

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ДЕЯКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ КОНТАКТОРІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Баб'як М.О., к.т.н.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім.акад.В.Лазаряна
Україна, 79052, Львів, вул. Блажкевич, 12а, Львівський факультет
тел. (032) 226-05-34, E-mail: diit@railway.lviv.ua

Тетерко О.А.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім.акад.В.Лазаряна
Україна, 49010, Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2, кафедра “Теоретичних основ електротехніки”
тел. (056) 776-17-91

Мінакова Р.В., д.т.н., Крячко Л.А., к.т.н.

Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАНУ
Україна, 03680, Київ-142, вул. Кржижанівського, 3, лаб. 29
тел. (044) 424-24-74, E-mail: 29 min@ipms.kiev.ua

В статті розглянуто сучасні контактні матеріали, що пропонуються до використання в якості напайок силових контакторів електровозів змінного струму, які випускаються підприємствами України та Росії. Наведено результати досліджень важливих з точки зору надійності характеристик цих матеріалів та подано рекомендації стосовно їхньої подальшої експлуатації.

В статье рассмотрены современные контактные материалы, предлагаемые к использованию в качестве напайки силовых контакторов электровозов переменного тока, выпускаемые предприятиями Украины и России. Приведены результаты исследований важных с точки зрения надежности характеристик этих материалов и представлены рекомендации относительно их дальнейшей эксплуатации.

Метою даної роботи є підвищення експлуатаційної надійності роботи та здешевлення ремонту контакторних елементів електрорухомого складу змінного струму залізниць України.

Робота виконана згідно з планом науково-дослідних робіт ВАТ “Львівський локомотиворемонтний завод” на 2003 – 2004 рр. за темою “Розробка і впровадження технології відновлення зношених мідних та срібломістких силових контактів електропневматичних контакторів та контакторів ЕКГ електровозів ВЛ80”, шифр 10/03/04 СНЦ, державний реєстраційний номер 0104U003103.

Комутаційні апарати різних типів та призначення застосовуються дуже широко як в енергетиці, електротехніці так і на електрорухомому складі залізничного транспорту. Проблема надійності електричних апаратів є однією з найбільш важливих, вирішення якої необхідне для підвищення рівня безвідмовної роботи, особливо коли це стосується безпеки руху. Проблема забезпечення надійності дуже широка, охоплює всі етапи - конструювання апаратів, виготовлення, практичного використання і передбачає закладення необхідного рівня якості матеріалів та складання при виготовленні, ремонті, та високий рівень експлуатації.

Особливо це стосується контакторів А, Б, В, Г головного електричного контролера ЕКГ-8 електровозів ВЛ80, особливість конструкції яких полягає в двох парах контактів – головних, що за звичай виконувались з напайкою (16×32×3 мм) із срібломісткого матеріалу КМК-А10М (СОК-15) та розривних, напайка яких (20×25×8 мм) виготовлялась мідновольфрамовою КМК-Б25 (МВ-70). Головні контакти повинні

розмикатись та замикатись без струмового навантаження, оскільки конструкція контактора передбачає розрив дуги та замикання силового кола розривними контактами за допомогою видування дуги повітрям і магнітним полем у дугогасну камеру. Нажаль, кінематика роботи контактора при зношених (або частково вигорівших) напайках розривних контактів здебільшого порушується і надійність такого контактного з'єднання і процес комутації залежить тільки від матеріалу контактних напайок. Особливо гострим питанням заміни та відновлення вигорівших контактів стало після набуття Україною незалежності, коли “базові виробники” залишилися за кордоном. На їх місце претендують сучасні підприємства, надійність і вартість продукції яких далеко не відповідає встановленим вимогам. Тому для уникнення можливих наслідків використання таких матеріалів, що пропонуються залізничному транспорту в якості контактів силових контакторів електрорухомого складу було виконано попередні дослідження.

Проведений аналіз впливу можливих факторів на надійність силових контакторів електровозів змінного струму на залізницях України дозволив виявити, що до 36% всіх відмов виникає через недоліки конструкції; 36% - за рахунок некоректних умов експлуатації; 28% всіх відмов відбувається за рахунок недостатнього рівня надійності контактних елементів, що застосовуються в даних апаратах.

На надійність цих елементів в першу чергу впливає якість нероз'ємних з'єднань, утворених різними методами, та властивості комплектуючих матеріалів. Критичним елементом в контактному вузлі є не-

роз'ємне з'єднання “робоча поверхня - контактотримач”. Пористість, що формується під впливом низки факторів нестабільності технології паяння, зварювання-паяння, тощо призводить до механічної руйнації самого вузла та до перегріву контактної пари, що зменшує ресурс її роботи. Це підтверджено на практиці при проведенні експериментальних досліджень. Від збільшення кількості пор збільшується швидкість росту ерозії в напружених місцях контакту

Електроконтактні матеріали відіграють суттєву роль в формуванні параметрів вузлів. Для виготовлення електричних контактів: низьковольтних (середнього та великого навантаження), високовольтних, сильнострумових – використовують гетерогенні матеріали в системах Me-Me; Me-MeO; Me-безкисневі з'єднання та інші. Причиною незадовільної зносостійкості контакт-деталей, що призвели до відмов під час експлуатації вимикачів, є недосконалість мікроструктури, що пов'язана з недоліками технології отримання заготовок з композиційних матеріалів (КМ) [1]. Раковини, пори, неоднорідність розподілу структурних складових цих КМ можуть підвищувати електроерозійний знос робочого шару, сприяти формуванню грубого рельєфу, збільшувати імовірність до зварювання контактів і цим знижувати експлуатаційну надійність комутаційного апарата.

Накопичений досвід досліджень впливу дефектів структури на особливості електроерозійного зносу обумовив необхідність при розробці технічних умов і стандарту на контакти на основі вольфраму та міді ввести в якості параметрів контролю вміст пор в робочій поверхні (напайці) та границі розподілу робоча поверхня – масивне тіло (контактотримач), і розмір конгломератів структурних складових в КМ [1].

В першій частині роботи досліджувались хімічний склад, структура та деякі властивості композицій на основі вольфраму і міді, срібла й оксиду кадмію, міді з оксидами та карбідами. Мікроструктурний аналіз проводився з використанням мікроскопу Neophot-2, скануючого мікроскопу мікрозонду Superprobe 733 Jeol, рентгеноспектральне дослідження розподілу елементів за допомогою того ж мікрозонду, електричний опір вимірювали за допомогою моста R3009 за умови: $I=1A$; $U=24V$, твердість – по методу Брінелля. Вміст пор та розмір складових КМ на основі вольфраму й міді визначали використовуючи метод сікучої.

КМ на основі вольфраму та міді з додаванням нікелю були розроблені в ПІМ НАН України і випускалися (промисловий випуск продовжується і тепер) відповідно до ГОСТ 13333, розробленого також ПІМ. Згідно до цього стандарту (тепер ТУ303-89 ИЛГТ.711711.004 ТУ заводу “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія) контакт-деталі марки КМК-Б25 (КМК-Б21) повинні містити 23,5-29,5% (мас.) міді, 1,5-3,5% (мас.) нікелю, вольфрам – решта [2]. Порівняльний аналіз хімічного складу, твердості, електричного опору зразків 3 партій свідчить про те, що досліджувані контакт-деталі цього заводу відповідають вимогам ТУ 303-89... до рівня контрольованих властивостей. В Державний стандарт і ТУ 303-89... на контакти на основі вольфраму були включені вимоги до

вмісту пор, неметалевих включень, а також до характеру розподілу структурних складових.

Введення таких вимог в нормативну документацію було обумовлено результатами спільних досліджень, що виконувались ПІМ НАН України, ВНДЦВВА та НДІ Уралелектроважмаш [1, 3]. Було встановлено, що швидкість електроерозії – структурно чуттєвий фактор. При вмісті пор до 2%(об.) швидкість ерозії змінюється мало, зростає в інтервалі 2-4%(об.) і різко збільшується при подальшому зростанні вмісту пор в матеріалі контакт-деталі.

В КМ марки КМК-Б25, партія 3 виробництва Кінешмівського заводу “Електроконтакт” вміст пор значно менше 1% і пов'язано тільки з наявністю гетерогенних агломератів вольфрам-нікелевого порошку, які утворюються в процесі спільного відновлення ангідриду вольфраму та вуглекислого нікелю (рис. 1).

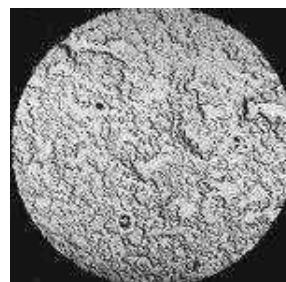


Рис. 1. Мікроструктура КМ марки КМК-Б25 (Б21) $\times 350$ виробництва заводу “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія

При високій щільності вольфрамового шару мідь в процесі просочування не проникає в агломерат, чим і зумовлена залишкова пористість матеріалу виробництва заводу “Електроконтакт”. Контакт-деталі цієї марки отримують методом просочування. Цей метод подібно зонному очищенню сприяє рафінуванню матеріалу, підвищенню адгезійних характеристик на межі розділу структурних складових. Цей фактор має суттєве значення, оскільки один з механізмів електроерозії – крихке руйнування матеріалу контакту – пов'язане з поширенням тріщин вздовж границь розділу структурних складових що збагачені домішками. Саме з цим, можливо, і пов'язане зниження електричної ерозії контактів з вольфрам-нікель-мідного КМ в низці: спечений в твердій фазі \rightarrow спечений в присутності рідкої фази \rightarrow просочений [2].

Ступінь неоднорідності розподілу складових конгломератів часток тугоплавкої та областей легкоплавкої складових оцінювалась їх розмірами по методу сікучої. Згідно ТУ 303-89... ці розміри не повинні перевищувати 150 мкм. Суттєве збільшення перших та других сприяє перегріву робочого шару і схлопвання контактів [1]. Контакти марки КМК-Б25 заводського виконання задовільняють цим вимогам.

Попри всі переваги цього матеріалу широке його використання обмежене через їх вартість та митні збори при перетині кордонів, хоча за часів СРСР обсяг виробництва контакт-деталей та вихідних матеріалів для них повністю задовільняв попит залізничного транспорту та інших областей народного господарства. Існуючий попит в КМ на основі тугоплавких металів і міді сприяв розвитку малих виробництв з різни-

ми видами власності. Через це серед досліджуваних партій КМ вольфрам-нікель-мідь аналізуються зразки КМ ПП “Власов”, м. Запоріжжя, Інтер-Контакт-Пріор, м. Київ. Встановлено, що для зразків партій 4, 5, 6, 7 притаманний електричний опір, що в більшому відповідає марці КМК-Б25 (Б21), однак і хімічний склад і твердість відрізняються значним розкидом величин (див. таблицю). Для всіх зразків КМ, виготовлених методами порошкової металургії (без просочування),

гарячим штампуванням та іншими, характерна надлишкова пористість, рис. 2 а, б, в, г.

Пористість та неоднорідність розподілу структурних складових зумовлює розкид параметрів: електричного опору, твердості. Твердість, як відомо, корелює з характеристиками міцності, тому неоднорідність та пористість будуть знижувати межу текучості, межу міцності, релаксаційну властивість матеріалу.

Таблиця

№* партії	Хімічний склад, % мас.				Пит.ел.опір, ρ, Ом·мм ² /м	Твердість, НВ	Структура	
	Ag	Cu	Ni	Mo			Пориста	Розподіл
1	89,7	-	-	-	0,0264	96 ± 5	<< 1%	Однорідна
2	87,7	-	-	-	0,0233	53 ± 7	<< 1%	Різко неоднорідна
3	-	23,2	3,4	-	0,0800	193 ± 3	<< 2%	Розмір полів <150мкм
4	-	30,7	2,7	-	0,0840	158 ± 9	6,78 ± 4,3	Розмір полів >150мкм
5	-	30,5	3,0	-	0,0755	207 ± 4	5,45 ± 1,0	Неоднорід, Розмір полів >150мкм
6	-	32,3	3,0	-	0,0820	168 ± 5	5,87 ± 1,23	Неоднорідна
7	-	32,9	2,7	-	0,0847	185 ± 6	4,15 ± 2,8	Неоднорідна
8, 9	-	-	-	12,3	0,0213	244 ± 7	безпориста	Шарувата
10	-	-	-	-	0,0165	110 ± 8	безпориста	Анізотропна
11	-	-	-	-	0,193	92 ± 5	безпориста	Анізотропна

*партія 1 - композиційний матеріал КМК – А10М 321630ПП, виробництва ДП “Аргентум”, м. Львів, (32×16×3);

2 - композиційний матеріал КМК – А10М 321630ЦП, вир-ва “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія, (32×16×3);

3 - композиційний матеріал КМК – Б25, вир-ва “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія, (за спільно розробленою технологією ІПМ НАН України та НДІ Уралелектроаважмаш, Росія)(20×25×8);

4 - композиційний матеріал МВ-70, вир-ва “Інтер-Контакт-Пріор”, м. Київ, (20×25×8);

5, 6, 7 - композиційний матеріал КМК – Б21, вир-ва ПП “Власов”, м. Запоріжжя, (з використанням методів твердофазного і рідиннофазного спікання) (20×25×8);

8, 9 - композиційний матеріал МДК-3 виробництва АТ “Геконт”, м. Вінниця (32×16×3) і (20×25×8);

10, 11 – комп. матеріал “ДИСКОМ” ТзОВ ІНТЦ “ДИСКОМ”, м. Чебоксари, Росія, (32×16×3) і (20×25×8);

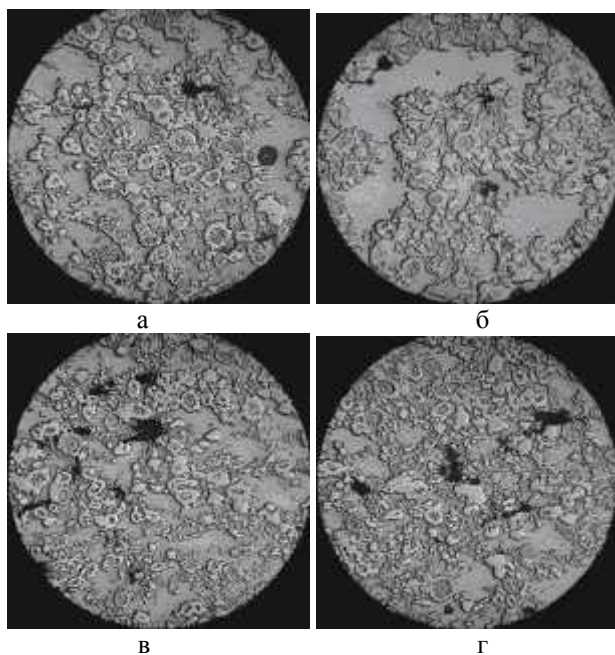


Рис. 2. Мікроструктури КМ × 350:

а – виробництва “Інтер-Контакт-Пріор”, м. Київ;

б, в, г - виробництва ПП “Власов”, м. Запоріжжя

(з використанням методів твердофазного і рідиннофазного спікання)

Серед аналізованих матеріалів був також досліджений КМ на основі срібла з його вмістом, відповідним КМК-А10М (СОК-15). Порівняльне дослідження структури та деяких властивостей зразків, що вигото-

влені ДП “Аргентум”, м. Львів, Україна та заводу “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія, підтвердило перевагу перших. Їх властивості відповідають ТУ У 13815264.008-2000. Структура однорідна, непориста, рис. 3, а. Зразки КМК-А10М заводу “Електроконтакт” відрізняються крайньою неоднорідністю розподілу оксиду кадмію, рис. 3, б, низькими значеннями твердості й міцності: під дією стандартного навантаження при вимірі твердості по Брінеллю зразки були зруйновані. Останнім часом помічена тенденція заміни низьковольтних контактів з срібломістких КМ контактами з композицій на основі міді. В Україні – це шаруваті КМ на основі міді та молібдену з незначними додатками (менше 1% мас. сумарно) цирконію та ітрію. Особливості таких композицій наведені на рис. 4. У відпаленому стані вони характеризуються малим та стабільним електричним опором, твердістю, що не поступаються КМК-Б25 (Б21), практичною відсутністю пористості. Такі матеріали виробляються методом електронно-променевого високошвидкісного випарування-конденсації та є в низці випадків використання альтернативою порошковим КМ.

КМ партій 10 і 11 виробництва ТзОВ ІНТЦ “ДИСКОМ”, м. Чебоксари, Росія, призначені в основному для електродів контактних машин та струмоприймачів. Ці КМ серед досліджуваних володіють найнижчим електричним опором (нижче ніж у КМК-А10М). По рівню твердості ці КМ відповідають КМК-А10М і характеризуються відсутністю пористості та металографічною анізотропією структури: в технологію

включені методи обробки тиском (прокачування, екструзія). Враховуючи умови роботи, для яких ці КМ були створені, використанню їх в якості контактів повинні передувати порівняльні стендові, натурні випробовування, які дозволять встановити область їх ефективного застосування. Як відомо, електричні контакти експлуатуються в умовах інтенсивного теплового потоку, газо-, електродинамічних сил, що створюються дуговим розрядом, який виникає при комутації струму. В таких умовах вихідна структура КМ “працює” тільки протягом перших комутаційних циклів, подальші викликають незворотні структурні зміни, формування вторинної структури, рис. 5, яка стає відповідальною за механізми викиду, його інтенсивність, швидкість ерозії та значення інших функціональних параметрів.

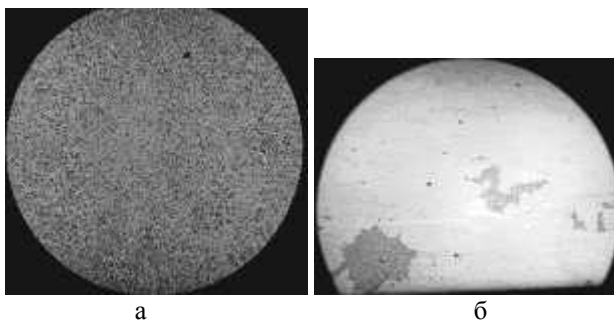


Рис. 3. Мікроструктури КМК-А10М:
а – виробництва ДП “Аргентум”, м. Львів $\times 250$;
б – заводу “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія, $\times 125$

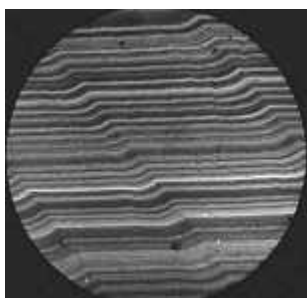


Рис. 4. Структура мікروشаруватого і мікродисперсного композиційного матеріалу МДК-3 виробництва ВАТ НВП “Геконт”, м. Вінниця, $\times 250$

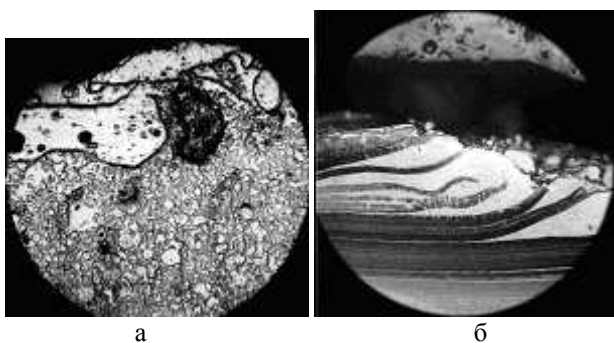


Рис. 5. Вторинна структура, що утворюється на поверхні
а – контактів з W-Ni-Cu композиційних матеріалів, $\times 125$;
б – контактів з композиційного матеріалу МДК-3, $\times 250$:

Через це, якщо для електроконтактних матеріалів КМК-Б25 процеси формування та руйнації вторинної структури (або напрацьованого шару) в певній мірі

вивчені і потребують систематизації, то для КМ виробництва “ДИСКОМ” ще необхідне накопичування таких відомостей. Це пов’язано з тим, що в дисперсійно-наповнювачем матеріалі “ДИСКОМ” наповнювачем є неелектропровідна (або мало електропровідна) фаза, поведінка якої під дією розряду важко прогнозована.

В контактах з МДК в процесі експлуатації відбувається повна руйнація шаруватої структури, тому визначення ефективної області застосування також вимагає накопичення та статистичної обробки даних.

На основі досліджень можна зробити висновки:

1. Композиційні матеріали марки КМК-Б25 (Б21) виробництва ПП “Власов”, м. Запоріжжя та “Інтер-Контакт-Пріор”, м. Київ характеризуються високою пористістю, неоднорідністю структури, розкидом властивостей і не можуть забезпечити ресурс роботи на рівні з контактами цієї марки виробництва заводу “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія.

2. Це ж стосується КМ марки КМК-А10М заводу “Електроконтакт”, м. Кінешма, Росія, в порівнянні з срібломісткими контактами КМК-А10М що виготовлені ДП “Аргентум”, м. Львів, Україна.

3. Для використання КМ виробництва ТзОВ ІНТЦ “ДИСКОМ”, м. Чебоксари, Росія, необхідні систематичні стендові випробовування.

4. Електроконтактні матеріали марки МДК з шаруватою мікродисперсною будовою можуть використовуватись при експлуатації в низці типів комутаційних апаратів. Однак, враховуючи особливості електроерозійної руйнації при експлуатації на повітрі (з повною втратою шаруватої мікродисперсійної структури), оптимальні умови роботи, “знаходження власної ніші” вимагають накопичення даних.

5. Виробництво контактів, маючи на увазі дотримання прецизійності підходу до обґрунтування та організації технологічного процесу і жорсткого операційного контролю, неможливе в рамках малих комерційних підприємств, обмеженого технічного та професійного забезпечення.

На даний час всі контактні матеріали підготовлені до стендових та експлуатаційних випробовувань кафедрами електрорухомого складу залізниць та теоретичних основ електротехніки Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В.Лазаряна. Випробовування передбачені на електровозах змінного струму ВЛ80т локомотивного депо Львів-Захід Львівської залізниці.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Минакова Р.В., Грекова М.Л., Кресанова А.П., Крячко Л.А. Композиционные материалы для контактов и электродов. Обзор.//Порошковая металлургия.-1995.-№7-8.-С.32-53.
- [2] ГОСТ 13333-83 Контакт-детали металлокерамические на основе вольфрама. Москва: Издательство стандартов, 1983. – 32 с.
- [3] ТУ 303 -89 ИЛГТ.711711.004 ТУ. Контакт-детали металлокерамические на основе вольфрама Кинешма: “Электроконтакт”. –46 с.

Поступила 20.07.2004