

Порівняльний аналіз структури та властивостей електрокристалізованих покриттів із заліза та сплаву Fe – Cr – Ni

Є. В. Колесник, кандидат технічних наук

Г. А. Баглюк*, доктор технічних наук

Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпропетровськ

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

Визначено структурні параметри і показники механічних та експлуатаційних властивостей сплаву системи Fe – Cr – Ni, електроосадженого з сульфатного електроліту. Рекомендовано промислове використання сплаву для відновлення розмірів зношених сталевих деталей машин замість традиційного електрокристалізованого заліза без легування.

Для відновлення розмірів зношених сталевих деталей різного призначення використовують, зокрема, електрокристалізовані покриття на основі заліза [1]. Хоча покриття, одержані способом електроосадження, мають підвищену твердість порівняно з аналогічними матеріалами металургійного походження, подальше підвищення комплексу властивостей є досить актуальною задачею для збільшення терміну роботи деталей автомобільної, будівельної та іншої важкої техніки, що працюють в умовах тертя та зношування.

Одним із шляхів поліпшення властивостей електрокристалізованого покриття на основі заліза є його легування такими металевими елементами як хром, нікель, марганець та іншими [1, 2]. Причому, для досягнення максимального корисного ефекту особливий інтерес становить спільне легування заліза декількома елементами, хоча це й становить певні технологічні труднощі через різні швидкості осадження металів електрохімічним способом.

В роботі [3] розглядався спільний вплив хрому та нікелю на структуроутворення та мікротвердість електрокристалізованого заліза, в результаті чого автором [4] було запропоновано економнолегований сплав Fe – Cr – Ni з підвищеним рівнем мікротвердості і відносно простий та безпечний сульфатний електроліт для його електроосадження. В подальшому в роботі [5] були проведені дослідження щодо впливу основних технологічних параметрів (щільності струму і температури) на структуроутворення сплаву Fe – Cr – Ni з визначенням оптимальних значень цих величин. Проте для оцінки ефективності практичного використання запропонованого сплаву слід провести більш детальні дослідження властивостей таких покриттів у порівнянні з традиційним електрокристалізованим залізом без легування.

Метою цієї роботи стало встановлення рівня властивостей електрокристалізованого сплаву Fe – Cr – Ni і оцінка можливості його використання для відновлення розмірів зношених деталей машин замість електрокристалізованого заліза.

Покриття завтовшки від 15 до 150 мкм осаджували на підкладку зі сталі 08кп (лист товщиною 0,5 мм) з електроліту наступного складу: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 400 г/л, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – 100 г/л, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 60 г/л, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 60 г/л, pH = 2 – 3, температура 55 – 57 °С, катодна щільність струму 10 А/дм², анод – залізний. Вихід за струмом визначали гравіметричним методом.

Мікроструктуру та морфологію поверхні покриттів досліджували методом растрової електронної мікроскопії (РЭМ-106И) з визначенням середнього вмісту легуючих елементів методом енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу. Розподіл елементів на поперечних шліфах визначали на приладі Самеса. Фазовий склад та кристалографічну текстуру визначали методом рентгенівської дифрактометрії (ДРОН-2) у мідному випромінюванні без відокремлення покриттів від підкладки. Шорсткість поверхні R_a та R_{\max} визначали на Профілографі-профілометрі 252.

Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3, а границю текучості і в'язкість руйнування визначали непрямыми методами за даними індентування поверхні згідно з методиками Марша [6] і Лож'є [7]. Зносостійкість оцінювали як швидкість зношування зразків (за втратою маси) при випробуваннях методом тертя кочення з використанням сферичних контртіл зі сталі ШХ15 при навантаженні 10 Н. Рівень залишкових макронапружень у покриттях визначали з використанням модельного зразка за методикою [8]. Корозійні випробування проводили в 3 % розчині NaCl при 20 °С з визначенням коефіцієнта корозії як відносної площі поверхні з продуктами корозії.

Дослідження елементного складу поверхні покриттів сплаву Fe – Cr – Ni завтовшки 50 мкм, який осаджується з обраного електроліту, показали, що вони містять (по масі) близько 0,88 % Cr та 0,80 % Ni.

Порівняльний аналіз морфології поверхні отриманих покриттів показав, що структура електрокристалізованого заліза представлена дрібними компактно розташованими кристалами з чітким огранюванням розмірами до 1 мкм, а в структурі покриття зі сплаву заліза з хромом та нікелем переважають сфероліти – агрегати кристалів радіально-променевої будови, що містять ядро та дуже дрібні голчасті кристали, що ростуть у периферійному напрямку (рис. 1).

У фазовому складі покриттів розбіжності між електрокристалізованим залізом та сплавом Fe – Cr – Ni містяться лише в утворенні в останньому твердого розчину на основі кристалічної решітки α -заліза (рис. 2), жодних інтерметалідних сполук у складі сплаву не виявлено.

Порівняльний аналіз інтенсивностей дифракційних максимумів на рис. 2 вказує на наявність сильних переважних орієнтувань кристалів в обох видах покриттів – кристалографічної текстури. Причому легування

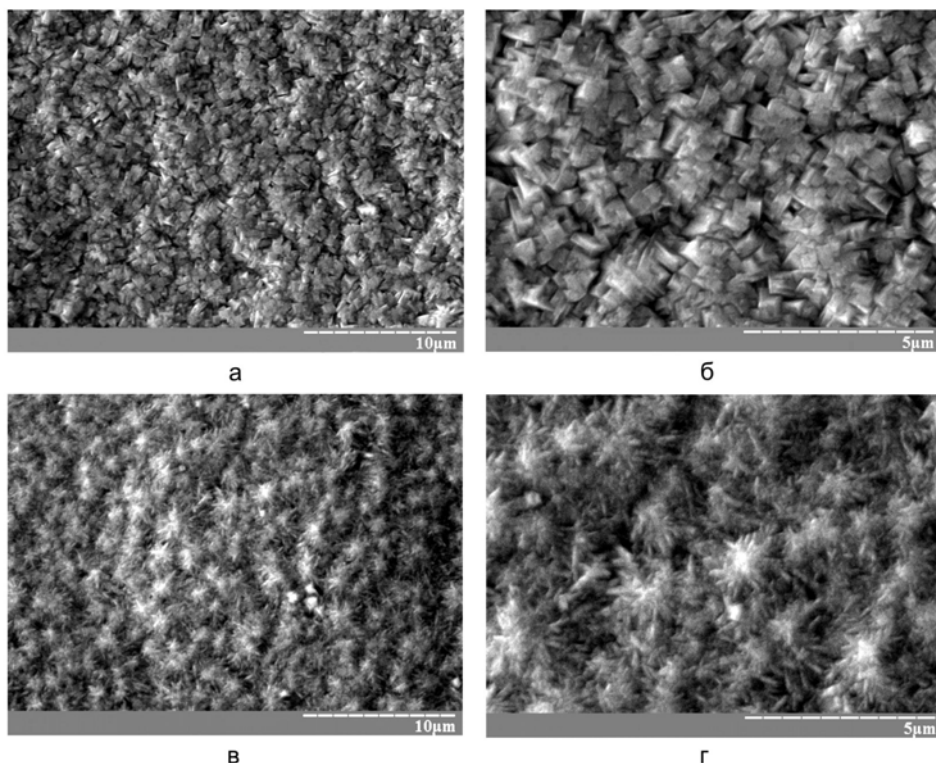


Рис. 1. Морфологія поверхні електрокристалізованого заліза (а, б) та сплаву Fe – Cr – Ni (в,г). а, в – $\times 4000$, б, г – $\times 10000$.

заліза хромом та нікелем призводить до різкої зміни аксіальної текстури від орієнтування $\langle 211 \rangle$ на $\langle 111 \rangle$.

Певний інтерес становить оцінка рівномірності товщини покриття на поверхні зразків. З цією метою електронномікроскопічному дослідженню піддавались травлені поперечні шліфи покриттів завтовшки близько 20 мкм. Одержані результати показали цілком задовільний рівень цього параметра електрокристалізованого сплаву Fe – Cr – Ni (рис. 3), а також додатково дозволили спостерігати більш дрібнокристалічну мікроструктуру сплаву у порівнянні з електрокристалізованим залізом без легування на поперечному шліфі.

Незважаючи на дещо різні швидкості осадження заліза, хрому та нікелю та відносно невелику концентрацію легуючих елементів в електроліті, розподіл елементів у поперечному перерізі покриття

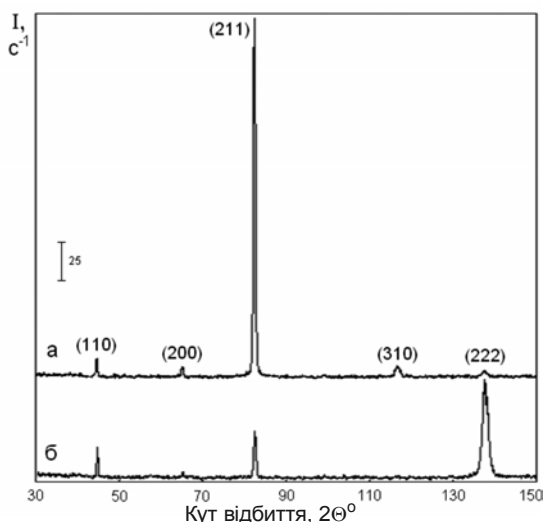


Рис. 2. Дифрактограми електрокристалізованого заліза (а) і сплаву Fe – Cr – Ni (б).

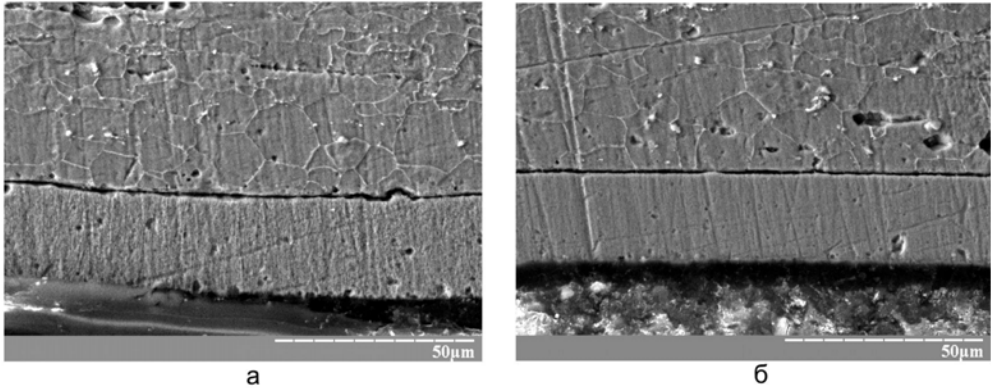


Рис. 3. Мікроструктура електрокристалізованого заліза (а) та сплаву Fe – Cr – Ni (б) (поперечний шліф; зверху – сталева підкладка, знизу – покриття).

електрокристалізованим сплавом Fe – Cr – Ni є досить рівномірним за товщиною (рис. 4). Так, при товщині близько 10 – 12 мкм вміст хрому та нікелю в покриттях стабілізується, що свідчить про завершення початкової стадії електролізу, і виходить на вказаний вище рівень, який спостерігався і на поверхні покриттів завтовшки 50 мкм.

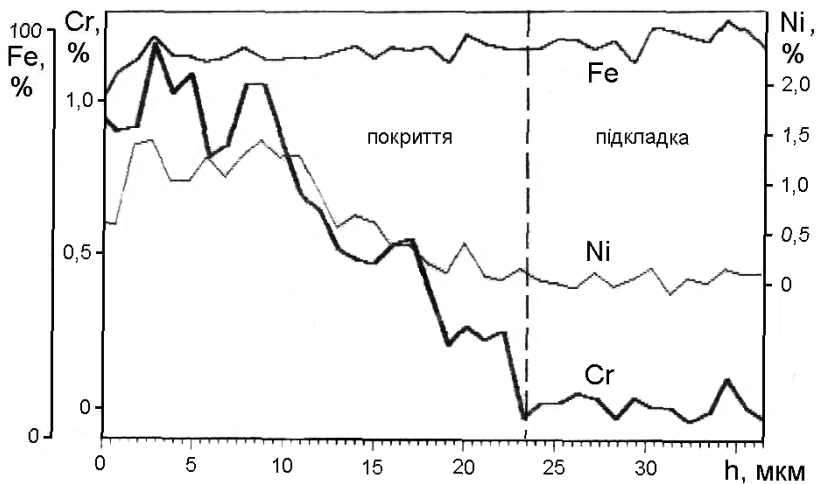


Рис. 4. Розподіл елементів (% по масі) у поперечному перерізі покриття.

Порівняльні випробування і розрахункове визначення основних параметрів механічних та експлуатаційних властивостей покриттів показали, що електрокристалізований сплав Fe – Cr – Ni перевершує основні механічні характеристики покриття із заліза без легування за всіма основними властивостями (таблиця), за винятком в'язкості руйнування.

Виходячи з призначення покриттів, найбільш суттєвою перевагою сплаву Fe – Cr – Ni можна вважати підвищений рівень мікротвердості, що обумовлює і суттєво вищу зностійкість у порівнянні з електрокристалізованим залізом.

Високу мікротвердість сплаву Fe – Cr – Ni, очевидно, слід пояснювати комплексним впливом формування квазікристалічної сферолітної структури і наявністю яскраво вираженої аксіальної текстури <111>. Звісно, висока

Структура і фізико-механічні властивості

Порівняльна характеристика властивостей електрокристалізованого покриття товщиною 50 мкм із заліза та сплаву Fe – Cr – Ni

Параметр	Fe	Fe – Cr – Ni
Шорсткість R_a	1,16	1,13
Шорсткість R_{max}	9,14	5,72
Мікротвердість HV 0,05, ГПа	4,57	6,73
Границя текучості $\bar{\sigma}_T$, МПа	1660	2500
В'язкість руйнування K_{Ic} , МПа·м ^{1/2}	52,2	23,8
Макронапруження* $\bar{\sigma}$, МПа	170	175
Швидкість зношування, кг/год	$3,60 \cdot 10^{-6}$	$2,89 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнт корозії**, %	78,8	24,5
Вихід за струмом, %	78	62
Примітки: * – для покриттів завтовшки 150 мкм, ** – 15 мкм.		

зносоустійкість сплаву також зумовлена цими структурними факторами через відомий зв'язок цієї характеристики з мікротвердістю.

Враховуючи область застосування досліджених покриттів, які працюють переважно на зношування в умовах тертя, деяке зменшення в'язкості руйнування в даному випадку не є критичним недоліком. Вірогідною причиною низького значення критерію в'язкості руйнування є дещо зменшений вихід металу за струмом при осадженні сплаву у порівнянні з електрокристалізованим залізом, що вказує на підвищений рівень утворення водню при електролізі, який впливає на опір матеріалу покриття крихкому руйнуванню.

На рис. 5 наведені дані щодо кінетики процесів корозії на поверхні дослідженого сплаву у порівнянні з електрокристалізованим залізом та сталеву підкладкою без покриття, які вказують на істотну перевагу сплаву Fe – Cr – Ni над зазначеними матеріалами, що також сприяє їх практичному застосуванню, хоча рівень корозійних властивостей не є критичним параметром для обраного виду застосування сплаву, але безперечно, є додатковою перевагою у комплексі його властивостей.

Висновок Таким чином, за результатами структурних досліджень і вимірювань мікротвердості, зносоустійкості, шорсткості поверхні, залишкових макронапружень, корозійних властивостей та інших параметрів електрокристалізованих

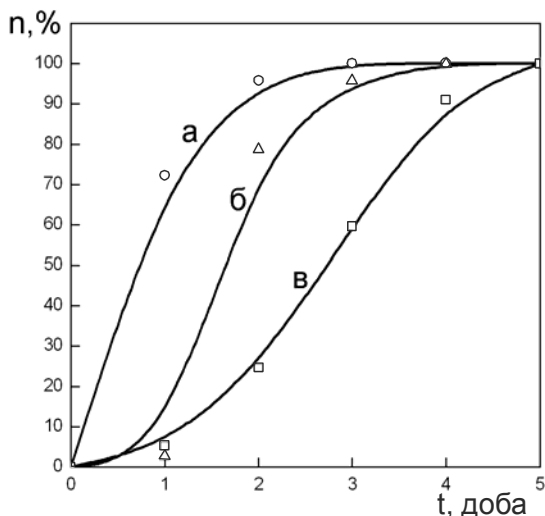


Рис. 5. Коефіцієнт корозії в залежності від тривалості випробувань. а – підкладка без покриття, б – електрокристалізоване залізо, в – сплав Fe – Cr – Ni.

покриттів зі сплаву Fe – Cr – Ni можна зробити висновок, що даний сплав завдяки високому рівню комплексу фізико-механічних властивостей може бути рекомендований для практичного використання при відновленні розмірів і поверхневого зміцнення сталевих виробів замість традиційного електрокристалізованого заліза без легування.

Література

1. Петров Ю.Н., Гурьянов Г.В., Бобанова Ж.И. Электролитическое осаждение железа – Кишинев: Штиинца, 1990. – 195 с.
2. Kolesnyk Ie.V. // *Chimia*. – 2013. – № 7 – 8. – Р. 575.
3. Kolesnyk Ie.V. // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2015. – № 3. – С. 347 – 354.
4. Патент UA77252, C23D3/00. Електроліт для осадження покриттів сплавом на основі заліза / Колесник Є.В. – № 201207939. Оpubліковано 11.02.13. – 2013. – Бюл. № 3. – 2 с.
5. Колесник Е.В., Величко М.Т. // *Теория и практика металлургии*. – 2014. – 3, 6. – С. 98 – 103.
6. Ковенский И.М., Поветкин В.В. *Металловедение покрытий*. – М.: Интермет инжиниринг, 1999. – 296 с.
7. Колесник Е.В., Клименко А.П. // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2014. – № 2. – С. 121 – 125.
8. Патент UA80584, G01L1/00. Спосіб визначення залишкових напружень в електроосаджених покриттях. / Колесник Є.В., Федін Д.О. № 201212097. Оpubліковано 10.06.13. – Бюл. № 11. – 3 с.

Одержано 16.02.16

Е. В. Колесник, Г. А. Баглюк

Сравнительный анализ структуры и свойств электрокристаллизованных покрытий из железа и сплава Fe – Cr – Ni

Резюме

Определены структурные параметры и показатели механических и эксплуатационных свойств сплава системы Fe – Cr – Ni, электроосажденного из сульфатного электролита. Рекомендовано промышленное применение сплава для восстановления размеров изношенных стальных деталей машин вместо традиционного электрокристаллизованного железа без легирования.

Ie. V. Kolesnyk, G. A. Bagliuk

Comparative analysis of structure and properties of electrodeposited coatings from iron and Fe – Cr – Ni alloy

Summary

Structural parameters and indices of mechanical and operational properties of a Fe – Cr – Ni system alloy electrodeposited from sulfate electrolyte were determined. Industrial usage of the alloy was recommended for restoration of dimensions of worn steel machine parts instead of traditional not alloyed electrocrystallized iron.