

Артемчук В.В.

Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту
ім. академіка В. Лазаряна,
м. Дніпропетровськ, Україна
E-mail: art_vv@ukr.net

**ВЛАСТИВОСТІ ШАРУВАТИХ
ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ СПЛАВІВ Fe-P,
ОТРИМАНИХ ПРОГРАМНИМ
ЕЛЕКТРОЛІЗОМ**

УДК 629.4.027

У роботі розглянуто один з перспективних напрямків розвитку ремонтного виробництва, а саме відновлення деталей композиційними, зокрема, шаруватими покриттями з наперед заданими властивостями. Проведено дослідження із визначення працездатності електролітичних сплавів залізо-фосфор, визначення раціонального вмісту складових компонентів сплавів у шарах відновлювальних покриттів.

Ключові слова: рухомий склад, відновлення деталей, електроліз, електролітичні сплави, шаруваті покриття, зносостійкість, ресурс

Вступ

Одними з головних задач залізниці є підвищення швидкості руху, оновлення парку локомотивів та вагонів, підвищення надійності експлуатації та збільшення міжремонтного пробігу рухомого складу, а також зниження витрат на ремонт. Проблема підвищення надійності та ресурсу деталей є важливою та актуальною не тільки для залізничного транспорту, а і для будь-якого транспортного засобу. Однією з пріоритетних задач галузі також залишається виведення ремонтного виробництва залізниці на сучасний рівень.

Рухомий склад залізниць, й особливо його механічна частина, працює у важких умовах. Механічна частина рухомого складу – це велика, складна система взаємодіючих між собою вузлів і деталей, що у процесі експлуатації піддаються зносу й іншим видам ушкоджень. Високі статичні та динамічні навантаження породжують різноманітні зусилля, які викликають появу надмірних зносів, тріщин, зламів і інших дефектів, що можуть суттєво впливати на стан рухомого складу. Однією з важливих складових ремонтного виробництва є повторне використання деталей, оскільки за існуючими даними відновлення спрацьованої деталі в грошовому еквіваленті обходиться на 30 - 70 % дешевше, ніж вартість виготовлення нової. Крім того, різноманітні технології відновлення деталей можуть бути використані безпосередньо у локомотивних та ремонтних депо. Тому розробка та використання сучасних технологій відновлення і зміцнення зношених деталей є актуальною проблемою.

На нашу думку, одним з перспективних напрямків розвитку ремонтного виробництва є відновлення деталей композиційними, зокрема, шаруватими покриттями з наперед заданими властивостями. Отримання багатофункціональних шаруватих покриттів можливе різними шляхами, одним із яких є електролітичні методи. Представлена робота є продовженням досліджень [1 - 3].

Постановка проблеми

Метою даної роботи є визначення властивостей та працездатності електролітичних сплавів на основі заліза, визначення раціонального вмісту складових компонентів сплавів у шарах відновлювальних покриттів.

Виклад основного матеріалу

Підвищення ресурсу та надійності деталей можливе лише за умови покращення експлуатаційних властивостей, які у свою чергу пов'язані з механічними. Ресурс деталей визначається, у першу чергу, їх зносостійкістю, а також втомною міцністю. Вказані властивості впливають на формування поступових (за зносом) та раптових (втомлене руйнування) відмов. Тому логічним є збільшувати їх ресурс та надійність, впливаючи певним чином на властивості покриттів. Спрощено структурну послідовність впливу та отримання необхідного результату можна представити у вигляді «технологічні параметри процесу нанесення покриттів – структура шарів покриття – механічні властивості – експлуатаційні властивості покриття – ресурс та надійність відновленої деталі». Зрозуміло, що ремонтне виробництво цікавить останній пункт представленої структурної послідовності, тобто ресурс відновленої при ремонті деталі, а також технологічні параметри процесу, оскільки вони прямо пов'язані з техніко-економічними показниками процесу. Однак, для розв'язання науково-прикладних задач, на наш погляд, необхідно поетапно досліджувати покриття на всіх етапах структурної послідовності, що і було нами зроблено.

Для нанесення електролітичних покриттів використовували розроблену установку, яка дозволяє проведення стаціонарного, нестаціонарного, ванного та позаванного електролізу, а також дозволяє регу-

лювати електричні режими процесу осадження в широких межах. Дана установка допускає виконання технологічних операцій без та з використанням ЕОМ. Джерело живлення може використовуватись, як джерело постійного струму, якщо ЕОМ не задіяно. При роботі цієї установки рідина, наприклад, робочий електроліт за допомогою насоса із відповідної ємності через гнучкі полівінілхлоридні шланги поступає до електролітичної комірки і повертається у ту ж ємність. Оператор (технолог) задає форму та параметри струму (максимальні значення прямого та зворотного імпульсів, їх тривалість, наявність та тривалість пауз), час процесу нанесення покриття. Для потреб ремонтного виробництва залізниці з метою відновлення та зміцнення деталей проводили залізнення, цинкування, нікелювання, хромування та міднення, а також процеси пов'язані з отриманням сплавів на основі заліза.

В роботі [1] представлені результати досліджень зносостійкості шаруватих електролітичних покриттів, отриманих за допомогою розробленого програмного електролізу. Було показано, що мінімальному зносу електролітичного заліза відповідає певний розмір блоків мозаїки, який не є єдиним і залежить від питомого навантаження; встановлені раціональні співвідношення товщин шарів покриття в залежності від параметрів їх тонкої структури, а також було показано, що шарувата структура електролітичного залізного покриття дозволяє підвищити зносостійкість в 1,16 разів у порівнянні з одношаровим покриттям. Однак зазначимо, що застосування різних технологічних прийомів при нанесенні покриттів з певного матеріалу, у даному випадку електролітичного заліза, дозволяє «підняти» зносостійкість або інші властивості до певної межі. Подальше покращення необхідних властивостей можливе лише за умови використання комбінації різних матеріалів, наприклад, сплавів. Електролітичні методи осадження покриттів дозволяють отримувати різноманітні сплави. Попередній аналіз літературних джерел [4 - 7] показує, що мікротвердість сплавів на основі заліза, як правило, вище мікротвердості залізного покриття. Причому, якщо оптимальною мікротвердістю H_{μ} з точки зору зносостійкості залізених покриттів вважають 4500 ... 5500 МПа [6], то для сплавів групи заліза H_{μ} може значно зміщуватись в сторону збільшення, при цьому позитивно впливаючи на зносостійкість покриття. Проте технологічний процес нанесення покриттів із сплавів має недоліки: ускладнення та здороження процесу, а також окрихтування покриттів, що нівелює позитивні їх властивості. Крім того, для підвищення якоїсь властивості, наприклад, зносостійкості необхідно витримувати вміст легуючого компоненту в жорстких межах. До того ж покращення певних властивостей може приводити до погіршення інших, наприклад, введення фосфору при залізненні підвищує мікротвердість та зносостійкість покриття, але при цьому зменшується міцність зчеплення та значно підвищується крихкість. Тому виникає необхідність покращення одних властивостей покриття при збереженні або мінімальному погіршенні інших.

Головною відмінністю представлених розробок від існуючих є використання нестационарних режимів осадження сплавів групи заліза для відновлення деталей рухомого складу залізниць. В даній роботі наведені результати досліджень властивостей шаруватих покриттів із сплавів групи заліза, осаджених за допомогою програмного електролізу. Загальною ідеологією отримання шаруватих покриттів із сплавів було наступне: перші шари – адгезійні наносили з мінімальним вмістом легуючих компонентів, якщо ці елементи погіршують міцність зчеплення, а робочі шари в залежності від задач наносили з поступовим зростанням або детермінованим вмістом компонентів. Крім того, регулювання вмісту легуючих компонентів дозволило значно зменшити собівартість процесу відновлення (на 17 %) за рахунок зниження використання дорогих легуючих елементів на «нижніх» шарах покриття. Такий підхід дозволяє вирішувати різні техніко-економічні задачі, поєднуючи в собі переваги нанесення покриттів з «числого» заліза та сплавів на його основі та створюються умови для прояву синергічного ефекту. За мету ставили отримання максимальної зносостійкості покриття при забезпеченні високої міцності зчеплення, максимально можливої при цьому втомної міцності та мінімально можливої вартості процесу за критерієм використання матеріалів.

Відомо, що властивості осаджених електролітичних сплавів залежать від концентрації іонів, що розряджаються та поляризації кожного з компонентів сплаву хімічного складу, які у свою чергу впливають на хімічний склад та фазову будову сплаву. Розглянемо деякі теоретичні аспекти впливу параметрів імпульсів на електролітичне покриття.

Вплив прямих імпульсів. Згідно з [8] високі значення прямого струму при імпульсному електролізі обумовлює високі миттєві густини струму, що обумовлює розряд іонів при більш від'ємних значеннях у порівнянні із стаціонарними режимами. Збільшення максимального значення густини струму прямого імпульсу приводить до прискорення зародкоутворення та зростання кристалів. В результаті відбувається подрібнення структури осадів та збільшується число дефектів кристалічної ґратки, що в цілому впливає на механічні властивості покриття.

На структуру також впливає час імпульсу, який обумовлює перерозподіл ліній струму, що дозволяє регулювати дисперсність осадів. Тривалість імпульсу впливає на відстань віддалення фронту дифузії іонів, що розряджаються: чим менша, тим ближче фронт дифузії до поверхні катоду. Більш того, форма переднього фронту також впливає на швидкість зміни електродного потенціалу: чим більш крутий

передній фронт, тим швидше зростає електродний потенціал E , що в кінцевому рахунку приводить до подрібнення та ущільнення осадів [8].

Склад сплавів за даними [9] залежить від кількості електрики, а саме максимального значення і тривалості прямого імпульсу. Збільшення при зменшенні і незмінній частоті f приводить до збагачення прикатодного шару більш електровід'ємним компонентом.

Вплив зворотних імпульсів. Під час дії зворотних імпульсів відбувається активація поверхні за рахунок «зриву» пасивних ділянок, а також розчинення мікрровиступів (дендритів). Це стимулює зародження нових центрів кристалізації при наступних прямих імпульсах, поверхня становиться більш однорідною та рівномірною. Регулюванням також можна змінювати розташування електродного потенціалу, в результаті чого в покритті може бути знижена концентрація водню в покритті [8].

При осадженні сплавів зворотними імпульсами також можна регулювати склад сплаву. Таке можливе шляхом селективного розчинення компонентів сплаву, наприклад електровід'ємного; тоді створюється фаза з електропозитивного компоненту. Зворотні імпульси також дозволяють виводити неметалеві елементи з прикатодної зони, отримуючи складні сплави [9].

Наявність пауз. Паузи в процесі електролітичного нанесення покриттів дозволяють збагатити концентрацію катіонів у прикатодній зоні за рахунок їх руху із глибини розчину. Однак треба враховувати, що під час пауз на катоді (деталі) може з'являтися пасивна плівка. Відомо, що пасивація зменшує кількість кристалічних зародків, активних ділянок поверхні катода. Пасивна плівка може бути суцільна або часткова, що залежить від тривалості паузи T_n . Метою застосування пауз при імпульсному електролізі є гальмування зростання кристалів для отримання мілкокристалічної структури [8]. У той же час існує протилежна думка щодо необхідності застосування пауз принаймні при залізненні, оскільки поява пасивної плівки хоча б частковою створює передумову до погіршення адгезії. Тому нами було розроблено режим з використанням псевдопаузи (термін автора), що буде показано нижче.

Особливу роль паузи набувають при осадженні сплавів, оскільки при цьому використовують комплексні електроліти, в яких потенціал у паузу за рахунок дії псевдоємності електроду на певний час затримується в електровід'ємній області. У простих же електролітах електродний потенціал до свого стаціонарного значення у паузу спадає набагато швидше. Механізм дії паузи пояснюють так [9]: під час паузи можлива парціальна реакція внутрішнього електролізу, тобто при розряді псевдоємності електроду на реакцію виділення компоненту більш електропозитивного. При збільшенні тривалості паузи T_n потенціал електроду зміщується в сторону більш електропозитивного, тоді більш електропозитивний компонент може довше розряджатися. Однак при T_n більшим за час, який необхідний для повернення електроду у стаціонарний стан, кількість електропозитивного компоненту буде знижуватись [8, 9].

Методика проведення експериментів. Для визначення зносостійкості покриттів використовували машину тертя СМЦ-2. Випробування проводили в умовах граничного та сухого тертя за схемою «ролик – колодка». Зразки виготовляли зі сталі 45. Еталонні зразки та контртіло піддавали термічній обробці: гартували на глибину до 2 мм з наступним відпуском при температурі 573 К, твердість після термічної обробки складала 45...60 HRC, що відповідає вимогам до валиків гальмівної важільної передачі та ресорного підвішування. У якості зразків в залежності від поставлених задач виступали як ролики, так і колодки. Товщина покриттів (після механічної обробки) коливалась у межах 0,1 ... 0,5 мм на сторону; шорсткість поверхні $Ra = 1,25 \dots 2,5$ мкм (наближена до реальних умов), також частину зразків шліфували до шорсткості $Ra = 0,3 \dots 0,6$ мкм (імітація поверхні колінчастих валів). Окрім сталі у якості матеріалу контртіла використовували сірий чавун. Площа контакту поверхні зразка та контртіла складала 2 см^2 . Для умов граничного тертя на поверхню ролика біля зони контакту подавалося мастило М14 з частотою 1 краплина за 5 хвилин. Частота обертання ролика складала 300 об/хв., лінійна швидкість в зоні контакту – 0,79 м/с; питоме навантаження для умов сухого тертя складало 1 МПа, для умов граничного в залежності від задач – від 2,0 до 5,0 МПа. Перед проведенням експериментів для визначення зносу в умовах граничного тертя, зразки витримувались у мастилі, температура якого складала приблизно 353 К протягом ~ 1,5 год. Знос визначали ваговим методом на аналітичних вагах ВДА-200 з точністю 0,1 мг. Шлях тертя для умов сухого тертя складав 3140 м ($20 \cdot 10^3$ обертів), для граничного (максимальний) – до 31400 м ($200 \cdot 10^3$ обертів). Випробуванням на знос піддавали покриття сплаву Fe-P тільки після їх відпалу.

Сплав залізо-фосфор Fe-P доволі широко відомий, тому дослідження проводилися нами в напрямку удосконалення технології нанесення покриттів з використанням даного сплаву. Відзначимо одразу, що головною перевагою даного сплаву є його висока зносостійкість. До відомих недоліків можна віднести підвищену крихкість покриттів, зменшення міцності зчеплення з основою. Нам не вдалося отримати працездатні залізофосфорні покриття без їх подальшої термічної обробки через їх високу крихкість. Тому, на нашу думку, до недоліків також можна віднести необхідність додаткових витрат на термічну обробку покриттів.

Осаджування проводили з використанням двох типів електролітів – хлористого та сульфатного. Для хлористого використовували розчин складу, г/л: $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 300 ... 400; $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 10 ... 20. Температура електроліту складала 293 ... 313 К, рН електроліту – 0,6 ... 0,8. При використанні хлористого електроліту програмували джерело живлення таким чином, щоб пауз не було, тобто використовували псевдопаузи. Максимальне значення густини струму прямих імпульсів досягало 80 А/дм^2 , зворотних – 20 А/дм^2 . Тривалість прямих імпульсів задавали в межах від 15 мс до 100 мс, зворотних – 4 ... 20 мс, тривалість псевдопаузи T_n – 150 мс.

Для отримання сплавів з сульфатних електролітів використовували розчин складу, г/л: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 220; Na_2PO_2 – 8 ... 12. Кислотність рН складала 2 ... 2,5. Осадження проводили при температурі 293 ... 298 К прямокутними імпульсами струму з частотою 30 ... 1000 Гц і шпаруватістю імпульсів від 2 до 32 та середньою густиною струму $1,5 \dots 4 \text{ А/дм}^2$. Порівняння проводили із сплавами, отриманими за допомогою постійного струму.

У роботі [2] проведено моделювання з визначення впливу електричних параметрів, а саме густини струму, шпаруватості імпульсів і частоти при електролітичному нанесенні покриттів на процентний вміст компонентів сплавів залізо-фосфор, що дозволяє прогнозувати структуру шарів покриття, які формуються та їх властивості.

У якості фіксованих значень були вибрані середня густина струму $j_\phi = 3 \text{ А/дм}^2$, частота $f = 1000 \text{ Гц}$ і шпаруватість $Q = 2$. При виборі фіксованих значень виходили з того, що при даній частоті і шпаруватості струму величина пересичення на поверхні катода досягає таких же значень, що і при процесі електрокристалізації, що протікає на постійному струмі. Це призводить до того, що концентрація фосфору в сплавах, отриманих імпульсним струмом, мало чим відрізняється від його концентрації в покриттях, отриманих на постійному струмі.

Концентрація фосфору в сплавах, як функція параметрів струму приймає вигляд [2]:

$$P(f, Q, j) = \frac{P(f) \cdot P(Q) \cdot P(j)}{P_\phi(f_\phi, Q_\phi, j_\phi)^2},$$

де P – шукана концентрація фосфору в сплаві;

P_ϕ – концентрація фосфору в сплаві, отримана при фіксованих значеннях частоти, шпаруватості, густині струму;

$P(f)$ – концентрація фосфору при вибраному значенні частоти і фіксованих значеннях решти параметрів електроосадження;

$P(Q)$ і $P(j)$ – функції для вибраних значень шпаруватості і густини струму відповідно при фіксованій решті параметрів.

В результаті проведених експериментів були отримані залежності концентрації фосфору від частоти, шпаруватості, густини струму. На підставі цих залежностей були побудовані графіки для функцій $P(Q)$ і $P(j)$, $P(Q)$ і $P(j)$ (рис. 1, 2) та за методом найменших квадратів були підібрані поліноми, що описують ці функції.

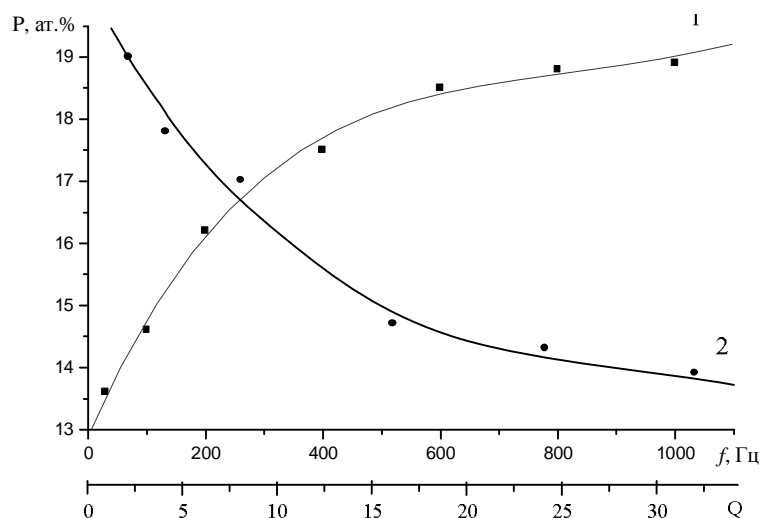


Рис. 1 – Залежність концентрації фосфору в сплаві Fe-P в сульфатному електроліті від частоти f (1) та шпаруватості Q (2)

Аналітичний вираз залежності концентрації фосфору в сплаві Fe-P від:

- частоти:

$$P(f) = 12,91 + 0,02f - 3,09 \cdot 10^{-5} f^2 + 2,02 \cdot 10^{-8} f^3 - 4,62 \cdot 10^{-12} f^4 ;$$

- шпаруватості:

$$P(Q) = 19,95 - 0,51Q + 0,013Q^2 - 0,22 \cdot 10^{-5} Q^3 - 0,26 \cdot 10^{-5} Q^4 .$$

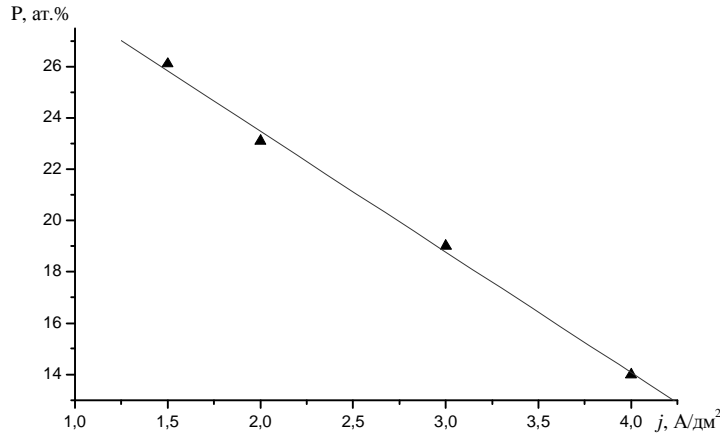


Рис. 2 – Залежність концентрації фосфору в сплаві Fe-P від густини струму j

Аналітичний вираз залежності концентрації фосфору в сплаві Fe-P від густини струму має вигляд:

$$P(j) = 32,88 - 4,7j .$$

Рентгеноструктурний аналіз показав, що сплав Fe-P характеризується аморфною структурою, про що свідчить аморфне гало на місці першого дифракційного максимуму. Рентгеноспектральний аналіз поверхні покриттів показав, що концентрація фосфору в сплаві Fe-P склала 20 ат. %. При імпульсних режимах електроосадження було встановлено, що при частотах 1000 Гц і шпаруватості 2 у сплаві спостерігалася аморфна структура, а зміст фосфору був таким же, як і у покриттів, отриманих на постійному струмі. Зменшення ж частоти імпульсного струму з 1000 Гц до 30 Гц і збільшення шпаруватості імпульсів з 2 до 32 приводить до зменшення змісту фосфору в сплавах до 10 ... 12 ат. %. Зменшення змісту фосфору позначилося на зміні структури покриттів. При концентрації фосфору менше 13 ат. % на дифрактограмі окрім аморфного гало спостерігалися віддзеркалення від дифракційних площин з малими індексами. Разом з аморфною структурою, що характеризується ближнім порядком стала формуватися кристалічна структура сплаву, для якій характерний дальній порядок розташування атомів. Отримувані сплави характеризувалися наявністю змішаної структури – аморфно-кристалічною. Подальше зниження частоти і збільшення шпаруватості призводило до того, що концентрація металоїду зменшилася в сплаві Fe-P до 9 ... 10 ат. %. Зниження змісту фосфору приводило до зменшення аморфної частки сплаву і збільшення його кристалічної. При вказаних вище концентраціях структура сплавів була повністю кристалічною.

Зниження вмісту фосфору в сплавах при зниженні частоти і збільшенні шпаруватості пов'язане з тим, що густина струму в імпульсі зростає, тоді як середня густина струму залишається незмінною, струм же розряду іонів фосфору при цьому досягає свого максимального значення, і розряд іонів відбувається в режимі насичення, тоді як струми розряду основних металів цього стану ще не досягають. Крім того, необхідно відзначити, що із збільшенням шпаруватості і зменшенням частоти зменшується вихід по струму металів до 60 % за рахунок того, що збільшується частка струму водню. На поверхні катода спостерігається інтенсивне виділення водню, бульбашки водню, що утворюються на поверхні покриття перешкоджають відновленню фосфору, а відповідно знижує його концентрацію в сплаві.

Зауважимо, що сама по собі аморфна структура отримана електролітично, на відміну від інших способів, практичне значення має невисоке при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт деталей рухомого складу, тому не є самоціллю. Тобто проведені експерименти показали, що осажені сплави Fe-P з аморфною та аморфно-кристалічною структурою мали високу крихкість, яка унеможливила проведення повноцінних подальших експериментів для виявлення їх механічних та експлуатаційних властивостей. Для забезпечення працездатності таких сплавів проводили термічну обробку, після якої структура була кристалічною, ультрадисперсною, щільно упакованою. Тому на етапі осаження покриттів вигідно отримати сплав, у даному випадку залізо-фосфор, з аморфною структурою.

Характерною особливістю формування аморфних сплавів в імпульсних режимах від отриманих в стаціонарних умовах є те, що аморфну структуру вдається отримати при менших концентраціях фосфору. Для Fe-P сплавів при частотах і шпаруватостях рівних відповідно 30 і 4 Гц аморфна структура спостерігалася при змісті фосфору 13 ат. %, тоді як сплави, отримані на постійному струмі, з таким вмістом фосфору характеризувалися наявністю аморфно-кристалічної структури. Пояснити дане явище можна тим, що в імпульсних режимах поляризація катода (різниця потенціалів катода у відсутності струму і у момент імпульсу), а відповідно і пересичення на його поверхні зростають із зростанням шпаруватості і зменшенням частоти і складає декілька десятків вольт, що приводить до збільшення запасу вільної енергії. Ця енергія перевищує на порядок енергію, яка відповідає кристалічній решітці з великою концентрацією точкових і лінійних дефектів близько $10^{13} \dots 10^{14} \text{ см}^{-2}$. За рахунок великих пересичень відбувається формування високодефектної структури.

У подальшому отримані покриття сплавів піддавали відпалу протягом 1 години при температурі 700 К, яка є вище за температуру рекристалізації заліза. При цьому спостерігалася зменшенням внутрішнього напруження, що імовірно пов'язано з значним виділенням включеного в сплав водню і про що свідчить зміна дифракційної картини. Високотемпературний відпал при 700 К повністю переводить покриття з аморфного стану в кристалічне з утворенням двох фаз: фосфід заліза Fe_3P і твердий розчин фосфору в α -Fe.

Зносостійкість сплаву Fe-P

Як і для осаджених залізних покриттів зносостійкість електролітично нанесених сплавів залежить від структури, у тому числі, структурних дефектів, але відмінністю сплавів від електролітичного заліза є різниця хімічного складу, що також може значно впливати на процеси зношування.

Одним із факторів, що пояснює високу зносостійкість сплаву Fe-P є його температурна стабільність в процесі тертя. Як показали експерименти, якщо у еталонних зразків відбувалось зниження твердості поверхні \sim на 15 ... 20 HRC, що вочевидь пояснюється знеміцненням, то у зразків з електроосадженими Fe-P сплавами – збереження або навпаки підвищення мікротвердості. Даний ефект у деякій мірі підтверджується зростанням H_{μ} при збільшенні питомого навантаження. Крім того, можна припустити, що даний сплав характеризується стабільністю у відтворюванні окисної плівки на поверхні тертя. Дане припущення збігається з висновками, зробленими іншими дослідниками відносно електролітичного заліза [10]. Також відомим поясненням високої зносостійкості покриттів електролітичного сплаву Fe-P є утворення після відпалу фосфідів. При шаруватій структурі утворені фосфіди рівномірно розподілені по площині шарів покриття. Залежність зносу покриття зразків від шляху тертя показано на рис. 3, 4.

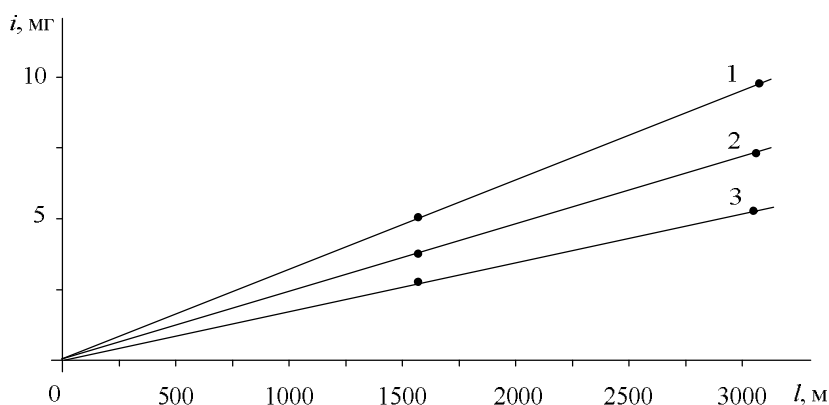


Рис. 3 – Знос електролітичного сплаву Fe-P при сухому терті.

Шлях тертя 3140 м, тиск 1 Мпа:

1 – електролітичне залізо;

2 – сплав Fe-P осаджений на постійному струмі;

3 – сплав Fe-P осаджений програмно

На нашу думку однією з головних відмінностей і переваг розробленої технології є можливість лише за рахунок електричних режимів регулювати вміст фосфору в сплаві, створювати умови для часткової релаксації внутрішніх напружень по товщині покриття, що загалом дозволяє при відносно високому відсотковому вмісті фосфору та високій мікротвердості отримувати міцне зносостійке покриття. Отримати подібні покриття за допомогою стаціонарних режимів не вдалося, що свідчить про переваги використання програмного електролізу. На жаль, на даний момент нам не вдалося отримати покриття зі

сплавом Fe-P (та й іншими сплавами) з мікросшарами з різкозмінним вмістом легуючих елементів, що теоретично було б цікавим. Можливо, це пов'язано з певною інерційністю процесів, тому, хоча вміст компонентів по товщині змінюється, однак даний процес відбувається не детерміновано, а плавно. Однак в цілому, це не знижує практичної цінності отриманих результатів.

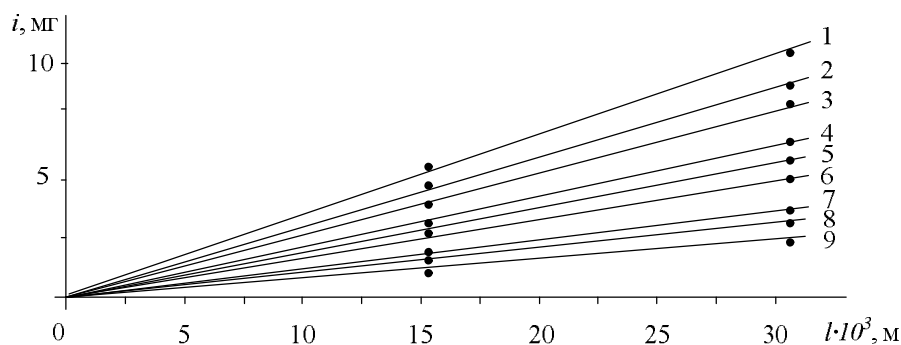


Рис. 4 – Знос електролітичного сплаву Fe-P при граничному терті. Шлях тертя 31400 м.
Тиск (1, 2, 3) – 5 МПа, (4, 5, 6) – 3 МПа, (7, 8, 9) – 1 МПа
1, 4, 7 – електролітичне залізо; 2, 5, 8 – сплав Fe-P осаджений на постійному струмі;
3, 6, 9 – сплав Fe-P осаджений програмно

На нашу думку однією з головних відмінностей і переваг розробленої технології є можливість лише за рахунок електричних режимів регулювати вміст фосфору в сплаві, створювати умови для часткової релаксації внутрішніх напружень по товщині покриття, що загалом дозволяє при відносно високому відсотковому вмісті фосфору та високій мікротвердості отримувати міцне зносостійке покриття. Отримати подібні покриття за допомогою стаціонарних режимів не вдалося, що свідчить про переваги використання програмного електролізу. На жаль, на даний момент нам не вдалося отримати покриття зі сплавом Fe-P (та й іншими сплавами) з мікросшарами з різкозмінним вмістом легуючих елементів, що теоретично було б цікавим. Можливо, це пов'язано з певною інерційністю процесів, тому, хоча вміст компонентів по товщині змінюється, однак даний процес відбувається не детерміновано, а плавно. Однак в цілому, це не знижує практичної цінності отриманих результатів.

При сухому терті (моделювання ситуації пуску, вичавлювання мастила із зони контакту, втрату мастила між контактними поверхнями) представляло інтерес здатність розглядуваного сплаву протистояти схоплюванню, оскільки цей вид зношування є одним із визначальних. Як показали експерименти, сплав Fe-P здатний витримувати без схоплювання питоме навантаження 1,3 ... 1,7 МПа навіть при контактуванні з контртілом із загартованої сталі. Можливо, виникнення схоплювання при більших навантаженнях пов'язано з тим, що швидкість руйнування окисної плівки привалює над швидкістю її утворення, хоча дане припущення не є достовірно перевіреною і залишається лише припущенням. Проте, сплав Fe-P показав себе більш зносостійким у порівнянні з еталонними зразками та однозначно може бути рекомендований для практичного використання у ремонтній практиці залізниці.

Також зауважимо відмінність зв'язку мікротвердості електролітичного заліза, у якого оптимальна H_{μ} за критерієм зносу знаходиться у межах 4500 ... 5500 МПа [10], для сплаву Fe-P цей оптимум зміщується в бік збільшення мікротвердості та має менш виражений характер (рис. 5).

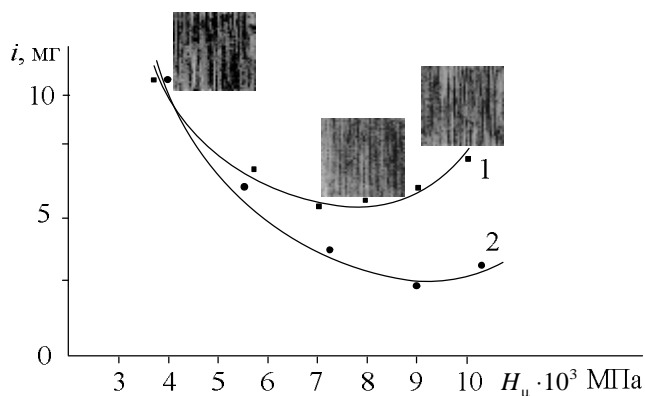


Рисунок 5 – Зв'язок між мікротвердістю та зносом електролітичного сплаву Fe-P:
1 – при сухому терті;
2 – при граничному терті

Як видно з рис. 5 найменший знос розглядуваного сплаву знаходиться в межах 8500...9500 МПа при граничному терті та 7000 ... 8500 МПа при сухому. Неспівпадіння зазначених мікротвердостей, при яких знос мінімальний можна пояснити різними температурними режимами та структурними перетвореннями в зоні контакту поверхонь при терті. Можна також припустити, що незначне збільшення зносу при збільшенні мікротвердості, як і у випадку з електролітичним залізом, пов'язане з окрихтуванням поверхневих шарів та проходженням відокремлених твердих та надтвердих часток між контактними поверхнями, утворюючи паралельні риски на поверхнях. Додатковим фактором, що сприяє підвищенню зносостійкості при програмному нанесенні електролітичних сплавів, зокрема, Fe-P є те, що шар, який знаходиться під поверхневим шаром має меншу мікротвердість та більш пластичний. По мірі зносу контактуючого шару і наближення до підповерхневого, останній зміцнюється, якщо температура в зоні контакту не перевищує критичної, при якій відбувається перекристалізація або розм'якшення поверхневого шару. Зазначений цикл продовжується, доки система знаходиться в рівновазі.

Висновки

Використання програмного електролізу має широкі можливості, які дозволяють отримувати якісні відновлювальні покриття та в певних межах впливати на структуру і хімічний склад сплавів за рахунок селективного розряду компонентів електроліту і тим самим регулюючи пошарово властивості всього покриття.

У процесі досліджень було встановлено, що при терті сплаву Fe-P, як і багатьох інших матеріалів, відбувається комбінація різних механізмів зношування. Зносостійкість отриманого програмно сплаву Fe-P приблизно у 2,8 разів вище при сухому терті та у 2,3 рази при граничному у порівнянні зі сталлю 45; 1,18 рази у порівнянні із аналогічними покриттями, отриманими у стаціонарних умовах; ~ у 2 рази більше у порівнянні з електролітичним залізом.

Література

1. Артемчук В.В. Зносостійкість шаруватого залізного покриття отриманого програмним електролізом // Проблеми трибології. – 2012. – № 1. – С. 72 - 79
2. Заблудовський В.О., Ганич Р.П., Артемчук В.В. Вплив параметрів імпульсного струму у формуванні структури сплавів металів групи заліза з фосфором // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т.13, № 1. – С. 214 - 219.
3. Заблудовський В.О., Ганич Р.П., Артемчук В.В. Дослідження структурних перетворень в сплавах Fe-Ni-P, отриманих в нерівноважних умовах електрокристалізації // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т.13, № 2. – С. 618-624.
4. Петров Ю.Н. Электролитическое осаждение железа / Петров Ю.Н., Гурьянов Г.В., Бобанова Ж.И., Сидельникова С.П., Андреева Л.Н. – Кишинев: Штиинца, 1990. – 195 с.
5. Закиров Ш.З. Упрочнение деталей электроосаждением железа. Душанбе: Изд-во «Ирфон», 1978. – 208 с.
6. Швецов А.Н. Основы восстановления деталей осталиванием. – Омск: Западно-сибирское КИ. – 1973. – 143 с.
7. Мелков М.П. Электролитическое наращивание деталей машин твердым железом. – Саратов: Приволжское книжное издательство. – 1964. – 204 с.
8. Костин Н.А. Импульсный электролиз / Костин Н.А., Кублановский В.С., Заблудовський В.О. – К.: Наук. думка, 1989. – 168 с.
9. Костин Н.А. Импульсный электролиз сплавов / Костин Н.А., Кублановский В.С. – К.: Наук. думка, 1996. – 206 с.
10. Шадричев В.А. Основы выбора рационального способа восстановления автомобильных деталей металлопокрытиями. – М.-Л.: Машгиз, 1962. – 296 с.

Поступила в редакцію 12.09.2013

Artemchuk V. Properties of layered electrolytic alloys Fe-P, received the Software electrolysis.

The article deals with one of the promising areas of repair production, namely the restoration of components, in particular layered coatings with desired properties. A study evaluating the efficacy of electrolytic iron-phosphorus alloys, the definition of a rational component content in the alloy layers deposited coatings. The purpose of this study is to determine the properties and performance of electrolytic iron-based alloys, the definition of rational content of the components in the alloy layers renewable coatings.

The problem of improving the reliability and lifetime of the details are important and relevant not only for rail transport, but also for any vehicle. One of the priorities of industry output also remains the repair of railway on the current level.

Use of the electrolysis has broad capabilities that allow for high-quality restoration coatings and to some extent affect the structure and chemical composition of alloys by selective discharge of electrolyte components, thereby adjusting layer properties only coverage. During the research it was found that the friction of the alloy Fe-P, as well as many other materials, is a combination of different mechanisms of wear. Wear resistance of the resulting software Fe-P alloy at about 2.8 times higher in dry friction and is 2.3 times the limit when compared to steel 45; 1.18 times compared to similar coatings obtained in stationary conditions; ~ 2 times increase from electrolytic iron.

Key words: rolling-stock, reconditioning of parts, electrolysis, electrolytic alloys, layered coating, wear resistance, resource.

References

1. Artemchuk V.V. Znosostijkist' sharuvatogo zalznogo pokrittja otrimanogo programnim elektrolizom. Problemi tribologii. 2012. № 1. S. 72 - 79
2. Zabludovs'kij V.O., Ganich R.P., Artemchuk V.V. Vpliv parametriv impul'snogo strumu u formuvanni strukturi splaviv metaliv grupi zaliza z fosforom. Fizika i himija tverdogo tila. 2012. T.13, № 1. S. 214 - 219.
3. Zabludovs'kij V.O., Ganich R.P., Artemchuk V.V. Doslidzhennja strukturnih peretvoren' v splavah Fe-Ni-P, otrimanih v nerivnovazhnih umovah elektrokristalizacii. Fizika i himija tverdogo tila. 2012. – T.13, № 2. S. 618-624.
4. Petrov Ju.N., Gur'janov G.V., Bobanova Zh.I., Sidel'nikova S.P., Andreeva L.N. Jeletroliticheskoe osazhdenie zheleza. Kishinev: Shtiinca, 1990. 195 s.
5. Zakirov Sh.Z. Uprochnenie detalej jelektroosazhdeniem zheleza. Dushanbe: Izd-vo «Irfon», 1978. 208 s.
6. Shvecov A.N. Osnovy vosstanovlenija detalej ostalivaniem. Omsk: Zapadno-sibirskoe KI. 1973. 143 s.
7. Melkov M.P. Jeletroliticheskoe narashhivanie detalej mashin tverdym zhelezom. Saratov: Privolzhskoe knizhnoe izdatel'stvo. 1964. 204 s.
8. Kostin N.A., Kublanovskij V.S., Zabludovs'kij V.O. Impul'snyj jelektroliz. K.: Nauk. dumka, 1989. 168 s.
9. Kostin N.A., Kublanovskij V.S. Impul'snyj jelektroliz splavov. K.: Nauk. dumka, 1996. 206 s.
10. Shadrichev V.A. Osnovy vybora racional'nogo sposoba vosstanovlenija avtomobil'nyh detalej metallopokrytijami. M.-L.: Mashgiz, 1962. 296 s.