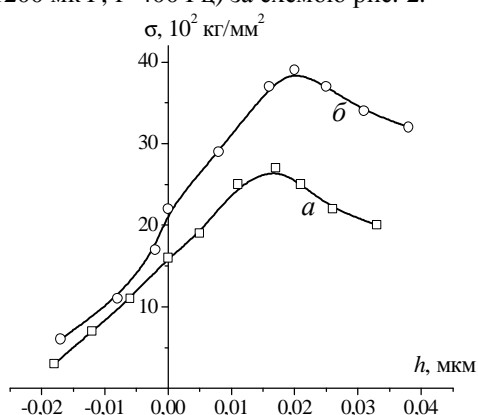


Рис. 5. Розподіл твердості в поверхневому шарі сталі У10 після легування електродом Т20К4 в повітряному (а) і аргонівому середовищі (б) за режимом, вказаному на рис. 4.

Фазовий склад шару модифікованої поверхні за даними мікрорентгеноспектрального аналізу із скануванням в перерізі через межу розподілу, порівнювали із складеною діаграмою стану Fe-C-W-N легуваного в повітряному, аргонівому і водневому середовищі.

На поверхні вуглецевої сталі У10 в процесі співударів з потоком неідеальної імпульсно-іскрової плазми вибухів утворюються шари із фазовим складом карбонітридного характеру: ϵ -Fe_{2,3}(NC), γ -фази, Fe₃C. Залізо та вольфрам утворюють при різних термодинамічних умовах декілька інтерметалідних фаз при 1040°C: Fe₂W (λ -фаза), Fe₂W₂ (ϵ -фаза) із раніше виділених ϵ -фази та δ -фази ($\delta+\epsilon \rightarrow \lambda$). При більш форсованих режимах $I_{к.з.}>100$ А в легуваному шарі виявляються кристали ϵ -Fe₂W₂, Fe₁₀W₃. При легуванні електродами Т20К4 в середовищі аргону утворюються дві зони. Перша – ділянка з великими зернами довільної форми, величиною 150ч270 мкм, твердістю 3700ч4200 кг/мм² із вкрапленнями змільчених дисперсних частинок другої фази. Друга – має твердість подібну до даних роботи [4] – 780-900 МПа, в якій по всьому об'єму зустрічаються частинки карбідних включень із твердістю до 400 МПа, величиною 80-100 мкм. Зауважимо, що легування в середовищі аргону в поверхневих шарах, зміщених електроіскровим способом, містить

значно меншу кількість мікротріщин, відколів, дислокаційних виходів (приблизно на 20%), але й підвищує швидкість перенесення легуючого матеріалу на підкладку сталі У10 [4].

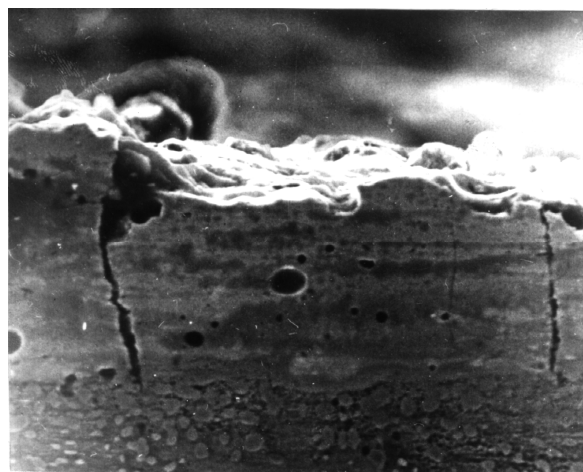


Рис. 6. Мікроструктура покриття нанесеного на сталь У10 сплавом Т20К4 на 5-му режимі ЛЕГ 1.

III. Аналіз результатів дослідження та рекомендації

Введення вільного газового аргону у склад суміші розтопленого і випаруваного в міжелектродному середовищі матеріалу змінює фазовий склад отриманого покриття – з'являється TiC, значно зменшується вміст W₂C, зникають або перетворюються інтерметаліди Fe₇W₆, Fe₂W₆, Fe₁₀W₃, оже-спектроскопія не виявляє вмісту кисню і водню в "білому" шарі, а якщо й виявляє, то незначно (на глибині 400-600 Å він зменшується на порядок і знаходиться у зв'язаному стані хімічних сполук електронних з'єднань, або впорядкованих твердих розчинах).

Введення вільного газового водню для легування поверхні вуглецевої сталі У10 електродом із карбонілу вольфраму представлено на рис. 3. Відзначаючи особливості переносу розтопленого в середовищі водню карбонілу вольфраму зазначимо, що легування проводилось у протоці газу при тиску 1,5 МПа, при температурі підкладки від 300°C до 500°C, (питома енергія активації лежить в межах $1,2 \cdot 10^{14}$ Дж/моль). Починаючи з 350°C лежить область, де визначальним процесом є дифузія парів карбонілу рис. 7. При мас-спектроскопічному дослідженні термо-реактивно-імпульсного розкладу у водневому середовищі карбонілу вольфраму встановлено, що в початковий момент швидкість переносу невелика, а після того, як шар досягає певної величини, вона зростає і залишається постійною протягом певного часу легування. Це пояснюється каталітичною активністю шару. На рис. 6 наведена залежність швидкості осадження вольфрамового з'єднання на підкладку із сталі У10 від температури підкладки і

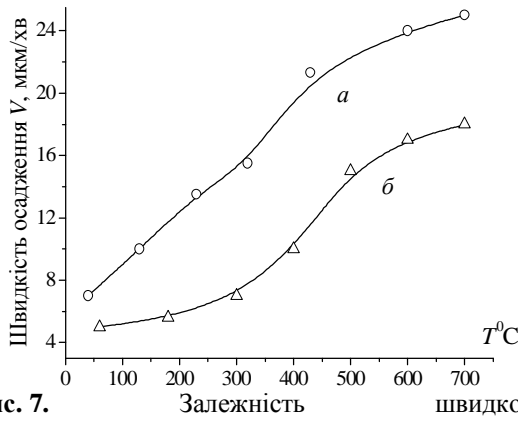


Рис. 7. Залежність швидкості електромасопереносу карбонілу вольфраму $W(CO)_6$ від температури підкладки сталі при тисках водню 1,5 атм (а), 0,5 атм (б).

концентрації паро-газової суміші (електродного матеріалу і водню).

Для того, щоб відрегулювати потрібну концентрацію паро-газової суміші міжелектродного з'єднання поблизу поверхні, необхідно підтримувати на певних рівнях енергії розрядного проміжку, температури, тиску несучого (легуючого) газу і концентрації носіїв у розрядному реакційно-імпульсному об'ємі. За цих відпрацьованих режимах може здійснюватись процес легування поверхні з досконалою структурою і високим зчепленням.

Висновки

Розглянуто реакційну систему електропереносу

- [1] O.S. Zavoiko, Teoretichni osnovi elektrotehnologii zmicnennja metaliv (Ruta, Chernivci, 2003).
- [2] O.N. Sizonenko, Mezhdunarodnaja konferencija "Sovremennoe materialovedenie: dostizhenija i problemy" (Akademperiodika, Kiev, 2005).
- [3] Istochniki pitanija dlja jelektroiskrovogo legirovanija (Shtinca, Kishenev, 1978).
- [4] O.S. Zavoiko, V.Z. Calyj, Mezhdunarodnaja konferencija "Sovremennoe materialovedenie: dostizhenija i problemy" (Akademperiodika, Kiev, 2005).
- [5] A.S. Zavoiko, S.N. Novikov, Mezhdunarodnaja konferencija "Sovremennoe materialovedenie :dostizhenija i problemy" (Akademperiodika, Kiev, 2005).

A.S. Zavoiko, S.N. Novicov

Mechanization Processes Electric Sparking-Over Ligature in Connection Reaction of Gas

¹Chernivtsi department of NTU "KPI", Chernivtsi, 58000, Ukraine

²Yuriy Fedkovych National University, Chernivtsi, 58012, Ukraine

This article considered the new basic physical-technical obtained and strengthening with help double processes electric lightning ligature and gas connection condensation on steel in the new picture.

This two process penetration the theory binding material, electrodynamic frictional induction electrode material on steel basic and developed practical making gas solution dipping with the obtained new composite types will continue of protective coatings based on metals with new mechanical and physics-chemical processes process of need .

при взаємодії електроіскрового імпульсного розряду в середовищі, заповненому газами- носіями (азот, водень, аргон). Визначено перспективи використання легуючих газів на електроіскрових установках різного типового складу.

В процесі дослідження розроблений інтегрований підхід до вирішення проблем електроіскрового легування поверхонь із застосуванням нового комплексного способу обробки – осадження електродних матеріалів із паро-газової фази на підставі застосування газів-носіїв і електроімпульсно-іскрового переносу, поглиблення теорії електропереносу електродних матеріалів та залишено на подальший розвиток процесів поліконденсації елементів у газових середовищах та у вакуумі.

Більш досконалий і детальний розгляд процесів термо-електро-газодинамічного розкладу карбідів і карбонілів металів (Ti, W, Mo, Ta, V, Re, і т.д.), що контролюються дифузією паро-газової суміші її концентрацією і тиском, представляє безсумнівний інтерес в межах даної тематики , подальших досліджень.

Завойко О.С. – здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук, кафедра "Технологічне обладнання, машини та механізми";

Новіков С.М. – доктор фізико-математичних наук, кафедра фізики твердого тіла.

Special priority rating in future research will be given to working out theoretical bases and production processes of obtaining height-strength materials reinforced with metal and ways of predetermining lasting stress-strain characteristics with a view to establishing principles of designing composite materials with clear-cut anisotropic characteristics, outlining new spheres of national economy which could use composite materials; theoretical and experimental research in materials for outer space; studying process which take place in materials under the effect of vacuum, low temperatures, various types of radiation and meteoritic particles; developing materials for space engineering, machine interpolice contact ligature in steel.

In this article considered categories of materials differ from each other by their microstructure, precipitation-strength honed composition have a microstructure which constitutes a matrices of a basic electric ligature substance or alloy with uniformly dispersed particles 0,01 to 0,1 μm in size in the amount of 1 to 15 % of a volume part.

The chapter of the article will inform the reader of how new protective ligature coatings prolong service life of machines, mechanisms, instruments and other equipment, and will tell you about the main task materials and their use in systems and structures that determine the level of the modern scientific and technical progress of the obtained in new equipment, power-plant.

Keywords: process electric lightning ligature, gas condensation, binding material, electrodynamics frictional induction, protective coating, height-strength materials.