

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

У роботі проведено аналіз контактних матеріалів для накладок пантографів та їх вплив на фізико-механічні властивості накладок. Досліджено характер руйнування накладок пантографів з різними макроструктурними складовими. Зроблена порівняльна оцінка якості досліджених накладок пантографів.

Ключові слова: пантограф, накладка, характеристика, аналіз.

Вступ

Відповідно з договором, укладеним між Укрзалізницею та Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, виконано роботи, що пов'язані з порівнянням 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 досліджено характер руйнування накладок пантографів з різними макроструктурними складовими, що відрізняються як за дисперсністю і хімічним складом компонентів, так і за анізотропією структурних та механічних характеристик різномірних фаз в їх конгломераті або з орієнтованою шаруватою макроструктурою з обмеженою кількістю шарів мастильних шарів (до чотирьох) на поверхню пантографної накладки.

За одержаними результатами зроблена порівняльна оцінка якості досліджених струмоз'ємних елементів та розроблене технічне рішення.

Виявлені властивості структури дозволили визначити найкращі зразки матеріалу накладок пантографів за триботехнічними, електроерозійними та електричними характеристиками.

Актуальність проблеми

Якість струмоз'єму, ефективність експлуатаційних характеристик, які включають триботехнічні, властивості проти припикання, здатність

збереження стабільних експлуатаційних характеристик при будь-яких метеорологічних умовах та здатність приймати великий струм при необхідності підвищення потужності локомотивів, у значній мірі залежить від природи матеріалу з якого зроблено окремі деталі та вузли струмоз'ємних елементів. Тому матеріали були та залишаються однією з головних ланок, 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, навіть, 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.

Але, для дослідження в області матеріалознавства струмоз'ємних елементів необхідно досконало вивчити існуючі в Україні та світі матеріали накладок пантографів, виявити найкращі зразки, та на базі досвіду попередніх науково-технічних розробок створювати найефективніші зразки. Специфіка цих матеріалів полягає в необхідності забезпечення, насамперед, безперешкодного проходження струму в накладках пантографів та захисту від можливого припікання з руйнацією багатокомпонентних матеріалів накладок за рахунок відсутності адгезії їх складових елементів. При цьому накладки повинні мати найменший коефіцієнт тертя по мідному дроту, найбільшу можливу щільність та адгезію компонентів для протидії деструктивним процесам електричної та механічної ерозії в процесі експлуатації.

Матеріал та методика досліджень

Дослідження зразків матеріалу пантографів проводили для трьох типів накладок: з пантографної міді «ПрАТ Львівський ЛЛРЗ», м. Львів; біметалеві пластини на мідній основі для струмоприймачів ПКД-4 ТОВ «ІнтерКонтактПріор», м. Київ; накладки типу НМГ-1200, виробництва НТЦ «Реактивелектрон» НАНУ, м. Донецьк,

Метою досліджень було:

- ідентифікація фазових і структурних складових в наданих зразках;
- дослідження розмірів часток та об'ємного відсотка структурних складових матеріалу зразків, і структурної однорідності матеріалів;
- виявлення найкращого зразка матеріалу накладок для експлуатації на постійному електричному струмі.

Дослідження проводили за допомогою растрового електронного мікроскопу 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 – 3×10^{-10} А, збільшенні $\times 80... \times 11000$ при контрасті у вторинних (SEI) та відображених (BEI) електронах. (рис. 1).



Рис. 1. Растровий електронний мікроскоп JSM-64901LV (Японія) з енергодисперсійним спектрометром INCA Penta FETx3

Програма досліджень передбачає проведення комплексного макроструктурного, мікрорентгеноспектрального та мікроструктурного аналізу для 2 типових зразків з кожної серії до та після експлуатаційних випробувань. Методики проведення вказаних вище досліджень базуються на інструктивних документах застосованого обладнання [1].

Дослідна частина

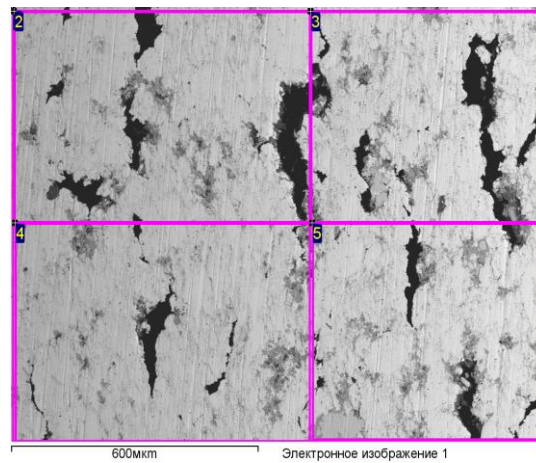
Для відповідного аналізу зломів зразків, що утворилися в процесі експлуатаційних випробувань накладок пантографів були проведені фрактографічні дослідження за критерієм виявлення первісної тріщини та структурних складових, що були її ініціаторами.

При проведенні 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), яке підтримує обробку даних використаного обладнання.

Морфологію та хімічний склад фаз матеріалу накладок різних типів досліджували на пришліфованій поверхні. Фізико-механічні характеристики накладок перевіряли на машині тертя з навантаженням 10 кг, швидкості ковзання 32 км/год на шляху тертя 8 км, матеріал контртіла – нагартований мідний дріт з твердістю 130-140 HB.

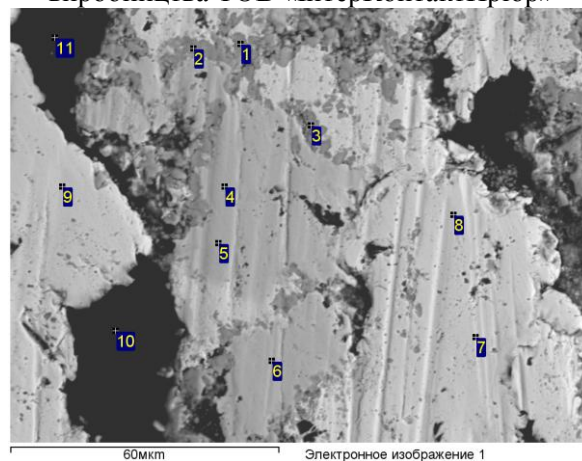
З аналізу структурних складових накладок пантографів виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор», що містять біля 36 % графітової складової, видно, що мідна фаза зміцнена домішками заліза, алюмінію, окисів алюмінію, кремнію, окисами кремнію, заліза та рівномірно розподіленими між фазами сіркою, кальцієм, марганцем, нікелем. На рисунках 2-5 наведено їх мікроструктуру та хімічний склад компонентів.

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 % азоту, який зв'язаний в структурі активними атомами бору при концентрації нітриду бора до 1,5 масового відсотка.



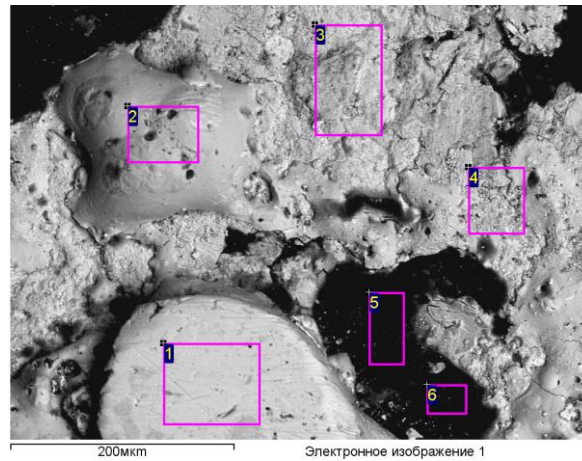
спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu
1	17,98	4,8	0,15	0,08	0,34	0,07	0,06	0,2	0,06	9,15	67,1
2	22,78	4,38	0	0,08	0,49	0	0	0,3	0	7,28	64,77
3	23,62	5,42	0,08	0,13	0,32	0	0,14	0,24	0	9,34	60,82
4	10,9	4,6	0,02	0,02	0,51	0,15	0,01	0,34	0	8,57	74,88
5	15,1	5,73	0,01	0	0,29	0	0	0,36	0,03	11,77	66,73

Рис.2. Мікроструктура та хімічний склад зразку 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.3. Мікроструктура та хімічний склад зразку матеріалу накладок виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор»



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.4 Мікроструктура та хімічний склад зразку матеріалу накладки виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор», який пройшов випробування на Львівській залізниці

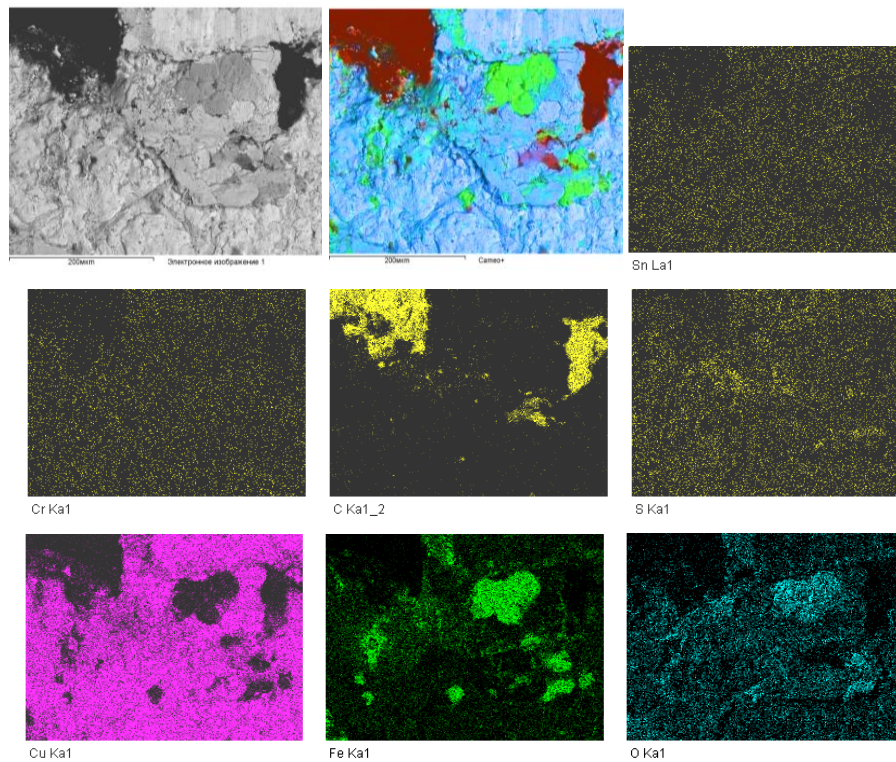


Рис. 5 Мікроструктура та хімічний склад зразку матеріалу накладки виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор», який пройшов випробування на Львівській залізниці

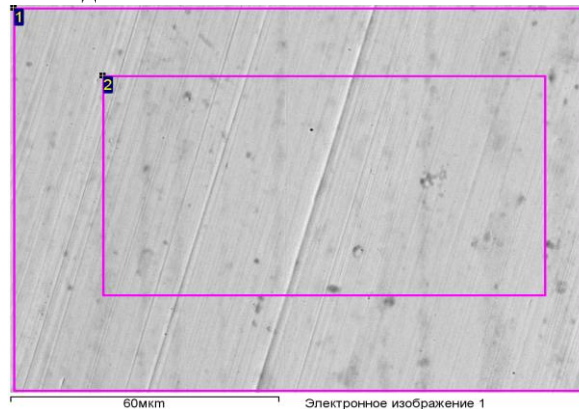
Після випробування на Львівській залізниці було проведено уточнений аналіз середньої концентрації елементів в структурі пантографної накладки виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор» (рис. 4).

З рисунку 4 видно, що сліди від припікання виносять мідну фазу з середини на робочу поверхню накладки пантографу. Вуглецева складова композитного матеріалу лишається в глибині робочої поверхні тертя. Хімічний склад структурних складових накладки пантографу змінюється в залежності від хімічного складу політури контактного дроту.

Розподіл хімічних елементів в структурі композитного матеріалу накладки пантографу наведено на рис. 5.

З рисунків 4-5 видно, що при експлуатації накладки змінюється склад поверхневих фазових, що контактують з дротом. Елементний склад політури дроту переноситься на накладку пантографу тим ефективніше, чим більше виявляється припікань при її експлуатації.

Другими за порядком випробувань були накладки пантографної міді (рис. 6). З рисунку видно, що накладки з пантографної міді, мають у своєму складі до 6 % домішок вуглецю, та до 1 % оксидів алюмінію, магнію, заліза та кремнію. Подібний хімічний склад пантографних накладок забезпечує високі характеристики електропровідності, який надає достатню потужність локомотивам. Але в областях з очищеною від графітного композитного мастила поверхнею після експлуатаційних випробувань та в ділянках пониженої міцності, за рахунок локального підвищення температури при електричній ерозії, спостерігаються пропили та припікання накладок.



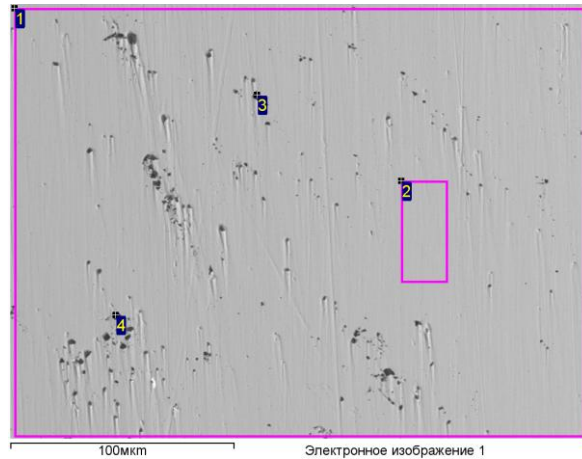
спектр	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Cu
1	5,82	1,15	0	0,08	0,06	0,02	0,02	92,62
2	6,03	1,1	0,22	0,05	0,04	0	0,07	92,77

Рис.6 Мікроструктура та хімічний склад зразку матеріалу пантографної міді

Наступними зразками для аналізу структурного стану були накладки НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон», м. Донецьк.

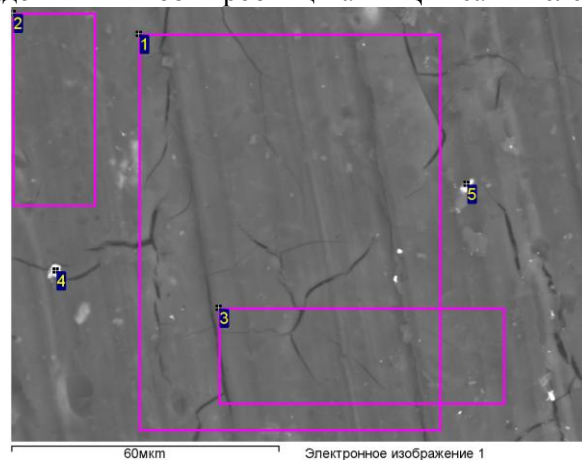
На рисунках 7-8 наведено мікроструктуру, хімічний склад компонентів композиційного матеріалу накладок. З аналізу структури накладок НМГ-1200 видно, що в них є домішки кремнію (до 0,69%) та вуглецю (до 2,26%) із незначною кількістю інших домішок (рис.7). Склад композиційного мастила з графіту та фенол-формальдегідної смоли містить дрібні до (5 мкм) частки окису заліза.

На рисунках 9-12 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 фази пояснюється неоднорідністю складу міді, або впливом хімічного складу політури контактного дроту.



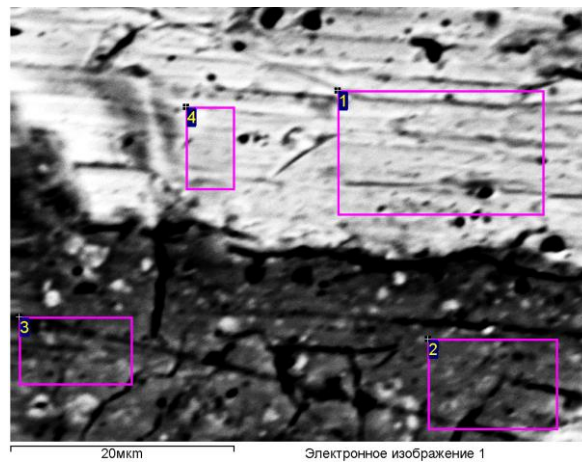
спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Cr	Mn	Cu	Sn	Pb
1	2,26	0	0,01	0,02	0,69	0,04	0	0	97,68	0	0
2	1,53	0,33	0,03	0	0,08	0	0,01	0,04	97,83	0,11	0,19

Рис.7. Мікроструктура та хімічний склад зразку матеріалу пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон»



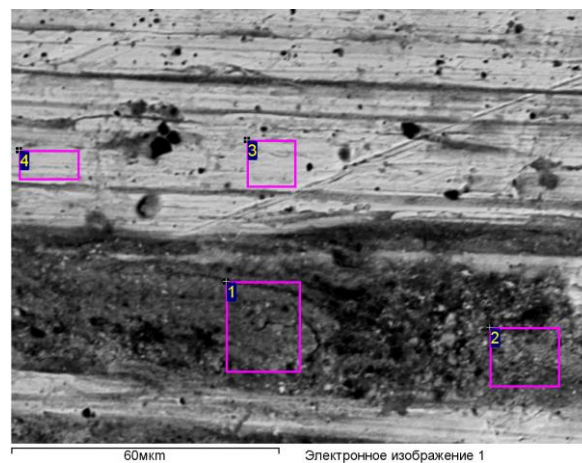
спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu
1	76,14	16,68	0,01	0	0,03	0,04	0	0,05	0	0	0,01	7,19
2	76,1	16,62	0	0,02	0,14	0,12	0,03	0,16	0	0,07	0,58	6,2
3	77,87	15,82	0,05	0	0,05	0,04	0,02	0,05	0	0,02	0	6,22
4	31,73	27,42	0,02	0,21	0,23	0,03	0,05	0,12	0	0,08	38,66	1,51
5	55,35	8,41	0	0,02	0,34	0,03	0,01	0,02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

Рис.1.8 Розподіл хімічних елементів в пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон» після експлуатаційних випробувань.



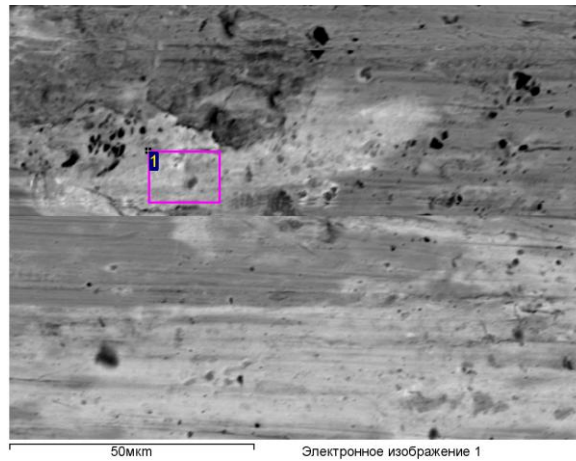
спектр	C	O	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo	Pb
1	4,24	3,07	0,11	0,13	0,06	0,1	0	1,76	88,58	0	1,96
2	7,4	12,02	0,16	0,62	0	0,01	0	3,02	72,9	0,37	3,3
3	8,57	11,48	0,15	0,53	0,03	0,11	0,03	3,47	71,87	0,05	3,61
4	4,31	1,38	0,08	0,28	0,01	0,03	0,18	0,93	90,13	0	2,95

Рис.1.9 Розподіл хімічних елементів в пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон» після експлуатаційних випробувань



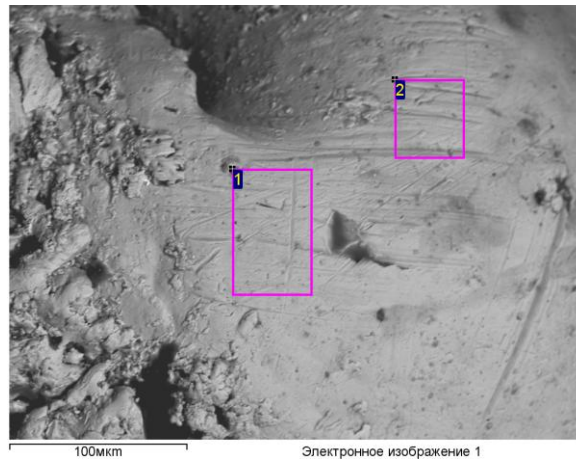
спектр	C	O	Si	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo	Pb
1	20,54	12,33	0,63	0,59	0,08	0,1	0,05	0,07	1,14	63,64	0,16	0,66
2	21,92	8,83	0,45	0,11	0,29	0,06	0	0,06	1,06	66,1	0,31	0,89
3	5,54	3,59	0,13	0,03	0,04	0,01	0	0	0,56	89,96	0	0,23
4	7,04	2,56	0,08	0,1	0	0	0,04	0	0,14	90,29	0	0,14

Рис.10 Розподіл хімічних елементів в пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон» після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці. Хімічний склад робочої поверхні на границі мастильного матеріалу та матеріалу пантографної міді.



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.1.11 Структура пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон» після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці. Хімічний склад ділянок припіків.



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.1.12 Структура пантографних накладок НМГ-1200 виробництва НТЦ «Реактивелектрон» після експлуатаційних випробувань на Львівській залізниці. Хімічний склад ділянки припіку.

Висновки

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

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

3. Морфологічний та хімічний аналіз складових мідно-вугільних вставок виробництва НТЦ «Реактивелектрон» НАНУ і ТОВ «ІнтерКонтактПріор» показав, що зразок з найбільш дисперсними структурними складовими виробництва ТОВ «ІнтерКонтактПріор» має найбільш прийнятні структурні і експлуатаційні характеристики.

Література.

1. Растровий електронний мікроскоп-мікроаналізатор JSM-64901LV (Японія) з енергодисперсійним спектрометром INCA Penta FETx3. Інструкція з експлуатації
2. Баб'як М.О., Мінес О.С., Котик В.Я., Ручка П.В., Сахненко О.В., Богатов О.С. Дослідження зносу накладок струмоприймачів електрорухомого складу постійного струму в експлуатації// «Локомотив-інформ» 2010. №2 С.48-50.
3. Колесов С.М. Матеріали та взаємодія контактної підвіски і струмоприймача / С.М. Колесов, І.С. Колесов. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – 284 с.

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

Н.А. Бабяк, В.Л. Горобец, В.В. Артемчук

В работе проведен анализ контактных материалов для накладок пантографов и их влияние на физико-механические свойства накладок. Исследован характер разрушения накладок пантографов с различными макроструктурными составляющими. Сделана сравнительная оценка качества исследованных накладок пантографов

Ключевые слова: пантограф, накладка, характеристика, анализ.

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

Babyak M., Gorobets V., Artemchuk V.

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.