

В.В. Артемчук

Властивості відновлювальних електролітичних сплавів, отриманих програмно

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. м.
Дніпропетровськ, вул. акад. В. Лазаряна, 2. E-mail: art_vv@ukr.net, (067)5659803*

Представлено результати дослідження впливу імпульсного струму на структуру і фізико-механічні властивості електролітичних сплавів групи заліза. Показано, що на їх структуру і властивості суттєво впливає не тільки концентрація компонентів, але і нерівноважні умови кристалізації викликані імпульсними режимами осадження.

Ключові слова: структура, електролітичний сплав, мікротвердість, міцність зчеплення, імпульсний струм, рухомий склад, відновлення деталей, зносостійкість.

Стаття постуила до редакції 11.02.2013; прийнята до друку 15.06.2013.

Вступ та постановка проблеми

В процесі експлуатації деталі рухомого складу зношуються, в результаті чого потребують заміни на нові або відновлення. На даний час існує багато способів відновлення деталей, серед яких можна виділити: наплавлення; приварку металевого шару; газотермічне напилювання; електролітичне нанесення покриттів; застосування полімерних матеріалів і металополімерних композицій; електрофізичні й електрохімічні методи відновлення деталей; відновлення деталей пластичним деформуванням та інші. Проте, згідно [1 - 3], у локомотиворемонтних заводах та депо найбільше застосування знайшли три способи: наплавлення, газотермічне напилювання і електролітичне нанесення відновлювального шару. Зазначені методи мають застосування в ремонтному виробництві для ремонту певних груп деталей.

Широкими можливостями відновлення та підвищення зносостійкості деталей володіє технологія електролітичного нанесення покриттів. Застосування електролітичних методів дозволяється та регламентується правилами та інструкціями по ремонту локомотивів і моторвагонного рухомого складу залізниць [1, 2, 4]. В умовах ремонтного виробництва за допомогою різноманітних гальванічних технологій вирішується низка важливих задач: нанесення відновлювальних шарів та зміцнення робочих поверхонь деталей, відновлення натягу в нерухомих і номінального зазору в рухомих з'єднаннях; отримання приробочого шару на робочій поверхні; захист деталей від корозії; осадження захисно-декоративного шару та ін. Виконання

поставлених задач здійснюються за допомогою процесів хромування, залізнення, нікелювання, цинкування, міднення, луження, а також сплавів на їх основі. Для відновлення зношених деталей, серед гальванічних технологій, як правило, використовують електролітичне залізнення, хромування або їх комбінацію, а також електролітичні сплави [1, 2, 5].

Перевагами електролітичних методів нанесення покриттів в порівнянні з іншими є: висока міцність зчеплення; зниження собівартості ремонту за рахунок одночасного відновлення великої кількості деталей; можливість регулювання механічних властивостей покриттів шляхом зміни параметрів електричного режиму осадження; можливість автоматизації; мінімальні витрати на фінішну обробку; можливість відновлювати тонкостінні деталі і деталі складної конфігурації, а також внутрішні поверхні циліндрів; осталькування можна застосовувати для деталей із чавуна, алюмінію і його сплавів, міді і її сплавів. Крім того, гальванічна технологія відновлення відрізняється відносною простотою і є ресурсозберігаючою, оскільки хлоридний електроліт залізнення можна готувати з відходів виробництва - стружки маловуглецевих сталей, а розчинні аноди застосовують також із маловуглецевих сталей Ст 3...Ст 20. До недоліків електролітичних методів можна віднести: схильність деяких електролітів до окислювання, необхідність чіткого дотримання технології, проблеми пов'язані з екологічними аспектами, а саме проблема очищення стічних вод, витрати води, створення вентиляції та ін.). У той же час необхідно вказати, що вже існують нешкідливі для навколишнього середовища процеси

осталювання [6]; процес хромування вдосконалюють шляхом переходу з шестивалентного на трьохвалентний розчин, що у значній мірі поліпшує екологічну складову процесу. Крім того, у даний час усі гальванічні процеси розробляють з обов'язковим застосуванням системи оборотного водопостачання, що дозволяє різко знизити витрату води і запобігти викидам шкідливих хімікатів у стічні води.

З огляду на широкі можливості та перспективи застосування у ремонтних технологіях відновлювальних покриттів, розробка та використання сучасних технологій відновлення та зміцнення зношених деталей є актуальною проблемою. Представлена робота є продовженням досліджень [7 - 9]. Метою даної роботи є визначення деяких властивостей та працездатності електролітичних сплавів на основі заліза, визначення раціонального вмісту складових компонентів сплавів у шарах відновлювальних покриттів.

I. Експеримент

Для нанесення електролітичних покриттів була розроблена установка, яка дозволяє проведення стаціонарного, нестационарного, ванного та позаванного електролізу (рис. 1).

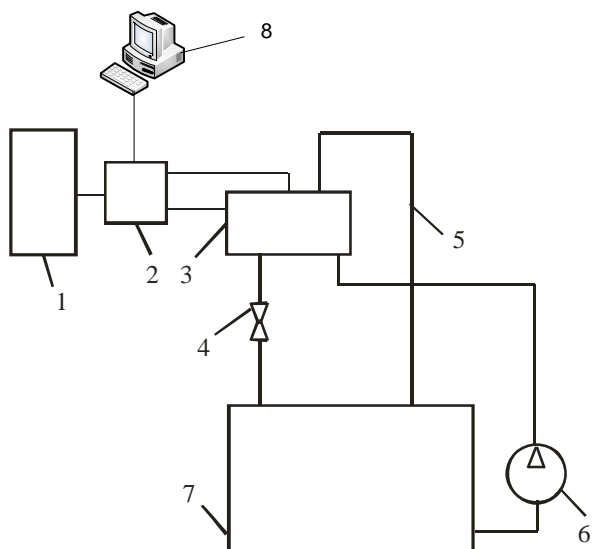


Рис. 1. Установка для нанесення електролітичних покриттів: 1 – джерело електричної енергії; 2 – система керування; 3 – комірка; 4 – кран; 5 – гнучкі шланги; 6 – насос; 7 – ємність; 8 – ЕОМ.

Розроблена установка (рис. 1) допускає виконання технологічних операцій без та з ЕОМ. Джерело 1 може використовуватись, як джерело постійного струму, якщо ЕОМ (8) не задіяна. При роботі цієї установки рідина, наприклад, електроліт за допомогою насоса 6 із ємності 7 через гнучкі полівінілхлоридні шланги 5 поступає до електролітичної комірки 3 і повертається у ємність 7. По закінченню операції вимикають насос, відкривають кран 4 і залишки рідини зливаються у ємність 7. При необхідності проведення

експериментів у ванні, використовували цю ж установку, але без елементів 3, 4, 5, 6. Для проведення досліджень використовували розроблене джерело живлення 8 (рис. 1), частково описане в роботі [7], яке дозволяє регулювати електричні режими процесу осадження в широких межах. 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 залізничі з метою відновлення та зміцнення деталей проводили залізнення, цинкування, нікельювання, хромування та міднення, а також процеси пов'язані з отриманням сплавів на основі заліза.

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 підвищування. 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 $R_a = 1,25...2,5$ мкм (наближена до реальних умов), також частину зразків шліфували до шорсткості $R_a = 0,3...0,6$ мкм (імітація поверхні колінчастих валів). Окрім сталі у якості матеріалу контртіла використовували сірий чавун. Площа контакту поверхні зразка та контртіла складала 2 см². 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 ($20 \cdot 10^3$ обертів). Випробуванням на знос піддавали покриття сплаву Fe – P тільки після їх відпау.

Сплав Fe – Mn отримували з хлористого електроліту складу, г/л: $FeCl_2 \cdot 4H_2O - 200...250$; $MnCl_2 \cdot 4H_2O - 100...150$. Для підвищення продуктивності процесу застосовували добавку, г/л: $AlCl_3 \cdot 6H_2O - 90...120$. При цьому pH електроліту підтримували на рівні 2,4...2,6; Середню густина струму змінювали в інтервалах від 3 до 35 А/дм²; початкова температура електроліту дорівнювала

температурі навколишнього середовища, але не нижче 293 К, в процесі електролізу температура могла досягати 313...323 К.

Сплав залізо-фосфор $Fe-P$ отримували з використанням двох типів електролітів: хлористого та сульфатного. Для хлористого використовували розчин складу, г/л: $FeCl_2 \cdot 4H_2O - 300...400$; $NaH_2PO_2 \cdot H_2O - 10...20$. Температура електроліту складала 293...313 К, pH 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 J_m^{np} досягало 80 А/дм², зворотних J_m^{36} – 20 А/дм². Тривалість прямих імпульсів T_i^{np} задавали в межах від 15 мс до 100 мс, зворотних T_i^{36} – 4...20 мс, тривалість псевдопаузи T_n – 150 мс.

Для отримання сплавів з сульфатних електролітів використовували розчин складу, г/л: $FeSO_4 \cdot 7H_2O - 220$; $Na_2PO_2 - 8...12$. Кислотність pH 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...4 А/дм². Порівняння проводили із сплавами, отриманими за допомогою постійного струму.

Для отримання сплавів $Fe-Ni-P$ використовували сульфатні солі заліза і нікелю, у якості добавки виступаючої в ролі донора фосфору використовували сіль гіпофосфіту натрію. Електроліти мали наступний склад (г/л): $FeSO_4 \cdot 7H_2O - 220$; $NiSO_4 \cdot 7H_2O - 80$; $H_3BO_3 - 20$;

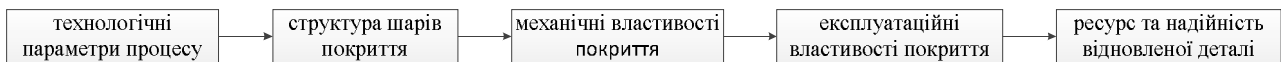
$Na_2PO_2 - 8...12$. Корекція кислотності $pH = 2...2,5$ здійснювали додаванням 5% розчину H_2SO_4 . Осадження проводили при температурі 293...298 К прямокутними імпульсами струму з частотою f 30...1000 Гц і шпаруватістю імпульсів Q від 2 до 32 та середньою густиною струму 1.5...4 А/дм².

Порівняння проводили із сплавами, отриманими за допомогою постійного струму.

Фазовий склад визначали на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3.0 у монохроматизованому $Co-K\alpha$, $Cu-K\alpha$ випромінюванні. Елементний склад визначали на рентгенівських спектрометрах VRA 20, VRA 30 шляхом виміру інтенсивності аналітичних ліній $K\alpha$ для елементів заліза та нікелю (35 кВ, W – анод) і для фосфору (Rh – анод). Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 0,2 Н.

II. Результати та їх обговорення

Підвищення надійності та ресурсу деталей рухомого складу можливе при покращенні 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 певного результату можна представити у такому вигляді.



Структурна послідовність утворення відновлювальних покриттів.

Для ремонтного виробництва з представленої структурної схеми перш за все мають значення перший та останній блоки, оскільки саме вони визначають собівартість процесу відновлення та практичну цінність тієї або іншої технології. Однак без дослідження й інших блоків структури (рис. 1) отримати раціональну технологію відновлення деталей фактично неможливо. Тому виникає необхідність проводити цілісні поетапні дослідження представленої структури.

Сплав залізо-марганець $Fe-Mn$

Неодмінною перевагою в економічному сенсі від використання марганцю є його дешевизна та наявність запасів на території України. Також відомо, що застосування даного компоненту дозволяє підвищити твердість, зносостійкість та міцність сталей. Тому легування електролітичних покриттів

марганцем представляє певний інтерес.

Аналіз структури осаджених сплавів показав, що підвищення густини струму приводить до зростання катодної поляризації й у сплаві збільшується частка марганцю, як більш електровід'ємного компоненту (рис. 2).

При формуванні сплавів $Fe-Mn$ покриття отримували шаруватим, причому характерним було те, що при товщині шарів на рівні розмірів блоків мозаїки електролітичного заліза, тобто приблизно 100 Å шар практично не розтріскувався. Можливо цей ефект пов'язаний з доволі високим потенціалом (до 420 мВ при густині струму 35 А/дм²) осаження розглядуваного сплаву. Зменшення густини струму приводить до збільшення товщини шарів та самих кристалітів. Блоки мозаїки змінюють кут розорієнтування з 10...12° до 1,0...2,0°.

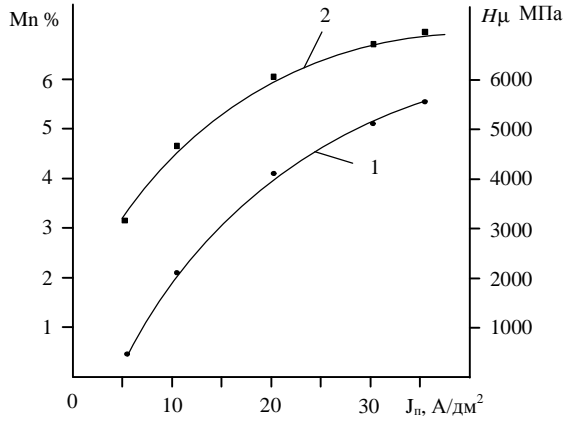


Рис. 2. Залежність вмісту *Mn* (1) та мікротвердості (2) сплаву *Fe–Mn* від густини струму.

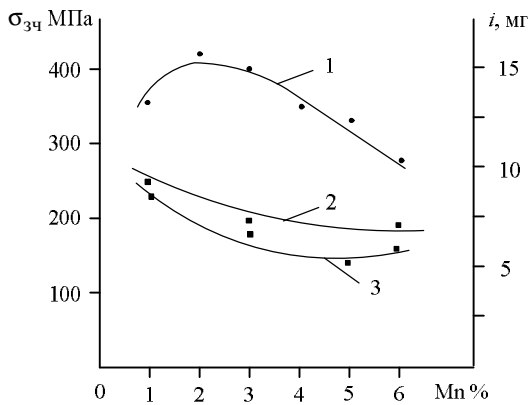


Рис. 3. Залежність міцності зчеплення (1) та зносу (2, 3) сплаву *Fe–Mn* від вмісту марганцю: 2 – при сухому терті, шлях тертя – 3140 м, тиск 1 МПа; 3 – при граничному терті, шлях тертя – 31400 м, тиск 3 МПа.

Дослідження мікротвердості сплаву *Fe–Mn* показали, що змінюючи електричні режими процесу, можна впливати на структуру сплаву, що, у свою чергу, впливає на механічні властивості покриття. На рис. 2 представлені результати досліджень, з яких витікає, що підвищення середнього значення густини струму приводить до підвищення мікротвердості покриття.

Вочевидь зростання мікротвердості пов'язано зі збільшенням вмісту марганцю в сплаві та отриманням більш мілкокристалічної структури покриття, що в цілому збігається з даними інших дослідників. Характерним також є те, що *H_ц* сплаву *Fe–Mn* може перевищувати на 1500 МПа мікротвердість електролітичного заліза, отриманого при тих же умовах осадження.

Згідно [10] включення в осад 2 % марганцю покращує міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ покриття з основою, хоча дані не наведені. З метою визначення впливу вмісту марганцю на $\sigma_{зч}$ були проведені відповідні експерименти, результати яких представлені на рис. 3. Результати дослідження зносостійкості також представлені на рис. 3.

Як видно з рис. 3 збільшення вмісту марганцю в сплаві в певних межах приводить до зменшення

величини зносу. Даний факт, можливо, пов'язаний з декількома причинами. По-перше, структура сплаву отримується більш ущільнена, з меншими розмірами зерен і субзерен. При цьому, на відміну від електроосадженого заліза, при розмірах блоків мозаїки 100 Å покриття мало фактично суцільний поверхневий шар з невисокою кількістю поверхневих тріщин. По-друге, включення в кристалічну решітку атомів марганцю, які спричинюють локальні викривлення, створюють додатковий опір вільному переміщенню дислокацій.

Аналізуючи та співставляючи отримані результати досліджень, видно, що введення в сплав 1,5...1,8 % марганцю дійсно сприяє збільшенню $\sigma_{зч}$, однак при його більшому вмісті значення $\sigma_{зч}$ знижується. Зменшення $\sigma_{зч}$ із зростанням *Mn* можна пояснити збільшенням дефектності покриття та відмінності структури підложки та осаду. Враховуючи отримані результати, нами запропоновано для практичних цілей при відновленні деталей рухомого складу даним сплавом перші шари (адгезійні) осаджувати при вмісті марганцю до 1,5 % з поетапним його збільшенням до 4,5...5 %. Як вже зазначалось, регулювання вмісту легуючого компоненту *Mn* здійснювалося програмно за рахунок зміни максимальних значень прямого та зворотного струмів та їх тривалості. У даному процесі паузу не використовували.

Сплав залізо-фосфор *Fe–P*

Сплав залізо-фосфор 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 термічної обробки через їх високу крихкість, тому, на нашу думку, до недоліків також можна віднести необхідність додаткових витрат на термічну обробку покриттів.

Згідно літературних даних і власних досліджень можна відзначити, що утворення фосфідів призводить до зростання мікротвердості покриттів у порівнянні з не відпаленими. За даними [11] мікротвердість *H_ц* до відпалу складала 7850...8850 МПа, після відпалу – 14700...17700 МПа; за даними [10] – 7000...8000 МПа, після відпалу 16000 МПа; за нашими даними *H_ц* при стаціонарних умовах не перевищувала 5600 МПа, то після утворення фосфідів при високотемпературному відпалі вона досягла значень близько 7200 МПа, при тих же умовах, використовуючи програмний електроліз вдалося за рахунок зміни електричних режимів отримувати *H_ц* покриття 8300 МПа, а після відпалу – 10200 МПа. Різниця отриманих значень мікротвердості, можливо, пов'язана з неспівпадінням умов електролізу, а також методами вимірювання *H_ц*. Зазначимо також, що згідно розробленій технології

нанесення відновлювальних покриттів, електричні режими змінювали таким чином, щоб у осаджуваних шарах змінювати відсотковий вміст фосфору від мінімального в перших (адгезійних) шарах до певного умовного максимуму, а в приповерхневих шарах знову зменшити його вміст (рис. 4, 5).

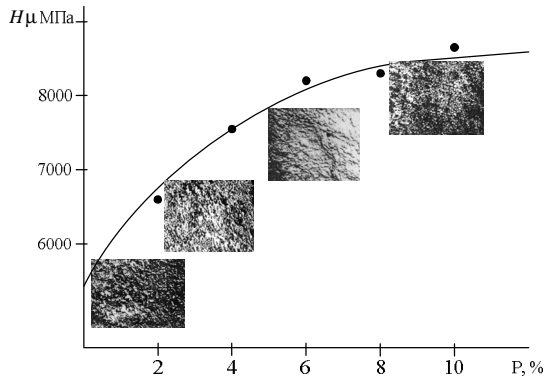


Рис. 4. Залежність мікротвердості електролітичного сплаву $Fe-P$ від вмісту фосфору в покритті.

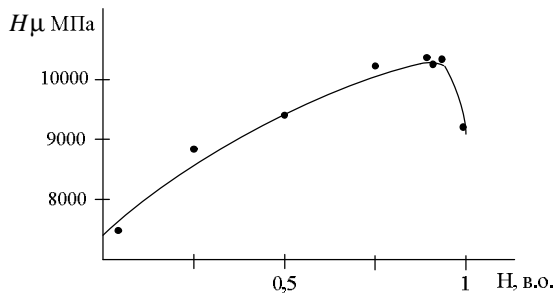


Рис. 5. Розподіл мікротвердості сплаву $Fe-P$ (після відпалу) по товщині покриття.

Зниження вмісту Fe у поверхневих шарах за розробленою технологією продиктовані суто технологічними та експлуатаційними вимогами, а саме мінімізувати витрати на фінішну механічну обробку та створити умови припрацювання з мінімально можливим зносом контактуючих поверхонь.

На рис. 5 товщина покриття H подана у відносних одиницях, оскільки необхідна H відновлювального покриття деталі залежить від ступеню її зносу, тому для зручності доцільним є задавання розподілу мікротвердості по товщині покриття, H якого подано у відсотковому відношенні або відносних одиницях. Як вже зазначалося, програмний електроліз дозволяє змінювати мікротвердість у певних межах, регулюючи електричні режими процесу. Залежність мікротвердості від інших чинників (концентрації компонентів розчину, кислотності, різних добавок та ін.) в роботі не розглядали, оскільки це не є метою даної роботи.

Міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ сплаву залізо-фосфор. Відомо, що наявність фосфору у адгезійних шарах зменшує міцність зчеплення покриття з основою, що пояснюється їх структурною різницею. Особливо це

стосується високолегованих та високовуглецевих сталей. На початкових стадіях процесу при електролітичному осадженні зовні хаотично з'являються центри кристалізації. Створення умов для рівномірного розподілу центрів зародження кристалів сприяє підвищенню $\sigma_{зч}$. Вважається, що центри зародків утворюються переважно на структурних дефектах спочатку основи, а потім і самого покриття. Враховуючи сказане, нами запропоновано на базі одного електроліту, змінюючи електричні режими, мінімізувати вміст фосфору в початкових адгезійних шарах. Сказане здійснювали за рахунок збільшення максимального значення густини струму прямого імпульсу, але при цьому забезпечуючи середню густину струму на рівні 2 A/дм^2 . Проте зауважимо, що забезпечити покриття з початковими шарами без фосфору не вдалося; мінімальний вміст в адгезійних шарах склав 1,5%. На підставі проведених експериментів було встановлено, що міцність зчеплення сплаву $Fe-P$ (180 МПа) при самих різних режимах поступалася електролітичним залізним покриттям (325 МПа), однак отримані значення цілком достатні для забезпечення надійної роботи відновлених деталей. Цікавим є те, що механізм створення міцних адгезійних зв'язків сплаву $Fe-P$ є конкуруючим. Фактори, що знижують поляризацію катоду сприяють підвищенню $\sigma_{зч}$; до електричних факторів, як відомо, відноситься катодна густина струму (хімічні у даному випадку не розглядаються), тобто на перших етапах її необхідно зменшувати. У той же час зменшення густини струму приводить до збільшення вмісту фосфору в покритті, що значно погіршує $\sigma_{зч}$. Таким чином виникає необхідність знаходження раціональних електричних режимів, що дозволяють при мінімально можливому вмісті легуючого елементу – фосфору отримувати відносно крупнокристалічні ненапружені початкові шари. Проте досягти на практиці очікуваних теоретично розрахованих результатів не вдалося і значення $\sigma_{зч}$ були меншими у порівнянні з залізними. При цьому, окрім наявності вмісту фосфору в адгезійних шарах, також структура була більш дрібнокристалічною.

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 відтворенні окисної плівки на поверхні тертя. Дане припущення збігається з висновками, зробленими іншими дослідниками відносно електролітичного заліза [12]. 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. Також зауважимо відмінність зв'язку мікротвердості електролітичного заліза, у якого оптимальна H_{μ} за критерієм зносу знаходиться у межах 4500...5500 МПа [12], для сплаву $Fe-P$ цей оптимум зміщується в бік збільшення мікротвердості та має менш виражений характер (рис. 6).

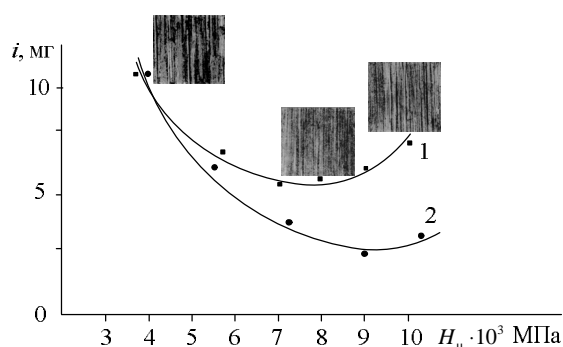


Рис. 6. Зв'язок між мікротвердістю та зносом електролітичного сплаву $Fe-P$: 1 – при сухому терті; 2 – при граничному терті.

Як видно з рис. 6 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.

Окрім наведених вище нами також було проведено теоретичні та експериментальні дослідження з отримання зносостійких програмних

електролітичних покриттів із сплавів $Fe-Ni$ та $Fe-Ni-P$. Зносостійкість сплаву $Fe-Ni$ хоча і була вищою за електролітичне залізне, але у порівнянні зі сплавом $Fe-P$ приблизно у 1,4 рази менша. Сплав $Fe-Ni-P$ мав зносостійкість на рівні $Fe-P$. Сплави з використанням Ni вважаються корозійностійкими (в роботі досліджень із корозійної стійкості не проводили), однак використання нікелю здорожує технологічний процес відновлення та позначається на вартості ремонту рухомого складу в цілому. Ефективність застосування програмного електролізу для отримання навіть трьохкомпонентного покриття шляхом селективного розряду окремих компонентів доводить широкі можливості у ремонтному гальванічному виробництві. Однак необхідно зауважити, що отримання сплаву $Fe-Ni-P$ з наперед заданими пошаровими властивостями є складним процесом, доцільність використання яких без особливих потреб викликає сумніви. Якщо електричні режими відпрацьовували за встановленою програмою, то сам електроліт необхідно постійно контролювати та корегувати, інакше результати матимуть доволі високий розкид, що і спостерігалось при проведенні експериментів. Тому ми вважаємо, що при відсутності додаткових вимог до відновлювальних покриттів для відновлення деталей серед розглядуваних сплавів найбільш доцільними є сплави $Fe-Mn$ та $Fe-P$.

Висновки

Використання програмного електролізу має широкі можливості, які дозволяють отримувати якісні відновлювальні покриття та в певних межах впливати на структуру та хімічний склад сплавів за рахунок селективного розряду компонентів електроліту і тим самим регулюючи пошарово властивості всього покриття. Розглядувані сплави на основі заліза показали високу зносостійкість, яка була не нижчою за загартовану Ст45, вищою за електролітичне залізо; із представлених сплавів найбільшою зносостійкістю володіє сплав $Fe-P$. Із розглянутих сплавів найбільш доцільно використовувати з техніко-економічної точки зору сплави $Fe-Mn$ та $Fe-P$. Застосування програмного електролізу дозволяє підвищити міцність зчеплення сплавів з основою до 410 МПа ($Fe-Mn$) та 180 МПа ($Fe-P$) за рахунок регулювання вмісту легуючих компонентів у адгезійних шарах. Висока зносостійкість сплавів на базі заліза пояснюється наявністю легуючих елементів, подрібненням структури, створенням додаткових бар'єрів на шляху вільного переміщення дислокацій, збільшенням міцності покриттів без катастрофічного розтріскування поверхні, релаксацією внутрішніх напружень по товщині покриття.

Артемчук В.В. – д.т.н., доцент кафедри
електрорухомого складу.

- [1] Pravila srednego i kapital'nogo remonta jelektrovozov postojannogo toka (Transport, M. 1980).
- [2] Pravila depovskogo remonta jelektrovozov postojannogo toka (Transport, M. 1980).
- [3] Magistral'nye jelektrovozy. Mehanicheskaja chast' (Mashinostroenie, M. 1991).
- [4] Instrukcija po sodержaniju i remontu uzlov s podshipnikami kachenija lokomotivov i motor-vagonnogo podvizhnogo sostava (Transport, M. 1980).
- [5] Rukovodstvo po vosstanovleniju detalej lokomotivov sposobom gal'vanicheskogo ostalivaniya (Transport, M. 1970.)
- [6] D.G. Gromakovskij, A.I. Ganin, Materialy 9-j nauchn. – prakt. konf. “Organizacija i tehnologija remonta mashin, mehanizmov, oborudovanija”. – Kiev. 22 (2001).
- [7] V.V. Artemchuk, Problemi tribologii (1),72 (2012).
- [8] V.O. Zabludovs'kij, R.P. Ganich, V.V. Artemchuk, Fizika i himija tverdogo tila 13(1) 214 (2012).
- [9] V.O. Zabludovs'kij, R.P. Ganich, V.V. Artemchuk, Fizika i himija tverdogo tila 13, 462 (2012).
- [10] Ju.N. Petrov, Jelektroliticheskoe osazhdenie zheleza (Shtiinca, Kishinev, 1990).
- [11] N.A. Kostin, Impul'snyj jelektroliz splavov (Nauk. dumka, Kiev, 1996).
- [12] V.A. Shadrichev, Osnovy vybora racional'nogo sposoba vosstanovlenija avtomobil'nyh detalej metallopokrytijami (Mashgiz, M.-L., 1962.)

V.V. Artemchuk

Properties Renewable Electrolytic Alloys Obtained Programmatically

*Dnepropetrovsk National University of Railway Transport
Dnipropetrovsk, Ukraine E-mail: art_vv@ukr.net, (067) 5659803*

The results of study of the effect of pulse current on structure and physico-mechanical properties of electrolytic alloys of iron. It is shown that in their structure and properties significantly affect not only the concentration of the components, but also non-equilibrium crystallization conditions caused by pulsed mode of deposition.

Keywords: structure, electrolytic alloy microhardness, adhesion strength, surge current, rolling stock restoration parts, wear.