

ЕКСПРЕС-МЕТОДИКА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО РАНЖУВАННЯ ГАЛЬВАНОПОКРИТТІВ ЗА ЯКІСТЮ

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ¹, Р. Я. ЯРЕМА²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5.

E-mail: skalsky.v@gmail.com

²ПрАТ Львівський локомотиворемонтний завод

Запропоновано експрес-методику ранжування за якістю гальванопокриттів, які наносили на внутрішні кільця буксового підшипника локомотивів під час проведення відновлювально-реставраційних робіт. В основу методики покладено явище акустичної емісії, яке супроводжує мікророзтріскування та відшарування покриттів від поверхні кільця за статичного навантаження триточковим згином спеціально підготовлених призматичних зразків з гальванопокриттям. Діапазон навантажень обмежений пружною ділянкою діаграми розтягу матеріалу, яку отримували експериментально. Випробування зразків проводили у три цикли навантаження і на кожному фіксували пружні хвилі акустичної емісії, за сумою амплітуд яких судили про якість адгезії нанесених покриттів. Бібліогр. 6, табл. 4, рис. 5.

Ключові слова: гальванопокриття, водень, руйнування, акустична емісія, пошкодженість, адгезія

Одним із відповідальних вузлів ходової частини локомотивів (та й взагалі підвіски вагонів) є вузол буксового підшипника. Висока інтенсивність експлуатації залізничного транспорту та незадовільний стан колій призводить до передчасного зношування його кілець. Для ремонтно-реставраційних робіт з метою відновлення функціональних характеристик підшипників останнім часом ефективно використовують електролітичне осадження – гальваностегію. Наносять залізо-цинкові покриття, які відзначаються міцним зчепленням з металом основи, мінімальною пористістю і дрібнокристалічною структурою. Вони не відшаровуються під час різких поштовхів і ударів. Якість покриттів і швидкість гальваностегії зумовлені густиною електричного струму, складом і температурою електроліту. Покриття отримують шляхом розряду катіонів заліза та катіонів цинку, що надходять із залізо-цинкового електроліту та за рахунок розчинення залізного анода [1]. Такі покриття збільшують корозійну стійкість металу внутрішніх кілець буксового підшипника, що забезпечує покращення їх технічних характеристик.

Однак в електролізері піз час протікання електролізного процесу окрім осаджуваного металу виділяється і водень, що сприяє підвищенню крихкості покриття. Атоми водню, адсорбуючись на поверхні осаду (шару покриття), викликають деформацію кристалічної ґратки, зростання внутрішніх напружень і збільшення твердості. Проникнення водню в основний метал, як правило, суттєво погіршує фізико-механічні властивості останнього, а також сприяє його декогезії. Все це зумовило проблему підбору не тільки оптимальної (якісної) технології нанесення покриття, але й

допустимої його товщини, оскільки саме час перебування в електролізері зумовлює наявність і негативний вплив на покриття водневого чинника.

Міцність зчеплення гальванопокриттів залежить від ретельності механічної і хімічної підготовки поверхонь, складу електроліту та режиму електролізу. Важливою умовою міцності є початкові умови електролізу, які повинні сприяти можливості прояву сил міжатомної взаємодії між осадам, який нарощують, та основним металом (підложкою). Ці сили проявляються з достатньою повнотою у випадку, коли відмінність у міжатомних віддальях кристалічної ґратки основного металу і металу, яким його покривають, не перевищує 15 %. Поверхня основного металу повинна бути очищеною від молекул сторонніх речовин, які перешкоджають зближенню атомів основного металу і покриття.

На міцність зчеплення (адгезію) впливають також дефекти субмікроструктури перехідного шару. Має значення і близькість коефіцієнтів лінійного розширення – за великої різниці між ними покриття може розтріскуватися і навіть відшаруватися у випадку значних коливань температури під час експлуатації. Суттєвий вплив на міцність зчеплення мають і внутрішні напруження, що виникають в гальванопокриттях і провокують навіть без дії зовнішніх зусиль їх розтріскування, відшарування і лущення.

Мета досліджень – створити експрес-методику акустико-емісійного оцінювання якості адгезії залізо-цинкових покриттів різної товщини, нанесених на кільця буксового підшипника, і провести її верифікацію іншими відомими методами.

Методика випробувань. Для експериментальних досліджень було підготовлено 4 групи зразків, які вирізали з внутрішньої сторони:

I – непокритого гальванічним шаром кільця;

II – кільця з гальванопокрыттям товщиною $h = 0,15$ мм, нанесеним за серійною заводською технологією [2, 3]. Вздовж поверхні покриття наявні технологічні канавки у вигляді концентричних кіл, рівномірно віддалених одне від одного за шириною кільця. Колір покриття темно-сірий (ближчий до чорного).

III – кільця з покриттям товщиною $h = 0,35$ мм, нанесеним за новою технологією. Колір поверхні покриття як у попередньої групи зразків – темно-сірий. Поверхня не має наявних технологічних канавок.

IV – кільця з покриттям товщиною $h = 0,35$ мм, нанесеним за іншою, ніж у групи III технологією, світло-сірого кольору, без технологічних канавок на поверхні.

Хімічний аналіз покриттів, проведений за допомогою аналізатора елементного складу серії Express, показав, що вони різні за цим показником (табл. 1).

Для порівняння наведемо хімічний склад сталі ШХ 15СГ-III (мас. %): (0,95...1,05) С; (0,17...0,37) Si; (0,20...0,40) Mn; (1,30...1,65) Cr; $Ni \leq 0,30$; $S \leq 0,020$; $Cu \leq 0,25$; $(Cu+Ni) \leq 0,50$.

Підготовлені до експериментів призматичні зразки мали розмір $5 \times 20 \times 86$ мм з деяким потоншенням у середній частині за рахунок кривини кільця радіусом $R = 90$ мм. Для випробувань триточковим згином кінці зразків шириною 10 мм обробляли шліфуванням до зникнення кривини поверхні і цими місцями їх встановлювали на опори (рис. 1).

Дані експериментальних випробувань та розрахунок напружень під час згинання зразків триточковим згином приведені у табл. 2 та на рис. 2.

З аналізу експериментальних даних випливає, що найміцнішими і найеластичнішими виявилися зразки групи I, а серед зразків з покриттям най-

еластичніші (найменша жорсткість) зразки групи III. Найгірші показники міцності також у цієї групи зразків. Ці результати було надалі ураховано нами під час розроблення експрес-методики, про що йтиметься нижче.

Перед акустико-емісійними випробуваннями (АЕ-випробування) для притирання зразків під індентором навантажувальної установки і опорами (з метою зменшення фонових завад) застосовували ефект Кайзера [4]. Спочатку встановлювали зашунтований зразок у відповідний пристрій і створювали під індентором і на опорах напруження на 20...30 % вищі від розрахункових критичних, які очікували під час випробувань. Потім навантаження поступово знижували, не досягаючи нуля, щоб уникнути переміщень зразка, і після цього знову доводили його до попередньо досягнутого рівня. Якщо при цьому сигнали АЕ (САЕ) не реєстрували, то це означало, що шумові джерела (тертя в місцях контакту, шуми навантажувального пристрою тощо) відсутні. У випадку порушення ефекту Кайзера застосовували спеціальні притискачі, звукоізоляцію і демпфування для усунення цього фактору.

Для перевірки працездатності та налаштування чутливості каналів АЕ-апаратури, оцінки згасання САЕ і швидкості їх поширення, а також встановлення порогового рівня тощо застосовували джерело Гсу [4].

Кінцеві налаштування вимірювальної АЕ-системи SKOP-8M були такими: кількість вимірювальних каналів – 2; тривалість вибірки (мс) – 0,5; період дискретизації (мкс) – 0,25; фільтр низьких частот (кГц) – 700; фільтр високих частот (кГц) – 40; поріг дискретизації (%) – 27; рівень власних шумів, приведених до входу попереднього підсилювача (мкВ) – 7.

Таблиця 1. Хімічний склад гальванопокрыттів, мас. %

Група зразків	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Cd
II	0,876	1,172	–	–	45,819	0,153	0,328	51,027	0,625
III	0,611	3,687	0,319	0,260	53,948	–	0,257	40,589	0,328
IV	0,893	1,336	0,145	–	26,559	0,139	0,338	69,712	0,829

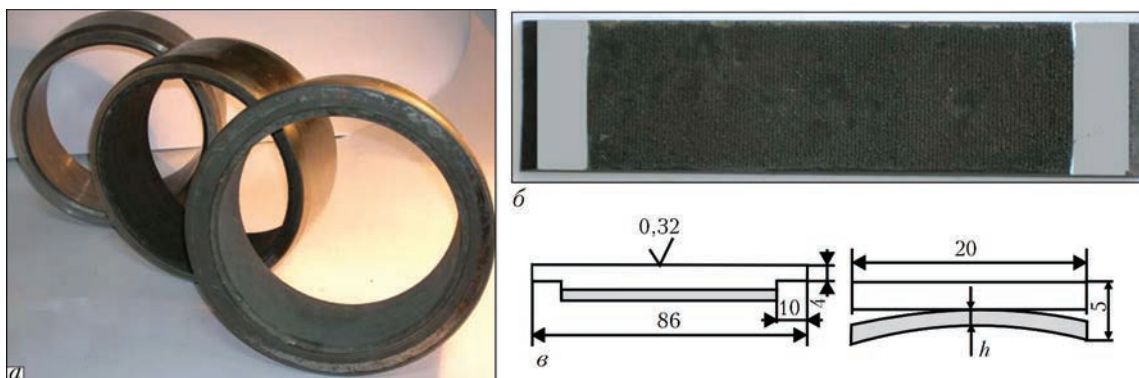


Рис. 1. Загальний вигляд внутрішніх кілець буксового підшипника з гальванопокрыттями (а), вирізаного типового зразка для експериментальних досліджень (б) та його характерні розміри (в)

Таблиця 2. Характеристики міцності зразків всіх груп, отримані за результатами механічних випробувань

Група зразків	Зусилля руйнування P_k , Н	Максимальна стріла прогину зразків f , мм	Напруження під час руйнування, σ_k , МПа
I	7281,4	4,0	2088,359
II	6174,2	3,0	1788,743
III	4321,8	3,0	1488,274
IV	6399,4	3,2	1575,662

Навантажували зразки в області пружних деформацій, тобто до значень стріли прогину $f = 2$ мм (див. рис. 2). Ураховуючи ефект Кайзера, таке навантаження кожного зразка проводили тричі. Для кожного типу зразків знаходили суму амплітуд САЕ, яка давала інформацію про об'ємну пошкодженість [5] кожного із них за ці 3 цикли навантаження. В експериментах розтягували всі зразки зі швидкістю переміщення рухомого затискача 1 мм/хв.

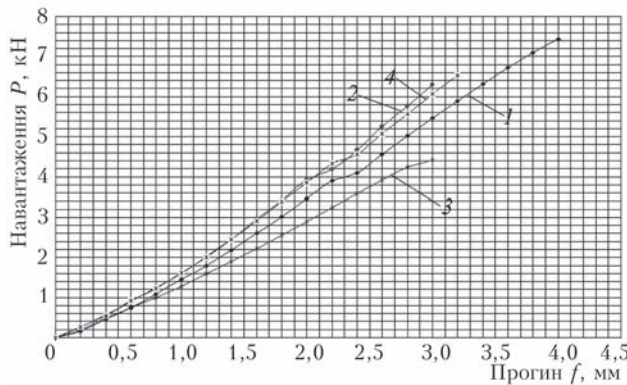
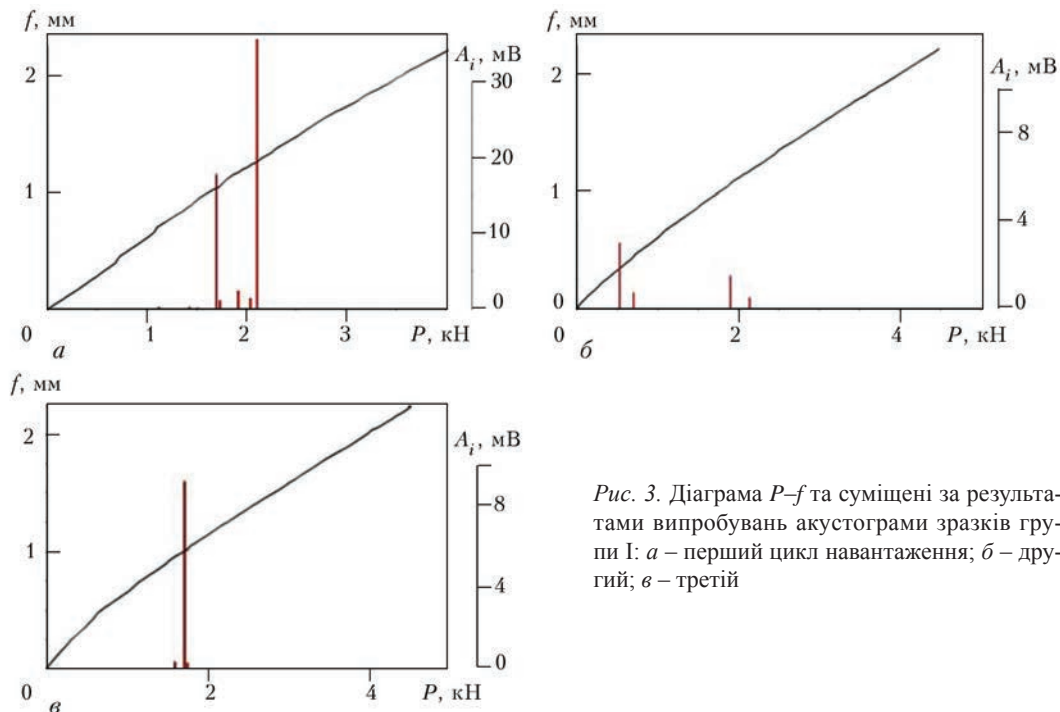


Рис. 2. Діаграми $P-f$ для всіх груп зразків: позначені цифрами 1–4 криві належать групам зразків I–IV, відповідно



Результати досліджень та їх інтерпретація.

На рис. 3 та 4 показано характерні діаграми «навантаження P – стріла прогину f » для I та IV типу зразків, а у табл. 3 – кількісні показники об'ємної пошкодженості як критерія якості покриттів для всіх типів зразків.

Як показано на рис. 3, під час випроб I групи зразків найбільше сигналів АЕ генерується під час першого циклу навантаження і з'являються вони у цьому циклі після навантаження 1,1 кН. У другому циклі поява сигналів АЕ відбувається дещо раніше – приблизно за навантаження 0,6 кН, але з набагато меншими амплітудами, а у третьому циклі – після 1,6 кН з аналогічно, як і у другому циклі, низькими амплітудами. Отримана незначна сума амплітуд сигналів АЕ, що свідчить про низький рівень мікро- та макротріщиноутворення.

Зразки групи II вже у першому циклі навантаження проявляють у багато разів вищу АЕ – активність і амплітуди САЕ при цьому також приблизно у 3 рази перевищують максимальне значення аналогічного параметра у першому циклі навантаження зразків без покриття групи I. Це свідчить про високу активність тріщиноутворення і відшарування покриття вже у першому циклі навантаження і розпочинаються ці процеси на дуже ранніх його стадіях. З наближенням до значення стріли прогину 1 мм генерування АЕ наростає, а далі спадає і після досягнення 1,5 мм майже припиняється.

Що ж до характеру акустограм у 2 та 3 циклах навантаження цього типу зразків, то вони подібні зразкам I групи за стохастичністю появи та амплітудними параметрами. Це ще раз підкреслює прояв ефекта Кайзера у цих циклах навантаження.

Рис. 3. Діаграма $P-f$ та суміщені за результатами випробувань акустограми зразків групи I: а – перший цикл навантаження; б – другий; в – третій

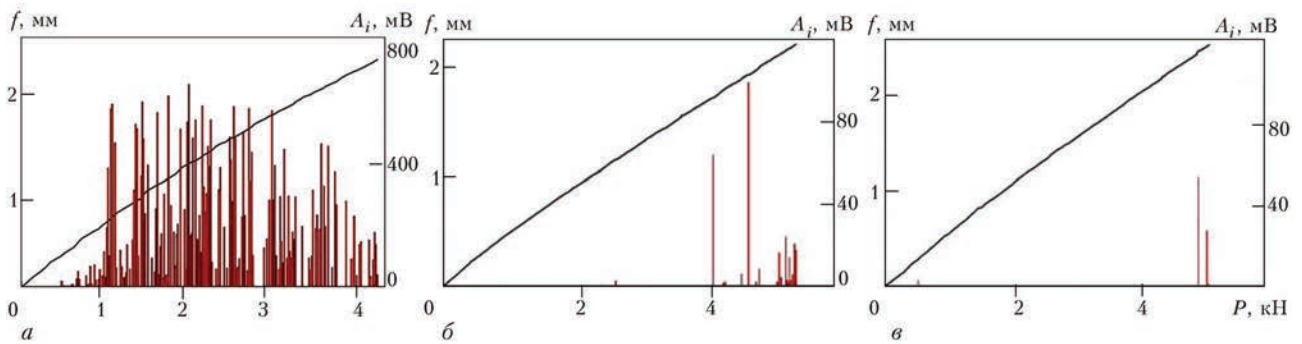


Рис. 4. Результати випробувань зразків групи IV (позначення аналогічні рис. 3)

Необхідно також звернути увагу на те, що контрольний показник стріли прогину $f = 2$ мм досягається у даній групі зразків за нижчого значення навантаження в усіх трьох циклах, ніж у попередній групі зразків.

Аналіз акустограм III групи зразків показав вищу інтенсивність генерування САЕ, а також суттєво більші (приблизно у 2 рази) їхні амплітуди. Причому амплітуди сигналів САЕ та їх інтенсивність наростають у всьому циклі і першого, і наступних навантажень.

У другому циклі навантаження, наприклад, отримали також суттєве (у 20 разів) збільшення амплітуд САЕ та зростання їх кількості у даному циклі порівняно із попередньою групою зразків. А третій цикл навантаження дає вищі у 2 рази амплітуди САЕ та їхню кількість. Задана стріла прогину досягається приблизно за того ж навантаження, що й для II групи зразків.

Отже, процеси руйнування та відшарування покриття у III групі зразків набагато інтенсивніші і мають більші площі новоутворених поверхонь, ніж зразки групи II.

Зразки групи IV за описаними вище показниками мають ще більші значення (рис. 4). Тут амплітуди САЕ перевищують у першому циклі навантаження аналогічний показник для зразків групи III у 3...4 рази. Інтенсивність появи сигналів спадає після досягнення стріли прогину 1,5 мм. У другому циклі навантаження АЕ-показники цієї групи зразків аналогічні III групі, а у третьому циклі навантаження до стріли прогину 2 мм сигнали АЕ практично відсутні. Після збільшення навантаження у цьому циклі і доведення стріли прогину

до 2,5 мм здебільшого зразки руйнуються, чого не спостерігали для попередніх груп зразків (очевидно зріс прояв водневого чинника).

Початок генерування САЕ у першому циклі навантаження для зразків III та IV груп приблизно однаковий за стріли прогину 0,25 мм, однак зразки групи IV жорсткіші, оскільки досягнення заданої стріли прогину у них відбувається за вищого приблизно на 35...40 % навантаження.

Таким чином, результати АЕ-досліджень показали набагато гіршу якість покриття III та IV груп зразків по відношенню до зразків групи II, а їх всіх разом – по відношенню до зразків групи I, що свідчить про різну ефективність технологій нанесення покриттів, а відтак і про різний вплив водневого чинника. Це дає підстави стверджувати, що дана експрес-методика кількісного АЕ-оцінювання адгезії гальванопокриттів може бути ефективно застосована у виробничому процесі відновлення кілець буксового підшипника як експрес-методика ранжування за якістю готових виробів. Для цього проведемо її верифікування.

Верифікація експрес-методики. Для оцінки міцності зчеплення покриттів з основним металом застосовують якісні і кількісні методи. До перших належать методи полірування, крацювання, нанесення сітки подряпин, навивки, згину, нагрівання. До кількісних відносять методи відриву штирів, смужок, метод Олларда та інші [1].

Виходячи із поставленої мети, нами обрано два методи: якісної оцінки зразків II–IV груп методом нагрівання та кількісної – методом відриву штиря.

Випробування гальванічних покриттів методом нагрівання. Для оцінки міцності зчеплення

Т а б л и ц я 3. Характеристики об'ємної пошкоженості зразків під час їх випробувань деформацією пружного згину, встановленої за параметрами САЕ

Група зразків	Показник об'ємної пошкоженості ξ_1 (сума амплітуд сигналів АЕ), мВ			
	у циклах навантаження			сумарний
	1	2	3	
I	63	6,14	9,75	78,89
II	2680	4,61	11,25	2695,86
III	6178	290,5	311,3	6779,8
IV	47827	311,3	87,11	48225,41

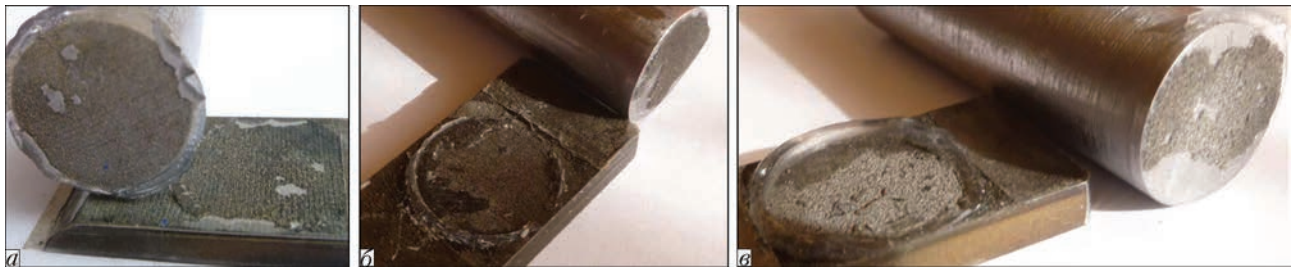


Рис. 5. Вигляд поверхонь відриву на штоках і зразках групи II (а), III (б) та IV (в)

гальванопокриття з основним металом зразки з покриттями нагрівали протягом 30...60 хв та охолоджували на повітрі згідно вимог методики. Після цього на поверхні деталі (зразка) не повинно спостерігатись пухиріння, відлущування чи відшарування покриття [1]. Температуру нагрівання вибирали залежно від типу металу, на який нанесли гальванічне покриття. Якщо основним металом слугує сталь або чавун, то рекомендується температуру нагрівання вибрати в межах 345...355 °С.

В якості автоклава слугувала електропіч СНОЛ-1-1,6. Зразки нагрівали разом із піччю від температури 180 °С. За досягнення зразками температури 350 °С їх витримували 30 хв, після чого витягували з автоклаву і охолоджували на повітрі. За досягнення кімнатної температури проводили візуальний огляд гальванопокриттів.

Як показали результати візуального огляду, жодне із гальванопокриттів не зазнало пухиріння. Проте поверхня покриття зразків групи IV стала дещо рапатішою, порівняно із вихідним станом, внаслідок незначного її вилущування.

Таким чином, за цим якісним показником можливо ранжувати покриття всіх трьох груп зразків дуже наближено.

Кількісна оцінка зчеплення гальванічних покриттів з основним металом методом відриву штока. В основу методу покладено вимірювання сили відриву покриття від основного металу. Для цього наклеювали шток до поверхні покриття і у відповідному пристрої відривали його за допомогою навантажувального механізму. Поверхню штока перед наклеюванням шліфували і підганяли за належним профілем до поверхні елемента з покриттям. Під час наклеювання і відривання забезпечували прикладання зусиль строго по нормалі до поверхонь склеювання. Напруження відриву (міцність зчеплення покриття з основою) розраховували за відомою формулою

$$\sigma = P/S \approx P/\pi r^2,$$

де P – зусилля відриву; S – площа контакту поверхні склеювання; r – радіус поверхні штока у місці склеювання.

Для склеювання штока з поверхнею покриття зразків було вибрано спеціальний клей

Таблиця 4. Характеристики відриву штоку від покриттів

Група зразків		
II	III	IV
σ , МПа		
13,75...14,2	7,5...8,1	5,9...7,8

Loctite 3090 [6]. Він є двокомпонентною, швидкозастійною і поропроникною клеючою речовиною, яка має відмінну адгезійну міцність (міцність приклеювання).

Зусилля плавно збільшували зі швидкістю навантаження 1 Н/хв і записували часову діаграму навантаження. За наведеною вище залежністю визначали напруження відриву σ . Дані розрахунків приведено у табл. 4.

Як показують результати досліджень (рис. 5), найкращі адгезивні властивості мають зразки групи II. На поверхнях відриву вони мають незначні острівкові залишки покриття, в той час як інші покриття відриваються майже по всій поверхні клеючого шару.

Таким чином, у відповідності з різними хімічним складом та товщиною, покриття мають і різні характеристики міцності на відрив.

Отож результати верифікаційних досліджень ще раз підтвердили набагато гіршу якість покриттів III та IV груп зразків по відношенню до зразків групи II, а їх всіх разом – по відношенню до зразків групи I. Це збігається з результатами випробувань за АЕ експрес-методикою, що підтверджує її ефективність та високу достовірність.

Висновки.

Під час технологічного процесу нанесення гальванопокриттів на основний метал кільця буксового підшипника (підкладку) сталі ШХ-15 на якість покриття впливає багато чинників. Найголовнішим із них є водень, для виведення якого бажано проводити певні технологічні операції, наприклад нагрівання, з метою запобігання його негативного впливу.

За результатами випробувань зразків з різними технологіями нанесення та хімічним складом гальванопокриттів встановлено, що під час їх деформування в області пружних деформацій основного металу осаджене покриття руйнується

та відшаровується. Ці процеси супроводжуються генеруванням пружних хвиль акустичної емісії, за якими можна оцінювати якість покриттів. Як критерій відбракування чи оптимізування технології їх нанесення можна ефективно використовувати показник об'ємної пошкодженості, який за решти ідентичних методологічних характеристик зводиться до визначення суми амплітуд сигналів акустичної емісії. Збільшення значення суми амплітуд інтегрально свідчить про погіршення якості композиції покриття-основний метал (підкладка).

Запропоновану експрес-методику акустико-емісійного ранжування покриттів за якістю їх нанесення можна ефективно використовувати у виробничому процесі реставрації кілець буксового підшипника.

1. Каданер Л. И. (1976) *Справочник по гальваностегии*. Киев, Техника.
2. Ярема Р. Я., Колесніков В. П., Роневич В. І., Дьомін Р. Ю. (2012) *Способ відновлювання внутрішніх кілець буксового підшипника*. Україна, Пат. 69432. МПК: F16C 33/68 (2006.01).
3. Ярема Р. Я., Колесніков В. П., Роневич В. І. (2012) *Установка для відновлювання внутрішніх кілець буксового підшипника*. Україна, Пат. 69433. МПК: F16C 33/68 (2006.01)
4. Назарчук З. Т., Скальський В. Р. (2009) *Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: наук.-техн. посібник: у 3-х т.* Київ, Наукова думка.
5. Скальський В. Р., Андрейків О. Є. (2006) *Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії*. Львів, ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка.
6. http://loctite-rus.narod.ru/catalog/tsianokrilatnie_klei/loctite_3090: *Loctite 3090 двухкомпонентный цианоакрилатный клей с высокой заполняющей способностью*.

References

1. Kadaner, L.I. (1976) *Reference book on galvanostegy*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
2. Yarema, R.Ya., Kolesnikov, V.P., Ronevych, V.I., Dyomin, R.Yu. (2012) *Method of reconditioning of inner rings of engine journal bearing*. Pat. 69432 Ukraine, Int. Cl. F16C 33/38 (2006.01) [in Ukrainian].
3. Yarema, R.Ya., Kolesnikov, V.P., Ronevych, V.I. (2012) *Unit for reconditioning of inner rings of engine journal bearing*. Pat. 69433 Ukraine, Int. Cl. F16C 33/68 (2006.01) [in Ukrainian].
4. Nazarchuk, Z.T., Skalsky, V.R. (2009) *Acoustic emission diagnostics of structure elements: Scientific-technical refer. book*. In: 3 Vol., Kiev, Naukova Dumka [in Ukrainian].
5. Skalsky, V.R., Andrejkiv, O.E. (2006) *Assessment of volume damage of materials by acoustic emission method*. VTs LNU [in Ukrainian].
6. http://loctite-rus.narod.ru/catalog/tsianokrilatnie_klei/loctite_3090: *Loctite 3090 two-part cyanoacrylate adhesive with high filling capacity* [in Russian].

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ¹, Р. Я. ЯРЕМА²

¹Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины. 79060, г. Львов, ул. Научная, 5
E-mail: skalsky.v@gmail.com

²ПрАТ Львовский локомотиворемонтный завод

ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО РАНЖИРОВАНИЯ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ ПО КАЧЕСТВУ

Предложена экспрес-методика ранжирования по качеству гальванических покрытий, которые наносили на внутренние кольца буксового подшипника локомотивов при проведении восстановительно-реставрационных работ. В основу методики положено явление акустической эмиссии, которое сопровождается микрорастрескиванием и отслоением покрытий от поверхности кольца при статической нагрузке трехточечным изгибом специально подготовленных призматических образцов с гальванопокрытием. Диапазон нагрузок ограничен упругим участком диаграммы растяжения материала, которую получали экспериментально. Испытания образцов проводили в три цикла нагрузки и на каждом фиксировали упругие волны акустической эмиссии, по сумме амплитуд которых судили о качестве адгезии наносимых покрытий. Библиогр. 6, табл. 4, рис. 5.

Ключевые слова: гальванопокрытия, водород, разрушение, акустическая эмиссия, поврежденность, адгезия

EXPRESS-METHOD FOR ACOUSTIC-EMISSION RANKING OF ELECTRODEPOSITS ON QUALITY

V. R. SKALSKY¹, R. YA. YAREMA²

¹ H. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, 5 Naukova str., Lviv, 79060.

E-mail: skalsky.v@gmail.com

² PJSC Lviv engine repair plant

An express-method for quality ranking of the electrodeposits was proposed. The latter were deposited on the inner rings of engine journal bearings during repair-restoration works. The method is based on acoustic emission phenomenon, which accompanies microcracking and delaminations of the coatings from ring surface at static three point bend loading of specially prepared columnar specimens with electrodeposits. A loading range is limited by elastic parts of material stress-strain diagram, which was experimentally received. Specimens were tested in three cycles of loading and elastic waves of acoustic emission were registered at each cycle. Adhesion of the deposited coatings was evaluated by sum of the amplitudes. 6 Ref., 4 Table., 5 Fig.

Keywords: electrodeposits, hydrogen, failure, acoustic emission, damage, adhesion

Надійшла до редакції
18.09.2017

1-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СВАРКЕ И НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ 2018 1st ICWNDT-2018

22–24 октября 2018 г.

г. Афины, Греция

Адрес: WGI: Trapezountos & Digeni Akrita, Elefsina 192 00, Attikis, Greece.

Phone (+30) 210 3630050, Fax (+30) 2103636917,

Website: www.wgi.gr, E-mail: tzaferis@wgi.gr