

Дослідження фізико-механічних властивостей накладок пантографів, що застосовуються в якості струмоз'ємних елементів електрорухомого складу

М. О. Баб'як, В. Л. Горобець, В. В. Артемчук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна, e-mail: babjak@mail.ru

Проведено аналіз контактних матеріалів для накладок пантографів та їх впливу на фізико-механічні властивості накладок. Досліджено характер руйнування накладок пантографів з різними макроструктурними складовими. Зроблено порівняльну оцінку якості досліджених накладок пантографів.

Ключові слова: пантограф, накладка, характеристика, аналіз.

Вступ

Згідно з договором, Оукладеним між Укрзалізницею та Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, виконано роботи, в яких проведено порівняння основних характеристик струмоз'ємних елементів різних українських виробників. Для досягнення вказаної мети були проведені: аналіз мікроструктури наданих для дослідження зразків; лабораторні порівняльні випробування зразків накладок на механічне стирання; прискорені порівняльні експлуатаційні випробування комплектів накладок.

У роботі досліджено склад, будову та опосередкований чи прямий їх вплив на фізико-механічні властивості накладок пантографів, що застосовуються в якості струмоз'ємних елементів струмоприймачів електрорухомого складу. Також вивчено характер руйнування накладок пантографів з різними макроструктурними складовими, що відрізняються як за дисперсністю, хімічним і фазовим складом матеріалу, так і за анізотропією структури і механічних характеристик фазових складових або за наявністю орієнтованої шаруватої макроструктури з обмеженою кількістю мастильних шарів (до чотирьох) на поверхню пантографної накладки.

За одержаними результатами зроблено порівняльну оцінку якості досліджених струмоз'ємних елементів та розроблено технічне рішення. Виявлені властивості структури дозволили визначити найкращі зразки матеріалу накладок пантографів за триботехнічними, електроерозійними та електричними характеристиками.

Актуальність проблеми

Якість струмоз'єму та інших експлуатаційних характеристик, які включають триботехнічні властивості, стійкість проти механічного та електричного зносу, припікання, здатність збереження стабільної роботи при будь-яких метеорологічних умовах та здатність приймати великий

струм при необхідності підвищення потужності локомотивів, у значній мірі залежать від природи матеріалу, з якого зроблено окремі деталі та вузли струмоз'ємних елементів. Тому матеріали були та залишаються однією з головних проблем, що визначають економічну ефективність електричної тяги, якість та надійність її роботи.

Кожен матеріал відповідно до власних характеристик має певні межі експлуатації. Застосування матеріалу поза межами цих областей призводить до різкого зниження їх техніко-економічних показників або до аварійних ситуацій. Тому при переході від звичайного руху поїздів до швидкісного та високошвидкісного властивості матеріалів, що використовуються для виготовлення окремих деталей і вузлів контактної підвіски і струмоприймача, повинні відповідати новим підвищеним вимогам. Ця задача вирішується шляхом використання нових матеріалів [1, 2].

Але для розробки нових матеріалів струмоз'ємних елементів необхідно досконало вивчити існуючі в Україні та світі матеріали накладок пантографів, виявити найкращі з них та на базі досвіду попередніх науково-технічних розробок створити найефективніші зразки. Специфіка цих матеріалів полягає в необхідності забезпечення, насамперед, безперешкодного проходження струму в накладках пантографів та захисту від можливого припикання з руйнацією багатокomпонентних матеріалів накладок через низьку адгезію їх складових. При цьому накладки повинні мати найменший коефіцієнт тертя по мідному дроту, найбільш можливу щільність та адгезію компонентів для протидії деструктивним процесам електричної та механічної ерозії в процесі експлуатації.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження зразків матеріалу пантографів проводили для трьох типів накладок: біметалевих пластин на мідній основі для струмоприймачів ПКД-4 (ТОВ "ІнтерКонтактПріор", м. Київ); накладок з пантографної міді (ПрАТ "Львівський ЛЛРЗ", м. Львів) та типу НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" НАНУ (м. Донецьк).

Мета досліджень — ідентифікувати фазові та структурні складові в наданих зразках; дослідити розміри частинок та об'ємний відсоток структурних складових матеріалу зразків і структурну однорідність матеріалів; виявити найкращий зразок матеріалу накладок для експлуатації на постійному електричному струмі.

Дослідження здійснювали за допомогою растрового електронного мікроскопа JSM-64901LV (Японія) з енергодисперсійним спектрометром INCA Penta FETx3 (OXFORD Instruments) та персональним комп'ютером в режимі прискорюючої напруги 10—20 кВ, сили електричного струму $3 \cdot 10^{-10}$ А при збільшенні 80—11 000 при контрасті у вторинних (SEI) та відображених (BEI) електронах. Програма досліджень передбачає проведення комплексного мікрорентгеноспектрального, макро- та мікροструктурного аналізу для двох типових зразків з кожної серії до та після експлуатаційних випробувань. Методики вказаних досліджень базуються на інструктивних документах застосованого обладнання [3].

Для відповідного аналізу зломів зразків, які утворилися в процесі експлуатаційних випробувань накладок пантографів, проведено фракто-

графічні дослідження за критерієм виявлення первісної тріщини та структурних складових, що були її ініціаторами. Для мікрорентгеноспектрального, макро- та мікроструктурного аналізів застосовували методику обробки даних за результатами візуального дослідження за діючими стандартами, а також процедури, закладені у ліцензоване програмне забезпечення (OXFORD Instruments) для обробки даних використаного обладнання. Морфологію та хімічний склад фаз матеріалу накладок різних типів досліджували на пришліфованій поверхні. Структурні характеристики композиційного матеріалу залежать від властивостей структурних складових та технології виробництва матеріалу.

Принципова технологічна схема виробництва накладок ТОВ "ІнтерКонтактПріор" (м. Київ) включає наступні технологічні процеси. Спочатку одержують порошок дисперсно-зміцненої міді змішуванням та розмелом вихідних порошків міді та оксиду алюмінію в атриторії, відновленням суміші в середовищі водню. Потім його змішують з порошками заліза, графіту і технологічними домішками, пресують на холодну пористі заготовки, нагрівають їх, ущільнюють та загартовують.

Хімічний склад контактних пластин ПКД-4, що затверджений в технічних умовах ТУ У 31.6-20573531-002:2009 "Пластини контактні на мідній основі для струмоприймачів тягового рухомого складу" на продукцію фірми, такий (% (мас.)): ПКД-4-1: мідь — 85,5—87,2; алюміній — 0,3—0,5; залізо — 9,0—10,0; вуглець — 3,5—4; ПКД-4-2: мідь — 82,4—84,6; залізо — 11,6—12,9; хром — 0,3—0,7; вуглець — 3,5—4.

Пантографна накладка з пантографної міді марок М1, М2 виготовляється з полоси мідного прокату.

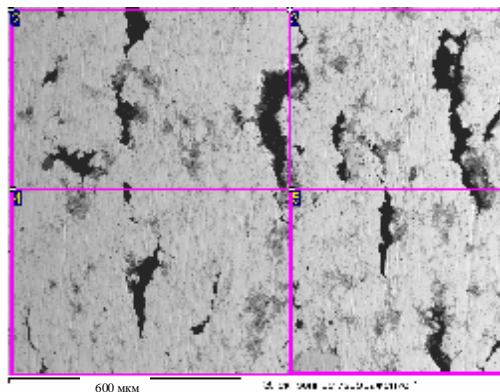
Струмоз'ємна накладка, виготовлена НТЦ "Реактивелектрон" (м. Донецьк), виконана у вигляді шаруватого композиційного струмоз'ємного матеріалу на основі мідної струмопровідної пластини з нижньою опорною частиною, що не зношується, і верхньою робочою частиною, що зношується при взаємодії з контактним дротом, в об'ємі якої розміщені на вибраних відстанях виїмки, заповнені самозмащуючим графітовмісним композитом. Відрізняється накладкою тим, що мідна струмопровідна пластина виконана необхідної довжини, ширини і товщини з мідного зміцненого прокату із твердістю робочої поверхні не менш 75 НВ і її шорсткість складає не більше 40 мкм. По довжині робочої частини зазначеної пластини безупинно або переривчасто розміщено виїмки у вигляді подовжніх пазів, розділених шарами міді з можливістю забезпечення рівномірного розподілу компонента, що змащує, по всій поверхні робочої частини накладки. Відношення площі зовнішньої поверхні зазначених пазів до загальної площі поверхні робочої частини мідної пластини вибрано в межах 0,35—0,5, відношення маси міді в об'ємі робочої частини до загальної маси міді в пластині — не менш 0,5. Графітовмісний композит, яким заповнюють пази у накладці, виготовлений у вигляді пасти з максимальною адгезією до міді на базі порошку природного графіту, термозатвердженому розчином полімерної смоли з добавкою уротропіну технічного при масовому відсотковому відношенні зазначеного композита до маси готової накладки у межах 2—3%.

Накладка відрізняється тим, що для застосування на електротранспорті композиційних шаруватих мідно-графітових накладок із вмістом міді в межах 12—40% (мас.) та більше струмопровідна пластина виконується на основі міді марок М1, М2, М3 у вигляді шин товщиною 6 мм, шириною 30 мм і довжиною 1200 мм при масі накладки 1,7 кг. Подовжні пази, заповнені твердим змащуючим графітовмісним композитом, розміщені в чотири ряди розміром 2,4—2,75 мм з допусками по ширині пазів 3—3,5 мм і глибиною пазів $4 \pm 0,2$ мм. Сумарна площа поверхні пазів підібрана у 3—5 рази більше за площу виїмок у вигляді ямок для рівномірності змащення ділянок міді кусочками шаруватого природного графіту. При цьому затвердіння полімерно-графітової суміші приводить до формування у пазах твердої і легкої склоподібної маси, що складає 2—3% від маси готової накладки (ТУ У 31.6-20573531-002:2011 "Накладки композиційні мідно-графітові типу НМГ 1200а і НМГ 1200б струмоприймачів рухомого складу електротранспорту. Технічні умови"). Виконання струмопровідної мідної пластини з приблизно рівними обсягами нижньої частини, що не зношується, і робочої частини, що зношується, забезпечує накладці гарні тепловідвід і електропровідність.

Фізико-механічні характеристики накладок перевіряли на машині тертя з навантаженням 10 кг при швидкості ковзання 32 км/год на шляху тертя 8 км, матеріал контртіла — нагартований мідний дріт з твердістю 130—140 НВ.

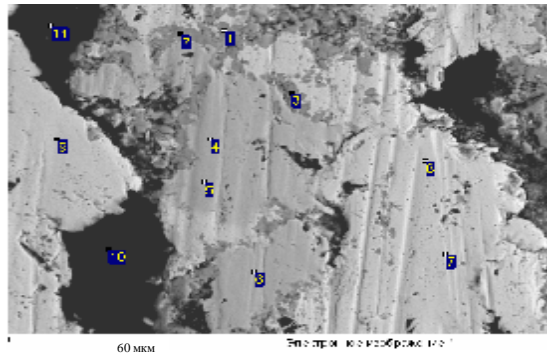
Дослідна частина

Аналіз структурних складових накладок пантографів виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор" з вмістом ~36% (мас.) графіту показав, що мідна фаза зміцнена домішками заліза, алюмінію, кремнію, оксидів алюмінію, кремнію, заліза та рівномірно розподіленими між фазами



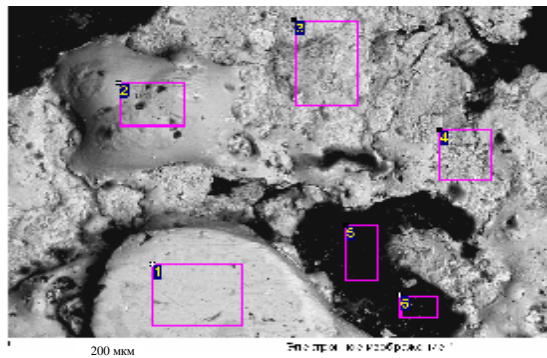
Спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu
1	17,98	4,8	0,15	0,08	0,34	0,07	0,06	0,2	0,06	9,15	67,1
2	22,78	4,38	0	0,08	0,49	0	0	0,3	0	7,28	64,77
3	23,62	5,42	0,08	0,13	0,32	0	0,14	0,24	0	9,34	60,82
4	10,9	4,6	0,02	0,02	0,51	0,15	0,01	0,34	0	8,57	74,88
5	15,1	5,73	0,01	0	0,29	0	0	0,36	0,03	11,77	66,73

Рис. 1. Мікроструктура та хімічний склад (% (мас.)) зразка матеріалу накладок виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор".



Спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu
1	2,09	24,45	0,07	0,03	0	0,06	0,01	0,2	0	71,56	1,52
2	6,47	24,24	0,13	0	0,16	0	0,03	0,1	0,03	67,04	1,91
3	3,11	25,96	0	0,07	0,08	0,04	0,01	0,4	0,06	68,77	1,51
4	3,47	0,11	0,13	0	0,06	0,01	0	0,01	0	95,25	0,94
5	3,53	0	0	0,05	0,08	0,01	0,02	0,05	0,38	94,51	1,56
6	3,04	0,24	0	0	0,04	0,01	0,02	0,03	0,01	94,34	2,35
7	4,43	0,22	0,06	0	0,05	0,07	0,05	0	0	2,01	93,19
8	4,32	1,28	0,03	0,05	0,05	0	0,09	0,18	0,01	3,46	90,5
9	4,88	0,61	0	0,07	0,01	0	0,02	0	0	2,04	92,56
10	96,24	2,84	0,07	0	0,03	0,09	0,04	0,03	0	0,51	0,24
11	95,05	3,03	0,06	0,18	0,25	0,04	0	0	0,03	0,88	0,44

Рис. 2. Мікроструктура та хімічний склад (% (мас.)) зразка матеріалу накладок виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор" (деталь до рис. 1).



Спектр	C	O	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo	Pb
1	4,93	2,02	0,15	0,04	0	0	0,13	1,04	91,22	0	0,57
2	9,64	12,66	0,03	0	0,43	0,16	0	9,18	66,57	0,34	1,01
3	7,8	10,17	0,04	0,03	0,07	0,08	0	17,24	63,47	0	1,24
4	11,5	9,94	0,06	0,06	0,2	0,14	0,08	13,48	61,93	0,26	2,2
5	91,24	4,48	0,04	0,39	0,19	0,04	0	0,76	2,96	0	0,62
6	93,14	4,09	0,01	0,04	0,25	0	0	0,34	2,35	0	0,16

Рис. 3. Мікроструктура та хімічний склад (% (мас.)) зразка матеріалу накладки виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор", який пройшов випробування на Львівській залізниці.

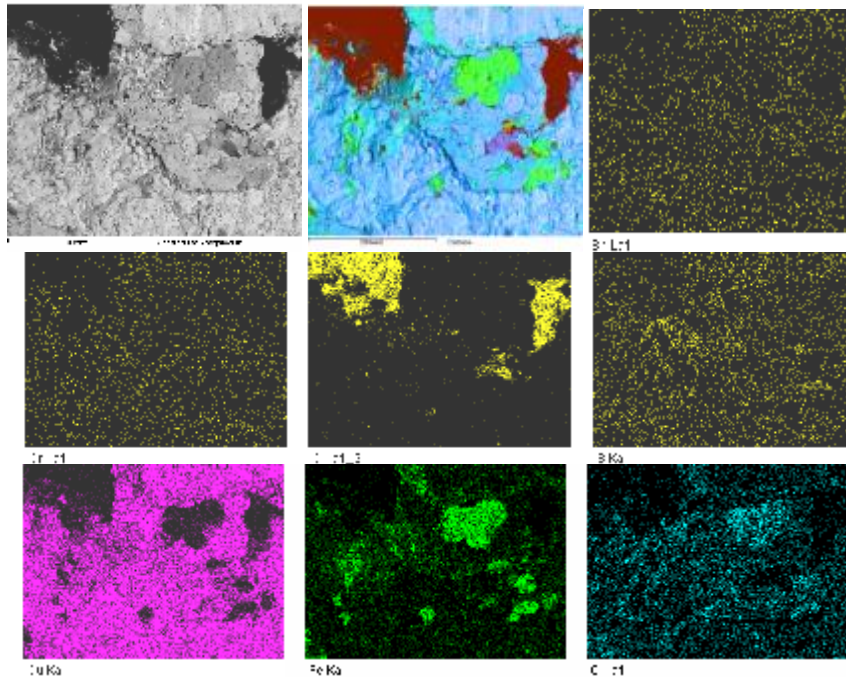
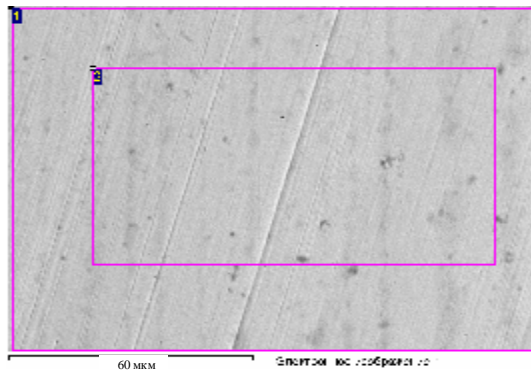


Рис. 4. Мікроструктура матеріалу накладки виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор", яка пройшла випробування на Львівській залізниці, знята у вторинних електронах та у характеристичному рентгенівському випромінюванні Sn, Cr, C, S, Cu, Fe і O₂.



Спектр	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Cu
1	5,82	1,15	0	0,08	0,06	0,02	0,02	92,62
2	6,03	1,1	0,22	0,05	0,04	0	0,07	92,77

Рис. 5. Мікроструктура та хімічний склад (% (мас.) зразка матеріалу пантографної міді.

сіркою, кальцієм, марганцем, нікелем. На рис. 1—4 наведено мікроструктури та хімічні склади матеріалів накладок.

Легкі елементи — бор та азот у структурі навіть у глибокому вакуумі за допомогою детектора енергодисперсійного спектрометра важко виділити.

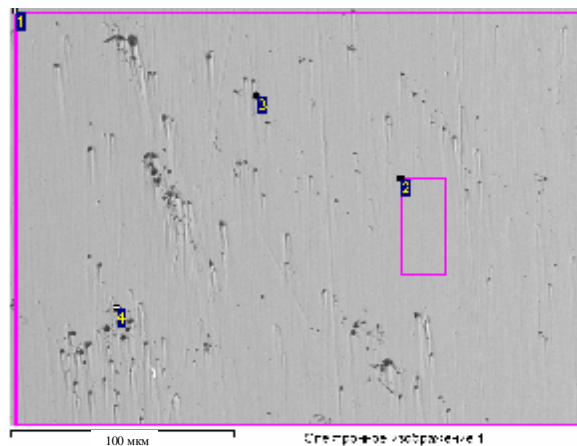
Додатковий аналіз показав можливу наявність до 3% (мас.) азоту, який зв'язаний в структурі активними атомами бору при концентрації нітриду бору до 1,5% (мас.).

Після випробування на Львівській залізниці проведено уточнений аналіз середньої концентрації елементів в структурі пантографної накладки виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор" (рис. 3). Аналіз показав, що сліди від припікання виносять мідну фазу з середини на робочу поверхню накладки пантографа. Вуглецева складова композитного матеріалу лишається в глибині робочої поверхні тертя. Хімічний склад структурних складових накладки пантографа змінюється в залежності від хімічного складу політури контактного дроту. Розподіл хімічних елементів в структурі композитного матеріалу накладки пантографа наведено на рис. 4.

На рис. 3, 4 видно, що при експлуатації накладки змінюється склад поверхні, що контактує з дротом. Елементний склад політури дроту переноситься на накладку пантографа тим ефективніше, чим більше виявляється припікань при її експлуатації.

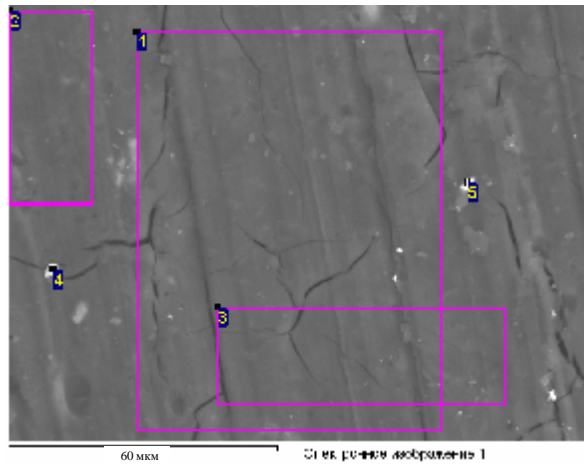
На рис. 5 наведено мікроструктуру та хімічний склад зразка з пантографної міді. Як свідчать наведені результати, ці зразки мають у своєму складі до 6% (мас.) домішок вуглецю та до 1% (мас.) оксидів алюмінію, магнію, заліза та кремнію. Подібний хімічний склад пантографних накладок забезпечує високі характеристики електропровідності, які надають достатню потужність локомотивам. Але в областях з очищеною від графітного композитного мастила поверхнею після експлуатаційних випробувань та в ділянках пониженої міцності через локальне підвищення температури при електричній ерозії спостерігаються пропили та припікання накладок.

На рис. 6, 7 наведено мікроструктуру, хімічний склад накладок з матеріалу НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" (м. Донецьк).



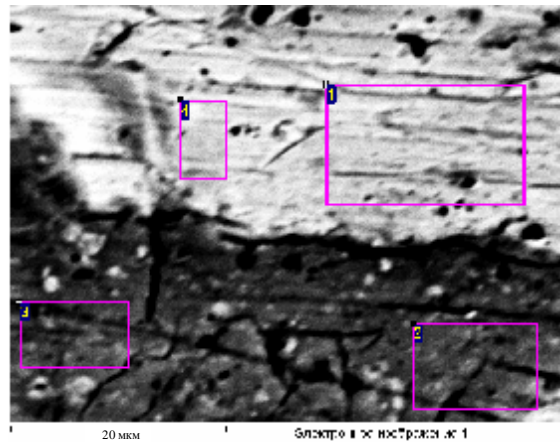
Спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Cr	Mn	Cu	Sn	Pb
1	2,26	0	0,01	0,02	0,69	0,04	0	0	97,68	0	0
2	1,53	0,33	0,03	0	0,08	0	0,01	0,04	97,83	0,11	0,19

Рис. 6. Мікроструктура та хімічний склад (% (мас.)) зразка матеріалу пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон".



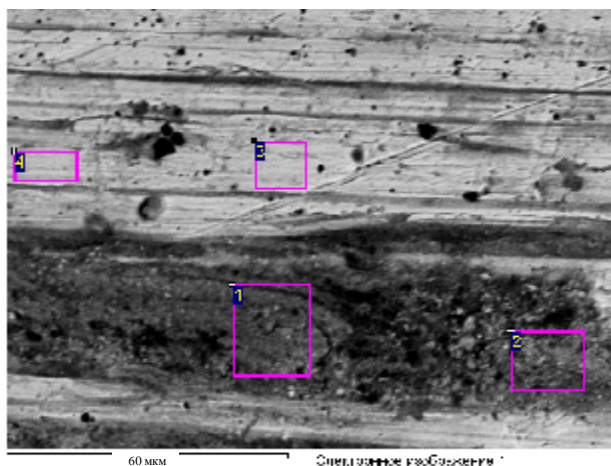
Спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu
1	76,14	16,68	0,01	0	0,03	0,04	0	0,05	0	0	0,01	7,19
2	76,1	16,62	0	0,02	0,14	0,12	0,03	0,16	0	0,07	0,58	6,2
3	77,87	15,82	0,05	0	0,05	0,04	0,02	0,05	0	0,02	0	6,22
4	31,73	27,42	0,02	0,21	0,23	0,03	0,05	0,12	0	0,08	38,66	1,51
5	55,35	8,41	0	0,02	0,34	0,03	0,01	0,02	0,07	3,26	30,81	1,69

Рис. 7. Мікроструктура та розподіл хімічних елементів (% (мас.)) в пантографічних накладках НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" після експлуатаційних випробувань.



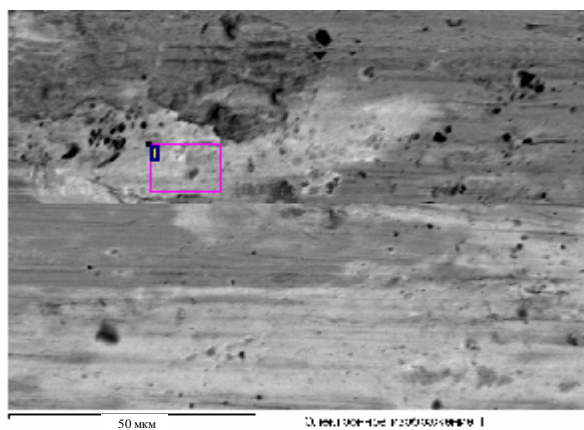
Спектр	C	O	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo	Pb
1	4,24	3,07	0,11	0,13	0,06	0,1	0	1,76	88,58	0	1,96
2	7,4	12,02	0,16	0,62	0	0,01	0	3,02	72,9	0,37	3,3
3	8,57	11,48	0,15	0,53	0,03	0,11	0,03	3,47	71,87	0,05	3,61
4	4,31	1,38	0,08	0,28	0,01	0,03	0,18	0,93	90,13	0	2,95

Рис. 8. Мікроструктура та розподіл хімічних елементів (% (мас.)) в пантографічних накладках НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" після експлуатаційних випробувань.



Спектр	C	O	Si	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo	Pb
1	20,54	12,33	0,63	0,59	0,08	0,1	0,05	0,07	1,14	63,64	0,16	0,66
2	21,92	8,83	0,45	0,11	0,29	0,06	0	0,06	1,06	66,1	0,31	0,89
3	5,54	3,59	0,13	0,03	0,04	0,01	0	0	0,56	89,96	0	0,23
4	7,04	2,56	0,08	0,1	0	0	0,04	0	0,14	90,29	0	0,14

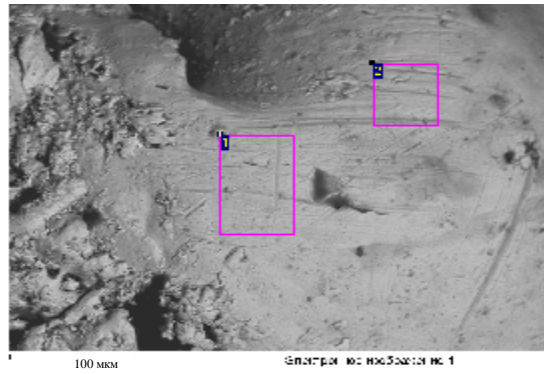
Рис. 9. Мікроструктура та хімічний склад (% (мас.)) робочої поверхні на границі мастильного матеріалу та матеріалу пантографної міді накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці.



Спектр	C	O	Si	S	Ca	Cr	Fe	Cu	Pb
1	10,34	9,29	0,25	0,91	0,07	0,14	5,41	55,24	21,08

Рис. 10. Структура пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці та хімічний склад (% (мас.)) ділянок припіків.

Згідно з результатами аналізу, крім міді, в матеріалі присутні кремній (до 0,69% (мас.)) та вуглець (до 2,26% (мас.)) з незначною кількістю інших



Спектр	C	O	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Mo	Pb
1	11,28	2,37	0,06	0	0,02	0,01	1,32	84,31	0,35	0,38
2	16,79	2,52	0,04	0,09	0,03	0,05	1,38	78,57	0	0,46

Рис. 11. Структура пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ "Реактивелектрон" після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці та хімічний склад (% (мас.)) ділянки припіку.

домішок (рис. 6). Композиційне мастило з графіту та фенолформальдегідної смоли містить дрібні (до 5 мкм) частинки оксиду заліза.

На рис. 8—11 наведено структуру пантографних накладок НМГ-1200 після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці, хімічний склад робочої поверхні та ділянок припікання. Видно, що зразки містять на ділянках припікання та на поверхні композиційного мастила більшу кількість вуглецю, що пояснюється його ущільненням при нагріванні в електричній дузі. Зміна хімічного складу на ділянках припікання мідної

Результати випробувань на зносостійкість накладок різних виробників

Номер наклад-ки	"ІнтерКонтактПріор"		"Львівський ЛЛРЗ"		"Реактивелектрон"	
	Знос контактних накладок					
	лінійний, мм	масовий, г	лінійний, мм	масовий, г	лінійний, мм	масовий, г
1	0,18	2,7	0,02	8,9	0,353	43,9
2	0,16	2,8	0,14	3,8	0,01	34,1
3	0,08	4,5	0,12	5,3	0,147	30,1
4	0,12	3,9	0,28	0,9	0,12	8,8
5	0,04	1,8	0,69	12,9	—	—
6	0,06	3,4	—	—	—	—
7	0,04	2,7	—	—	—	—
8	0,04	2	—	—	—	—
9	0,14	2,1	—	—	—	—
10	0,06	2,8	—	—	—	—
11	0,09	3,1	—	—	—	—
12	0,11	1,9	—	—	—	—
Середнє	0,0933	2,808	0,25	6,36	0,158	29,2


Зовнішній вигляд контактних вставок після випробувань	Характерні дефекти на поверхнях вставок
 <p data-bbox="472 516 699 548">"ІнтерКонтактПріор"</p>	<p data-bbox="824 268 1247 359">Наявне нагортання графітового мастила, яке частково спікається на поверхні контакту (верхнє фото).</p> <p data-bbox="824 386 1247 476">На нижній фотографії спостерігається незначний дефект, який може бути зародком пропилу.</p>
 <p data-bbox="480 978 688 1010">"Львівський ЛЛРЗ"</p>	<p data-bbox="824 583 1247 779">Наявне нагортання міді з поверхні контакту на зовнішню бокову поверхню накладки та незначне нагортання графітового консистентного мастила, яке частково спікається на поверхні контакту (верхня група вставок).</p> <p data-bbox="824 806 1247 896">На усіх вставках спостерігається дефект поверхні ковзання, який може бути зародком пропилу.</p>
 <p data-bbox="480 1293 688 1325">"Реактивелектрон"</p>	<p data-bbox="824 1056 1247 1146">Місцеве оплавлення внаслідок припикання, яке може бути причиною пропилу (верхнє фото).</p> <p data-bbox="824 1146 1247 1257">На нижній фотографії спостерігається дефект, який може бути зародком пропилу, супроводжений викрашуванням графітового композиту.</p>

Рис. 12. Загальний вигляд контактних вставок різних виробників після випробувань і характерні дефекти на їх поверхнях.

фази пояснюється неоднорідністю складу міді або впливом хімічного складу політури контактного дроту.

Перед початком випробувань проводиться вимірювання товщини накладок пантографів та їх маси. Після цього обчислюється знос по товщині та зменшення маси накладок пантографів. Результати випробувань накладок відображені в таблиці.

Відомі особливості ураження накладок, що експлуатуються на постійному струмі, зумовлені великими тяговими струмами, які викликають

припикання та оплавлення (рис. 12), часто з дуже інтенсивним характером. Подібні вади в певній мірі мають всі розглянуті типи накладок.

Слід відзначити, що при монтажі накладок виробництва "Реактив-електрон" зубчастий профіль їх робочої поверхні завдає труднощі при роззенковці отворів під болти внаслідок сковзання свердла в прорізи з графітовим композитом.

Висновки

Дослідження мікроструктури та хімічного складу пантографних накладок для роботи з постійним струмом показали, що на даний час в Україні в цьому секторі експлуатуються два види накладок: мідні та мідно-графітові з максимальною кількістю графіту (до 35%).

Найбільш небезпечними для електроерозії є накладки мідного типу. Крім того, вони схильні до перенесення на себе матеріалу дроту.

Морфологічний та хімічний аналізи складових мідно-вугільних вставок виробництва НТЦ "Реактивелектрон" НАНУ і ТОВ "ІнтерКонтактПріор" показали, що зразок з найбільш дисперсними структурними складовими виробництва ТОВ "ІнтерКонтактПріор" має найбільш прийнятні структурні і експлуатаційні характеристики.

1. *Баб'як М. О.* Дослідження зносу накладок струмоприймачів електрорухомого складу постійного струму в експлуатації / [М. О. Баб'як, О. С. Мінеєв, В. Я. Котик та ін.] // "Локомотив-інформ". — 2010. — № 2. — С. 48—50.
2. *Колесов С. М.* Матеріали та взаємодія контактної підвіски і струмоприймача / С. М. Колесов, І. С. Колесов. — Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. академіка В. Лазаряна, 2006. — 284 с.
3. *Растровий електронний мікроскоп-мікроаналізатор JSM-64901LV (Японія)* з енергодисперсійним спектрометром INCA Penta FETx3. Інструкція з експлуатації.

Исследование физико-механических свойств накладок пантографов, применяемых в качестве токосъемных элементов электроподвижного состава

Н. А. Баб'як, В. Л. Горобец, В. В. Артемчук

Проведен аналіз контактних матеріалів для накладок пантографів та їх вплив на фізико-механічні властивості накладок. Исследован характер разрушения накладок пантографов с различными макроструктурными составляющими. Сделана сравнительная оценка качества исследованных накладок пантографов.

Ключевые слова: пантограф, накладка, характеристика, аналіз.

Investigation of physical and mechanical properties of the pantographs linings used as current collecting elements of electric locomotive

M. Babyak, V. Gorobets, V. Artemchuk

The paper analyzes the contact materials for linings pantographs and their impact on physical and mechanical properties of the pads. The nature of the destruction of pantographs pads with different macrostructural components. The comparative evaluation of the quality of research overlap pantographs.

Keywords: pantograph, characterization, analysis.