

Шифр: «Контактні матеріали»

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТАКТНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ  
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТЯГОВОГО РУХОМОГО  
СКЛАДУ**

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Особливості експлуатації і виникаючих дефектів електричних контактів.....	5
Розділ 2 Аналіз існуючих контактних матеріалів та їх застосування для електроапаратури тягового рухомого складу.....	16
Розділ 3 Особливості виготовлення и роботи електричних контактів з композиційних матеріалів.....	20
Розділ 4 Технологія ремонту і відновлення працездатності контактних елементів електроапаратів .....	26
ВИСНОВКИ.....	29
Список використаних джерел.....	30

## ВСТУП

Рівень надійності тягового рухомого складу залізниць залежить від надійності кожної системи елементів його конструкції, а саме механічної, електрообладнання та апаратів, пневматичної, пристроїв безпеки.

Надійність електроапаратури тягового рухомого складу залежить від багатьох факторів, таких як: якість її розробки, точності виготовлення і збірки, використовуваних матеріалів, організація експлуатації та ремонту, кваліфікація обслуговуючого персоналу, а також умови експлуатації: температура навколишнього середовища, вологість, запиленість і загазованість повітря, електромагнітний вплив і ін.

Значний вплив на якість роботи і надійність електричної апаратури робить стан контактних елементів, які працюють на замикання і розмикання електричних ланцюгів і комутуючих пристроїв. Основним показником, за яким характеризують надійність роботи контактних елементів електроапаратури, служить термін експлуатації контактів за критерієм швидкості їх зносу.

## РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ВИНИКАЮЧИХ ДЕФЕКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ

Більшість контактів електричної апаратури тягового рухомого складу залізниць працюють при високих значеннях сили струму, напруги, тиску і т. д. При роботі в таких режимах, між контактами виникає електрична дуга, що збільшує знос поверхні контактів і може привести до передчасного виходу з їх ладу, а в наслідку і до швидкого виходу з ладу всієї апаратури в цілому, на якій вони встановлені.

На рис. 1 представлена діаграма розподілу виникаючих дефектів контактів електроапаратури тягового рухомого складу.

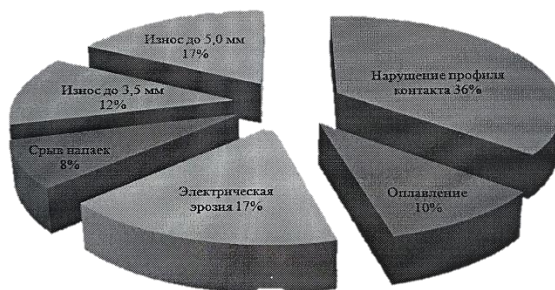


Рис. 1. Розподіл виникаючих дефектів контактів електроапаратури тягового рухомого складу

До загальних причин виходу з ладу контактів відносять: стирання до 60%, підгоряння до 38%, злам контактної губки до 1-2%.

На (рис. 2, а) показана поверхня мідного контакту зі слідами електроерозії після 15 тис. км. пробігу, а на (рис. 2, б) показана поверхня мідного контакту зі слідами підгоряння після 35 тис. км. пробігу.

Підгоряння контактів, особливо силових, що працюють при значних величинах струму. Обумовлено неякісним контактом контакторних губок, несправностями дугогасильної системи, порушеннями в кріпленні і важелі системи, забрудненнями поверхні контактів абразивними часточками, недоліками пневмоприводу та ін.

Явище електричної ерозії включає в себе спрямований викид мікрочастинок металу з поверхні анода, випаровуванні і розпиленні матеріалу контактів при дугових і іскрових розрядах. Здатність чинити опір електричній ерозії визначається якістю і типом контактного матеріалу.

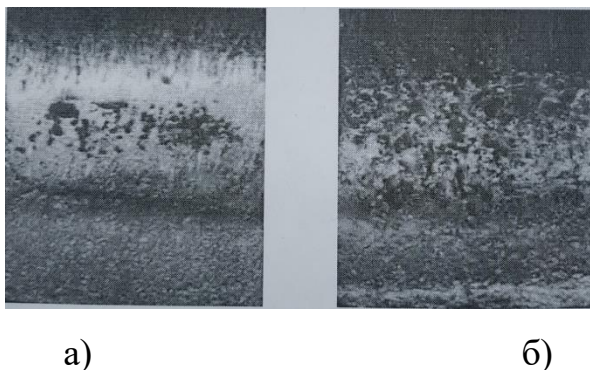


Рис. 2. Поверхня мідних електричних контактів зі слідами:  
а - електричної ерозії, 15 тис. км. пробігу; б - підгоряння, 35 тис. км.  
пробігу

На (рис. 3, а) зображена поверхня мідного контакту зі слідами фреттинг-корозії після 20 тис. км. пробігу, а на (рис.3, б) показана поверхню мідного контакту зі слідами оплавлення після 40 тис. км. пробігу.

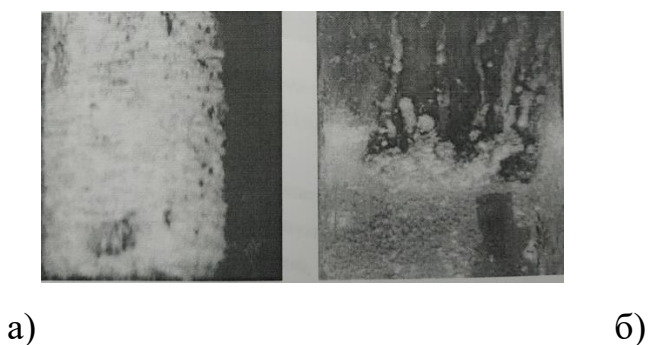


Рис. 3. Поверхня мідних електричних контактів зі слідами:  
а - фреттинг - корозії контактної поверхні, 20 тис. км. пробігу; б - оплавлення  
контактної поверхні, 40 тис. км. пробігу

Явище оплавлення поверхні контактів викликано, найчастіше, тривалим впливом електричної дуги при розмиканні контактів.

На поверхні контактів виникають застигли краплі металу і сліди підгоряння, як наслідки впливу електричної дуги.



Рис. 4. Сліди оплавлення контактів електропневматичного контактора ПК-96-101 електровоза ВЛ80

Останнім часом, як показують результати аналізу відмов контактних з'єднань, спостерігається зростання механічного зносу електричних контактів тягового рухомого складу, так званого стирання або фреттинг - корозії контактної поверхні [1].

Природа фреттинг - корозії залежить від великої кількості факторів. Детальна робота з вивчення даного явища була проведена в роботах [2] і [3], де представлені основні категорії факторів діючих при фреттинг - корозії поверхні електричних контактів, рис. 5 [1].

Значна частота робочих перемикачів в електричних ланцюгах, велике струмове навантаження, вібрації апаратів, перепад температури в зоні контакту, металеві та неметалеві абразивні частинки, вологість повітря та інші фактори сприяють зношуванню контактних поверхонь.

Особливу увагу необхідно приділити впливу на контактну поверхню електричної дуги і наслідків такого впливу. При розмиканні сила, що стискає контакти, знижується до нуля, різко зростають перехідний опір контакту і щільність струму в останньому майданчику контактування. Майданчик сильно розігрівається, і між розбіжними контактами утворюється контактний перешийок з розплавленого металу, який в подальшому рветься. При цьому

в проміжку між контактами можуть виникнути різні форми електричного розряду. При струмі і напрузі, великих мінімально необхідних (наприклад, для міді при струмі понад 0,5 А і напрузі понад 15 В), виникає дуговий розряд. Якщо струм менше мінімально необхідного, а напруга вище напруги запалювання дуги, то виникає іскровий розряд.

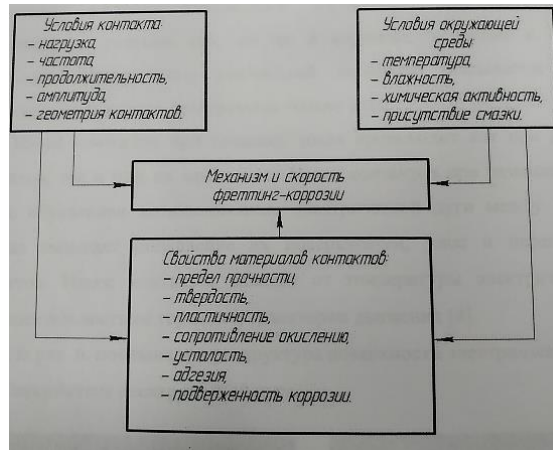
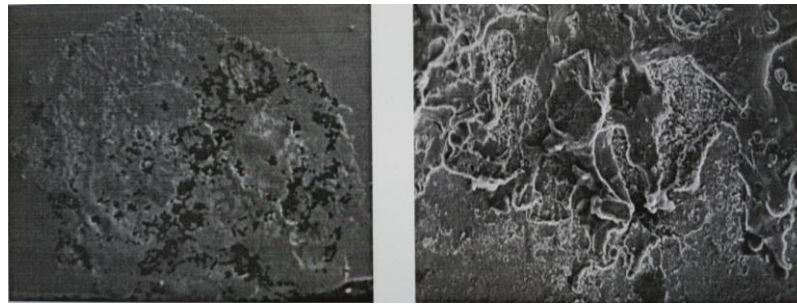


Рис. 5. Схематичне представлення факторів діючих при фреттингу контактних елементів

Електрична ерозія контактів при малих токах обумовлена тим, що руйнування рідкого контактного перешийка відбувається внаслідок розпилення і розриву його, але в середині, а ближче до одного з електродів. Найчастіше контактний перешийок розривається у анода, внаслідок чого зносу піддається тільки анод.

Знос контактів при великих токах відбувається як при розмиканні контактів, так і при замиканні. Знос контактів при розмиканні в цьому випадку обумовлений виникненням електричної дуги між контактами, яка викликає оплавлення їх поверхонь, винесення і перенесення металу контактів. Знос контактів залежить від температури електричної дуги, тривалості її горіння і траєкторії руху [2].

На рис. 6. показана мікроструктура поверхні електричного контакту після впливу електричної дуги.



а)

б)

Рис. 6. Мікроструктура поверхні електроконтакту після впливу електричної дуги

На рисунку видно області температурного впливу і зони появи оксидних плівок.

Тепловий вплив електричної дуги і температура навколишнього середовища в місцях розташування апаратів на рухомому складі, яка доходила до 60 градусів С і більше, призводять до підвищення температури струмоведучих і конструкційних деталей електричних апаратів. Подібна дія призводить до прискореного старіння ізоляції різноманітних котушок і провідників, порушень в роботі пневмоприводу у силових контактів, викликаючи зменшення натискання на контакти і як наслідок перегрів з пошкодженням.

У силових контактних з'єднаннях, внаслідок температурного впливу, викликаного в тому числі і електричною дугою, прискорюються окисні процеси. Окисні плівки більшості металів не проводять електричний струм і різко підвищують перехідний опір, що призводить до підвищення температури в зоні контакту, а в наслідку до перегрівання і руйнування контактних деталей. Перехідний опір залежить від величини контактного натискання, температури, шорсткості поверхні, схильності матеріалу контактів до окислення, площі умовного зіткнення контактів.

На рис. 7 показана залежність перехідного опору від температури.



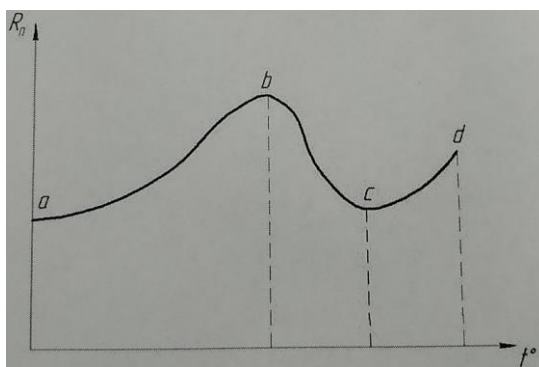


Рис. 7. Залежність перехідного опору контакту від температури

На ділянці  $a - b$  перехідний опір зростає внаслідок все більш інтенсивного виникнення оксидної плівки. На ділянці  $b - c$  опір падає внаслідок порушення міцності матеріалу і його розм'якшення, що призводить до збільшення площі дотику. На ділянці  $c - d$  опір знову починає рости внаслідок різкого збільшення питомої опору матеріалу. Це зростання буде тривати до повного розплавлення матеріалу [2].

З усіх існуючих матеріалів немає такого, який би, працюючи в якості контакту, не покривається поверхневою плівкою.

За своїм виглядом плівки можуть бути: корозійні-окисні, сульфідні (плівки потемніння); адгезійні, товщиною  $(2-15) \cdot 10^{-10}$  м; пасивуючі, товщиною  $(2-15) \cdot 10^{-10}$  м; граничні змазують (масло, вода); органічні, товщиною  $15 \cdot 10^{-10}$  м.

Дія плівок на контакти практично завжди однаково:

- зменшують злипання і тертя між частинами контакту;
- викликають додатковий опір;
- впливають на процес розряду між контактами.

Оксидні і сульфідні плівки потемніння, як правило, є напівпровідниками з великим питомим опором. Товщина плівок потемніння залежить від того, на якій грані кристала ця плівка зросла.

Потемніння залежить від процесів замикання і розмикання, від тепла, створюваного струмом в контакті, а так само від дугоутворення [3]. Більший вплив робить потемніння, що виникає на відкритих поверхнях в повітрі.

Найчастіше спорідненість між металом і киснем настільки сильне, що призводить до вивільнення атомів або іонів металу з товщі металу і до гуртування їх навколо кисню в решітці окислу. Це і є початкова стадія потемніння. Негативною складовою в плівці потемніння повинен бути кисень, але крім нього, можуть бути присутніми також сірка, хлор, та ін. Коли говорять про потемніння або про плівки потемніння взагалі, завжди мають на увазі під позитивними складовими атоми або іони основного металу.

В основному, вплив плівок потемніння на електричні контакти можна описати так:

1. Створюють опір, що є основною проблемою при використанні контактів;
2. Зменшують прилипання і тертя в контактах, що в деяких випадках корисно. Однак слід зазначити, що цей ефект навряд чи краще у плівок потемніння, ніж у тонких адгезійних плівок, поки вони ще не пошкоджені;
3. Опір плівок потемніння має негативний температурний коефіцієнт.

При кімнатній температурі утворення плівки потемніння протікає повільно і не може бути виміряне з достатньою точністю. Тому для полегшення спостережень вдаються до прискорення потемніння найчастіше шляхом збільшення температури.

Адгезійні і пасивуючі плівки на металах мають настільки малу товщину, що виявляються проникними для електричного струму, провідність якого обумовлюється тунельним ефектом [2-3].

Проведені дослідження доводять, що в межах невеликої помилки все перехідні опору можна зробити нескінченно малими шляхом більш ретельного очищення контактних поверхонь, а саме за допомогою вакууму при високій температурі. Без такого очищення залишається деякий характерний опір, який з кількісної точки зору можна пояснити тільки тунельним ефектом, оскільки він не залежить від температури. Такі спостереження були першими прямими спостереженнями тунельного ефекту.

Для забезпечення сталості контакту між двома замкнутими електричними контактами необхідно, щоб пасивуючі та адгезійні плівки на їх сполучених поверхнях були якомога тонше. Вирішення даного питання можливе за рахунок вибору матеріалу, що дозволяє утворювати на всій поверхні тонкі або не стійкі оксидні плівки.

При окисленні металів з киснем відбувається виділення тепла, величина, якого корелює з міцністю зв'язку метал - кисень. При окисленні деяких неметалів відбувається поглинання тепла, що свідчить про їх менш міцних зв'язків з киснем. Такі оксиди термічно нестійкі (або менш стабільні, ніж оксиди з іонним зв'язком) і часто відрізняються високою хімічною активністю. При розробці матеріалів електричних контактів необхідно керуватися знанням даного принципу і вводити до складу матеріалу елемент, який би дозволив знизити енергію електричної дуги, що йде на руйнування матеріалу самого контакту.

Метали, які покриваються пасивуючими плівками, особливо при високих температурах, не можуть бути використані для малопотужних контактів, але з успіхом можуть застосовуватися в контактах, де комутуються великі струми і напруги. Метали, які покриваються товстими плівками, взагалі не придатні для здійснення надійного контакту. Вимоги до матеріалів тим жорсткіше, чим менше напруга і струм, вище температура і більше забрудненість атмосфери. Процес вибору матеріалу для електричних контактів досить трудомісткий і вимагає урахування багатьох чинників.

За своєю структурою плівки можуть бути пористими і суцільними. Суцільні плівки міцніші і одночасно більш тонкі, вони утворюються на свіжозачищеної поверхнях майже миттєво. Такі суцільні плівки утворюються на благородних металах і при товщині до кількох сотень ангстрем майже непомітно впливають на перехідний опір контакту.

Пористі плівки, на відміну від суцільних пропускають реагенти з поверхні металу і тому здатні рости в глибину. При товщині понад 5000 ангстрем вони здатні перервати в електричний ланцюг.

Плівки можуть мати різні механічні міцності в залежності від металу. Вони можуть бути механічно міцними, крихкими (наприклад, на алюмінії) або еластичними (наприклад, на міді). Це має велике значення для роботи контактної пристрою, так як визначає умови, при яких відбувається руйнування плівок при з'єднанні. Часто в навколишньому середовищі містяться газоподібні фракції сірчистих сполук, що призводить до утворення сульфідних плівок, що відрізняються великою товщиною і міцністю. Плівки можуть осідати на поверхні в зв'язку з випаровуванням органічних сполук і діелектриків, що знаходяться поруч з контактним пристроєм [3].

Крім оксидних і сульфідних плівок на контактній поверхні можуть утворюватися плівки з органічних продуктів виділення пластмаси, оточуючої контакт, ці плівки мають значний опір току. Вони найшвидше утворюються в закритих і ізолюваних корпусах з пластмаси. При цьому органічні продукти виділення не видаляються в атмосферу, а осідають на внутрішніх поверхнях, особливо робочих поверхнях контактних пар, покритих паладієм, платиною, радієм. Це пояснюється каталітичною дією цих металів в атмосфері органічних парів.

Зменшити утворення поверхневих плівок можна застосуванням покриття контактів благородними металами, а також герметизацією контактів матеріалами які не виділяють органічних парів, або наповнення герметичної зони інертними газами з невеликим надлишковим тиском.

В роботі [3] детально досліджено процеси зносу мідних контактів промислових апаратів низької напруги, постійного струму 100 - 600 А. Визначено залежності величини зносу  $\delta$  від струму і магнітної індукції. Автором були отримані залежності величини зносу від кількості спрацьовування  $n$  контактора у вигляді  $\delta = (c_1 + c_2) \cdot n$ , де  $c_1$ ,  $c_2$  - коефіцієнти пропорційності при зношуванні відповідно при вмиканні і вимиканні контактора.

В роботі [4] представлені теоретичні дослідження зносу високоамперних контактів апаратів низької напруги. Основну увагу приділено аналізу фізичних факторів, що обумовлюють знос.

Встановлено, що величина сумарного зносу обумовлюється факторами технологічного та експлуатаційного характеру. Технологічний фактор зносу досить значний, оскільки під час капітального ремонту при обробці мідних контактів на верстаті з них знімається шар металу товщиною 1 - 2,5 мм, тобто 5 - 21 г міді, а при ручній обробці ТО або ТР відповідно 0,2 - 0,3 мм, тобто 1,5 - 2,0 г, що становить значну частину від сумарного зносу.

В роботі [5] представлені результати за ваговим зносу контактів виготовлених з різних матеріалів застосовуються в високовольтних вимикачах при  $I=3-25$  кА. Встановлено, що при великих струмах мідь, в порівнянні з сріблом, більш зносостійка, тому що мідь має більш високу температуру плавлення. При відносно малих точках срібні контакти мають більший в 10 разів термін служби. Це свідчить про те, що в області малих струмів істотну роль в руйнуванні контактних поверхонь грають окисні процеси.

Відомі дослідження процесів електричної ерозії контактів з композиційних матеріалів, що мають в своєму складі мідь і молібден [4]. Зроблено висновки про те, що при збільшенні частки молібдену в матеріалі збільшується електроерозійна стійкість контактної пари, оскільки мідь є домінуючим фактором при горінні дуги.

В роботі [5] викладено результати стендових випробувань на надійність електропневматичних і електромагнітних контакторів електровозів постійного струму, яка оцінювалася за критерієм зносу. Було визначено, що термін служби контакторів типу ПК становить 400 - 500 тис. км. , А типу МК - 200 тис. км. довговічність по зносу, для обох типів, складає - 1,5 млн. циклів, при тому, що необхідно проводити зачистку контактів кожні 40 - 50 тис. км.

Найчастіше в якості критеріїв працездатності електричних контактів пропонують такі параметри: перехідний опір контактів; падіння напруги при протіканні струму через них; температура контактів; час і амплітуда вібрацій; час горіння і енергія дуги; міцність міжконтактного проміжку [3-4].

Дослідження в роботі [5] присвячені питанням розрахунку зміни перехідного опору сильнострумівих металокерамічних контактів в залежності від механічного зносу.

У більшості фіксуються тільки ті пошкодження, які спричинили брак у роботі, зупинку локомотива на ділянці з вимогою резерву. Детальне вивчення причин відмов контактів не проводиться.

Особливо актуальним є рішення цієї проблеми в сучасних умовах експлуатації електроапаратів на тяговому рухомому складі залізничного транспорту.

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОАПАРАТУРИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Метали, володіючи високою тепло- і електропровідністю, найкращим чином відповідають вимогам для ефективної передачі струму через контакт з найменшими втратами. У загальному випадку тверді металеві провідники можуть бути розділені на дві групи:

— технічно чисті матеріали, перш за все, широко застосовуються в електричних контактах мідь і алюміній, іноді включають невеликі добавки інших металів для поліпшення механічних властивостей;

— сплави зі специфічними властивостями, наприклад, підвищена зносостійкість і низьке тертя, серед яких найбільш часто використовуються бронзи, латуні і деякі алюмінієві сплави.

Мідь, алюміній і їхні сплави в основному використовуються для сильнострумівих електричних контактів, а благородні метали і їх сплави - для слабкострумівих, при цьому благородні метали використовуються переважно у вигляді покриттів [4].

Матеріал електричного контакту повинен мати високу механічну міцність, хорошу електропровідність, теплостійкість і антикорозійну стійкість. Широке поширення отримали контакти з міді і її сплавів (латунь, бронза), срібла і композиційних матеріалів на їх основі, для виготовлення як рухомих, так і нерухомих контактних з'єднань. При тривалій безперервній роботі, щоб уникнути окислення мідні контакти покривають шаром олова або виконують з срібними накладками.

В якості суцільнометалевих контактів знайшли застосування такі матеріали: мідь, платина, паладій, срібло, золото, вольфрам, молібден і композиційні матеріали, виготовлені методами порошкової металургії (пресування заготовок із суміші металевих порошоків і спікання їх в високотемпературних печах в вакуумі або захисній атмосфері). Застосовуються так само біметалічні контакти, що складаються з робочого шару - основного контактного матеріалу і неробочого шару - основного з міді, нікелю, заліза та ін. [2,4].

В електрообладнанні і апаратурі тягового рухомого складу залізниць: електровозах, тепловозах і т. п., широко поширені матеріали на основі міді з додаванням вольфраму, срібла і сплави на його основі. Відомо застосування композиційного матеріалу, що складається з вольфраму і срібла або іншого благородного металу, призначеного для використання в електричних контактах [5].

Розглянемо детальне застосування дугостійкості матеріалів. На тяговому рухомому складі такі матеріали широко застосовуються в контактні головного контролера електровозів, в контактах швидкодіючого вимикача постійного струму та інших дугогасильних контактах. Основна функція силових контактів - комутування електричного струму при замиканні.

Головна причина виходу з ладу це вигорання матеріалів контактів в дузі при розмиканні. Функція дугогасильних контактів - гасіння електричної дуги. Основні вимоги, що пред'являються до дугогасильного контакту є: висока дугостійкість і низький питомий електричний опір. Висока дугостійкість забезпечуються застосуванням тугоплавких металів з високими температурами плавлення (W, Ta, Nb, Mo та ін.). Найбільш поширене застосування вольфраму. Високу електропровідність забезпечують застосуванням в таких матеріалах міді.

Композиційний матеріал на основі системи Cu - W, бажано, щоб був двоматричним, тобто і вольфрам і мідь повинні утворювати безперервні каркаси. Цього можна домогтися або застосуванням спеціальної технології, пов'язаної із створенням вольфрамового каркаса з подальшим просоченням його міддю, або високим вмістом вольфраму (не менше 70% мас.). Однак створення вольфрамового каркаса вимагає застосування високотемпературних печей, що значно ускладнює технологію.

Варто відзначити, що високий вміст вольфраму призводить до зниження електропровідності матеріалу контакту і збільшення його маси і подорожчання.

Відомі результати втрат обсягу струмоз'ємних матеріалів при дуговому впливі, рис. 8.

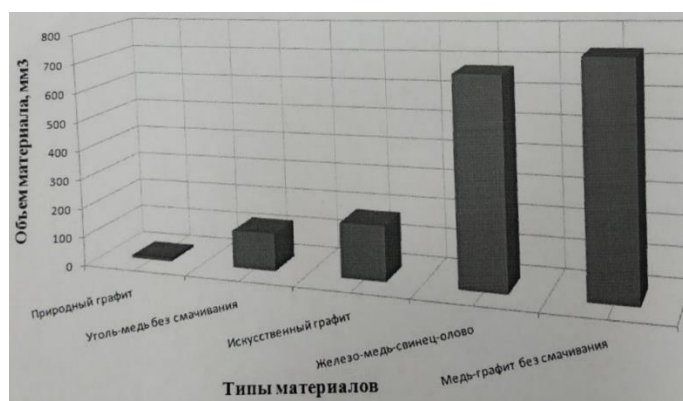


Рис. 8. Втрата об'єму струмоз'ємних матеріалів за одну дію дуги



Як видно з рисунку, найбільшим опором дугового впливу володіє матеріал з природного графіту. Дані були отримані для струмоз'ємних матеріалів, тобто для тих матеріалів, які працюють за умов не тільки великих струмів, а й в присутності тертя ковзання [3,4]. На практиці часто виникає питання про використання матеріалів системи Cu - C, тому що мідь в цьому випадку є струмопровідним компонентом, а графіт добре чинить опір дугового впливу. При виготовленні таких контактів виникає проблема, так як графіт не взаємодіє з міддю.

Сплави для електричних контактів, такі, як срібло - мідь, срібло - кадмій і ін., Мають в порівнянні з металами підвищену міцність і твердість, поверхня їх не тьмяніє, але їх електро- та теплопровідність значно нижче відповідних чистих металів. Для отримання необхідних характеристик контактів в потужнострумових ланцюгах розробляються і застосовуються композиційні матеріали, які поєднують високу електро- і теплопровідність з високими температурами плавлення і кипіння, що володіють високою змочуючістю, низькою зношуваністю при роботі, і т. д. [4,5].

Матеріали, які здатні переривати струм великої величини, протистояти дії потужнострумової електричної дуги, механічного впливу, в основному складаються з 40% або більше тугоплавкого металу в поєднанні зі сріблом або міддю. В електричних апаратах, де діє дуга помірної сили, виникає проблема зварювання контактів і для них необхідні більш міцні матеріали, ніж мідні і срібні. У таких випадках, використовують матеріали, що містять 65% або більше срібла в поєднанні з іншими металами, оксидами металів або з графітом [4].

Для електричних контактів, які працюють в умовах виникнення помірної електричної дуги, що виникає при токах 50 - 150А, в машинобудуванні застосовується матеріал, що складається на 85% Ag і близько 15% CdO. Даний матеріал широко застосовується в контактах електроапаратури тягового рухомого складу залізниць. Наприклад, в тепловозах серії 2ТЕ116 даний матеріал застосовується для наступних типів

контакторів: ЧКГ-566, ТКМП-111, ТКПМ-121, ТКПД-114, МК1-10 УЗ, МК1-20 УЗ. Слід зазначити, що при виході з ладу такого типу контактів виникає проблема з їх ремонтом. В умовах депо ремонт або заміна електричних контактів з використанням сребровмісних матеріалів не виробляють, даний вид роботи тільки на ремонтних заводах. Також, при відновленні даних електричних контакторів виникає проблема придбання сребровмісного матеріалу, так як він досить дорогий [3].

Аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій в області розробки і застосування контактних матеріалів свідчить, що розробники йдуть шляхом створення різних композиційних матеріалів і відмови від застосування срібла і міді в чистому вигляді.

В роботі [3] розглядається експериментально-аналітичний метод оцінки трибологічних характеристик сильнострумових ковзають електричних контактів, виготовлених з бінарних композиційних матеріалів: срібла з кобальтом, міді з молібденом.

У роботах [4-5] розглядаються питання економії срібла, вольфраму та інших благородних металів, що використовуються при виготовленні електроапаратури. Пропонуються такі заходи: зменшення розмірів контактів, заміна срібла композиційними матеріалами, застосування асиметричних пар контактів, зменшення товщини контактних «губок» і розробка інноваційних матеріалів. На основі результатів розрахунків найбільш характерних режимів експлуатації реле прийшли до висновку, що використання плоских напайок на 8% більш економічні, ніж еліпсоїдні [2].

Комплексні експериментальні дослідження по заміні срібла, як контактного матеріалу, гальванічним сплавом олово-вісмут на контактних НЕ комутуючих сильно струмових з'єднаннях електровозів серії ЧС [3]. Пропонується використовувати вісмут в концентрації 2,5 - 3 мас. %, що є достатнім для блокування дії інтерметалідів олова. Контактна опір даного сплаву є невисоким, близько 1,4 - 1,5 мОм. Визначено, що зносостійкість

контактів з покриттям олово-вісмут на 25-30% вище, ніж у контактів з срібним покриттям і на 50% - ніж з чистим олов'яним покриттям.

В роботі [4] представлені результати випробувань корозійної стійкості композиційних матеріалів наступного складу: ітрій, цирконій (до 0,3%), молібден (5 - 11%), решта - мідь. Визначено, що оптимальним по корозійної стійкості є матеріал з вмістом молібдену не більше 5%. Також дані експлуатаційних випробувань і характеристики електричних контактів з композиційного матеріалу на основі міді та молібдену розглянуто в роботі [4].

### РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ І РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Не існує чистих металів або їх сплавів, що володіють комбінацією властивостей, які задовольнили б вимогам представленим до електричних контактів всього різноманіття комутуючої апаратури від слабострумової, розрахованої на комутацію малих струмів ( $I = 10-6A$ ), до потужних апаратів високої напруги ( $I > 1000 A$ ,  $U > 1000 V$ ). Основний напрямок у створенні якомога універсальних контактних матеріалів в даний час пов'язано з розробкою гетерогенних систем - композиційних матеріалів, компоненти яких, не змішуючись один з одним, забезпечували б необхідний набір властивостей [1].

Реалізація сукупності властивостей несумісних в одному матеріалі, можлива в псевдосплавів, під якими розуміють гетерогенні системи з компонентів не змішуються ні в рідкому, ні в твердому стані, що не дають взаємних хімічних сполук. До псевдосплавів можуть бути віднесені нерівноважні композиції, фазові складові яких не взаємодіють або слабо взаємодіють один з одним в широкому інтервалі температур, зберігаючи в суміші свої індивідуальні властивості. У таких системах не тільки

поєднуються властивості, що вносяться кожної індивідуальної складової, а й проявляються тільки їм властиві відмінні риси.

Сильнострумові розривні контакти виготовляються головним чином методами порошкової металургії з псевдосплавів на основі срібла і міді: срібло-оксид кадмію, срібло-оксид міді, срібло-нікель, срібло-графіт, срібло-нікель-графіт, срібло-вольфрам-нікель, мідь-графіт, мідь-вольфрам-нікель [2]. Срібна або мідна фаза обумовлює високу електричну провідність і теплопровідність контакту, а включення тугоплавкої фази підвищують стійкість до механічного зносу, електричної ерозії і зварювання. Композиції виходять або способом твердофазного спікання спресованих з порошків заготовок, або шляхом просочення сріблом або міддю попередньо відпресованих пористих каркасів з вольфраму або вольфрамонікелевого сплаву. Склад і властивості деяких металокерамічних контактів наведені в табл. 1.1 [1].

Композиційні матеріали з рідкими металами. Такі матеріали утворюють специфічну групу композиційних контактних матеріалів, одержуваних методом просочування. Дані матеріали являють собою пористий вольфрамовий каркас (порошковий - жорсткий або дротяний - пружний), просочений легкоплавким металом або сплавом.

Композити з рідкими металами поєднують в собі переваги як твердих, так і рідких контактів: твердий каркас додає контакту механічну міцність і незалежність робочих характеристик від положення в просторі, а рідкий метал забезпечує малий перехідний опір, незалежно від контактного натискання і виключає зварюваність.

Матеріали на основі порошкового каркаса отримують з вольфрамового порошку, а на основі пружного каркаса - з вольфрамової сітки. В якості рідкого металу може використовуватися, наприклад, галій або його евтектичні сплави, що знаходяться в рідкому стані при температурі вище 3 градусів С. Даний тип контактів застосовується в основному для сильнострумових комутаційних апаратів.

Таблиця 1- Властивості деяких псевдосплавів

Контактний матеріал	Густина, $10^3 \text{ кг м}^{-3}$	Твердість, $H_B$	Питомий електричний опір, не більше, мкОм м	Питома теплопровідність, $\text{Вт/ (м} \cdot ^\circ\text{C)}$	Контактний матеріал
Ag – CdO 85/15	9,7	100	0,028	325	Ag – CdO 85/15
Ag – Ni 70/30	9,6	75	0,030	355	Ag – Ni 70/30
Ag – Ni 60/40	9,5	80	0,035	310	Ag – Ni 60/40
Ag – C 97/3	9,3	50	0,026	-	Ag – C 97/3
Ag – C 95/3	8,7	40	0,030	420	Ag – C 95/3
Ag – Ni – C 68/29/3	8,9	65	0,035	355	Ag – Ni – C 68/29/3
Ag – W – Ni 48/50/2	13,5	160	0,041	275	Ag – W – Ni 48/50/2
Ag – W – Ni 27/70/3	15,0	210	0,045	230	Ag – W – Ni 27/70/3
Cu – C 97/3	7,3	35	0,040	380	Cu – C 97/3
Cu – W – Ni 48/50/2	12,1	150	0,060	190	Cu – W – Ni 48/50/2
Cu – W – Ni 27/70/3	13,8	200	0,070	135	Cu – W – Ni 27/70/3

В основному, композиційні матеріали отримують трьома методами порошкової металургії [38-39]:

1. Спінання пористого каркаса з тугоплавкого матеріалу з подальшим просоченням струмопровідним металом [4-5];
2. Спінання електричним струмом;
3. Холодне компактування порошкової суміші з подальшим спінанням в печі

Матеріал, який отримує спінання під тиском з просоченням дозволяє отримати найкращі властивості, високу стійкість до дії електричної дуги. Даний метод здійснюють наступним способом: порошок тугоплавкого

металу змішують з речовиною, яка може містити металевий порошок, що просочується, далі пресують до досягнення заданої пористості, спікають при високій температурі для зв'язування частинок тугоплавкого металу і потім в спеціальній печі просочують міддю або сріблом для заповнення пор тугоплавкого металу [5].

Недоліками такого методу є те, що при виготовленні пористого каркаса з тугоплавкого матеріалу використовується спеціальне обладнання, таке як високотемпературна піч. Для проведення процесу просочення пористого каркаса розплавленою міддю або сріблом використовуються печі з пристроєм для просочення, що є ускладненням технологічного процесу виготовлення електричних контактів і робить цей процес значно дорожчим.

Метод спікання електричним струмом. При спіканні електричним струмом порошків можливе широке варіювання способів пропускання електричного струму і характеру механічного навантаження. Режим обробки визначає хід процесу і, в кінці кінців, властивості спеченого продукту. Найчастіше використовуються такі види спікання порошків електричним струмом: спікання «опором», імпульсне спікання [45-46], електророзрядне (іскрове) спікання. Розглянемо більш детально дані види спікання порошків.

Метод спікання «опором». Даний вид обробки передбачає пропускання через порошок постійного (або знакопостійного струму, що слабо змінюється) або низькочастотного (зазвичай промислової частоти) струму; до порошку прикладають при цьому постійний неконтрольований або нульовий тиск (в останньому випадку струм пропускають через спресовану раніше заготовку, яка не піддається тиску в процесі спікання).

При додатку різниці потенціалів до порошку відбувається різке зростання струму. Час зростання не залежить від форми і площі перерізу зразка, але залежить від його висоти: чим більше ця висота, тим тривалішим є час зростання. Час зростання зменшується зі збільшенням напруги і тиску. Після початку пропускання струму від поверхні зразка, що контактує з торцями електродів-пуансонів, в глибину зразка рухаються границі шарів з

підвищеною електропровідністю. Струм різко збільшується, коли обидва цих шари з'єднуються в центральній частині зразка. Швидкість зростання цих шарів з підвищеною електропровідністю, тим вище, чим більше електрична напруга і тиск на порошок [5]. Електрична енергія перетворюється в теплову в усіх частинах ланцюга: на контактних опорах ділянок зіткнення частинок порошку, на власних опорах металу всередині частинок, на контактних опорах на поверхнях розділу електроди-пуансоні-порошок, на опір електродів-пуансонів, на контактних опорах між електродами-пуансонами і плунжерами (або плитами) пресу, внутрішнім опором установки [4].

Тривале спікання постійним електричним струмом металів або металевих сплавів при температурах, що становлять 0,8-0,9 від температури плавлення, призводять до концентрації пір переважно поблизу катода і до помітного зростання зерен поблизу анода [4]. Це явище спостерігалось при електроспіканні порошоків з нікелю, олов'янистої бронзи, сталей. Пори під впливом зовнішнього електричного поля і струму через кристалічне тіло (метал) можуть рухатися [3-4]. Хід ущільнення при спіканні електричним струмом можна описувати рівняннями, що відносяться до гарячого пресування або спікання під тиском. Слід брати до уваги, що поряд з ущільненням можливе проникнення в метал кисню та азоту, ув'язнених в порошок, їх дифузю і реакції в твердій фазі з можливим утворенням оксидів, нітридів, оксинетридів [4]. Процеси на пізніх стадіях спікання порошку постійним струмом нічим істотно не відрізняються від явищ в монолітних металах і сплавах [5].

Спікання імпульсним струмом. В даному виді обробки використовується струм від конденсаторів, трансформатора або будь-якого генератора. До порошку прикладається постійний тиск, який під кінець преса може або залишитися на тому ж рівні, або змінитися. Розглянемо, як приклад імпульсного спікання, процес імпульсного розряду в конденсаторної установки. Даний процес характеризується тим, що електрику, запас якої в

батареї конденсаторів, в ході розряду батареї проходять через порошок, засипаний в ізолюючу прес-форму. При цьому відбувається нагрівання і спікання частинок. Одночасно струм породжує інтенсивне азимутальне магнітне поле. В результаті взаємодії магнітного поля зі струмом, що він породжує виникають сили, які стискають порошок в радіальному напрямку. Тому після такого розряду спечена заготовка, як правило, вільно виймається з прес-форми. Варто відзначити, що помітна усадка внаслідок зазначеного обтиску має місце лише в разі значень енергії в певному інтервалі. Цей енергетичний інтервал залежить від маси і природи матеріалу порошку, а також розмірів зразка.

При значній енергії розряду, струм спочатку призводить до плавлення стовпа порошку в його центрі по всій висоті, а при ще більш високій енергії - до його деструкції, як у випадку електрично вибухаючих дротинки. Занадто мала енергія розряду породжує слабе магнітне поле, щоб відбулося обтиснення порошкового стовпа. Процес залежить від ряду параметрів електричного кола і характеристик порошку, які, в кінцевому рахунку, впливають на властивості одержуваної заготовки [3].

Електророзрядне (іскрове) спікання. В процесі електричного спікання порошоків велике значення мають тимчасові залежності механічного та електричного взаємодії і їх взаємозв'язок. Прикладом непостійної механічної взаємодії може служити зростаюче навантаження, коли електроди-пуансони рухаються назустріч один одному. Однак більшого результату можна досягти при інших програмах механічного навантаження. Так при більш високому опорі міжчастинного контакту в порівнянні з опором металу в глибині порошкової частки можливо більш інтенсивне виділення тепла в районі цього контакту, ніж в об'ємі частинки. Ця обставина успішно використовується в одному із способів спікання порошоків електричним струмом - в електророзрядному (іскровому) спіканні (ЕРС).

Електророзрядне спікання, як правило, складається з двох тісно пов'язаних між собою стадій. Перша стадія включає пропускання



електричного струму через слабоспресований порошок. При цьому на багатьох міжчастинних контактах виникає іскріння, що супроводжується руйнуванням поверхневих оксидних плівок, які майже завжди є на частинках. Таким чином, в вихідному стані між частинками виникає відносно слабкий контактний зв'язок при механічному тиску ЗНАК 10 Мпа, що обумовлює при пропусканні електричного струму просторовий розряд всередині засипання порошку. Для спікання використовується зазвичай суперпозиція постійного і змінного струмів (пульсуючий струм). Однак можливе використання і змінного струму, зокрема промислової частоти. Істотна зміна стану поверхні частинок спостерігається і при обробці лише одним високочастотним струмом. Друга стадія протікає при збільшеній силі струму і під більш високим тиском, ніж перша. Однак це підвищений тиск в кінці процесу в 10-20 разів нижче тиску при холодному пресуванні, що дозволяє використовувати для електророзрядного спікання менш потужне обладнання. Температура досягає максимального значення в кінці періоду дії підвищеного тиску. Після цього струм відключають, тиск повільно знижують протягом періоду охолодження. У першій (іскровій) стадії щільність струму складає кілька ампер на квадратний сантиметр, у другій стадії (консолідації) вона досягає декількох кілоампер на квадратний сантиметр.

Вихідними компонентами, що входять в кінцевий продукт електророзрядного спікання поряд з речовинами в твердій фазі, може виступати газ [3].

Метод холодного компактування порошкової суміші з подальшим спіканням в печі, полягає в змішуванні між собою порошкових компонентів з подальшим холодним компактуванням на пресі і спіканням в високотемпературної печі у вакуумі або в середовищі захисних газів. Наявність газу або у вакуумі необхідно в даному випадку для того, щоб не відбувалося окислення частинок порошку, бо в іншому випадку спікання їх ускладнене або неможливе. Даний метод не забезпечує необхідну відносну

щільність, яка впливає на інтенсивність зношування матеріалів в процесі горіння електричної -дуги. Відносна щільність за цим методом не перевищує 80-85%.

#### РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОНТАКТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

В умовах депо ремонт електричних апаратів виконується як із зняттям їх, так і без зняття з тягового рухомого складу. Періодичний огляд і ремонт електричних апаратів передбачений Правилами поточного ремонту.

При ремонті електричної апаратури значний обсяг робіт становить ремонт контактних з'єднань і контактів. До таких робіт відносять: огляд контактних з'єднань і контактів і виявлення дефектів, демонтаж контактних з'єднань, зачистку контактних поверхонь контактів, заміну контактів або окремих деталей, що вийшли з ладу, переробку замикаючих контактів на розмикаючих і, навпаки, регулювання контактів.

Для забезпечення нормальної роботи контакторів і інших апаратів перевіряють основні параметри контактної пристрою: провал, розчин, натискання, профіль контакту і т. д., так як вони в процесі експлуатації змінюються внаслідок зносу. По мірі збільшення зносу контактів провал зменшується, що може призвести до зниження контактної натискання і, отже, до їх нагрівання. Таким чином, провал контактів необхідний для компенсації зносу. Місце вимірювання провалу показано на (рис. 9, в). Провал (Б) вимірюють щупом або спеціальним шаблоном. розрив; Б - провал контактів

Розчин (розрив) контактів в експлуатації залежить від їх товщини. При нових відновлених контактах розчин повинен відповідати технічним вимогам, так як зменшення розчину може привести до перекриття контактів. Збільшений розчин, що утворюється при зношуванні контактів, може

привести до їх перегріву при замиканні. Рекомендується не допускати зношування контактів більше, ніж  $1/3$  їх товщини. На (рис. 9, а), буквою А показаний розчин контактів. Вимірювання розчину повинно проводитися шаблонами або звичайним вимірювальним інструментом.

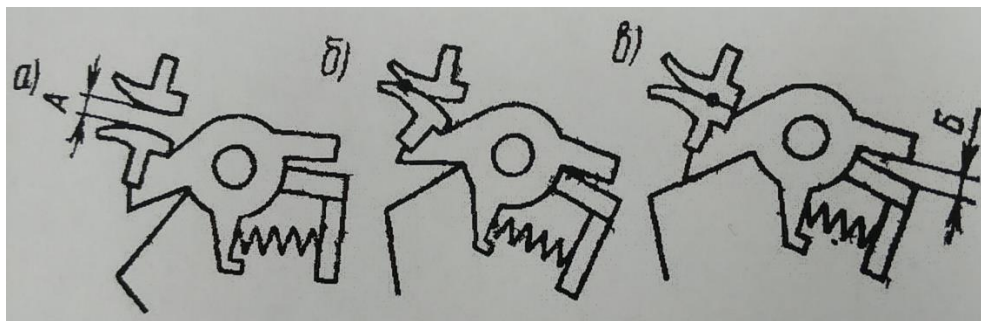


Рис. 9. Положення контактів при замиканні: а - положення перед замиканням; б - момент початку замикання; в - робоче положення

Натискання контактів при ремонті необхідно перевіряти, так як недостатнє початкове натискання може привести до приварювання контактів, а слабке кінцеве - до збільшення нагрівання контактів [2].

Контактне натискання - сила, що стискає контакти в місці їхнього зіткнення. Розрізняють початкове натискання в момент початкового контактування, коли провал дорівнює нулю, і кінцеве натискання при повному провалі контактів. У міру зношування контактів зменшується провал, а, отже, і додаткове стискання пружини. Кінцеве натискання наближається до початкового. Таким чином, початкове натискання є одним з основних параметрів, при якому контакт повинен зберігати працездатність. Кінцеве і початкове натискання контактів вимірюють динамометром.

Електричне обладнання та апаратура тягового рухомого складу залізничного транспорту працює в умовах значної вібрації, що так само впливає на стан і роботу контактів.

Вібрації контактів - явище періодичного відскоку і подальшого замикання контактів під дією різних причин. Вібрація може бути згасаючою,

коли амплітуди відскоків зменшуються і через деякий час вона припиняється, і незгасаючою, коли явище вібрації може тривати в будь-який час. Вібрація контактів є надзвичайно шкідливою, так як через контакти проходить струм і в момент відскоків між контактами з'являється дуга, що викликає посилене зношування, а іноді і зварювання контактів. Час вібрації характеризується відношенням маси контакту до початкового контактного натискання. Цю величину у всіх випадках бажано мати найменшою. Її можна зменшувати за рахунок зниження маси рухомого контакту і збільшення початкового контактного натискання; однак зменшення маси не повинно впливати на нагрівання контактів.

Причиною згасаючої вібрації, що виходить при включенні контактів, є удар контакту об контакт і наступний відскок їх один від одного внаслідок пружності матеріалу контактів - механічна вібрація.

Усунути повністю механічну вібрацію неможливо, але завжди бажано, щоб як амплітуда першого відскоку, так і повний час вібрації були найменшими.

Причиною незгасаючої вібрації контактів, що з'являється при їх замкнутому положенні, є електродинамічні зусилля. Так як вібрація під дією електродинамічних зусиль з'являється при великих значеннях струму, то утворюється дуга дуже інтенсивна і внаслідок такої вібрації контактів, як правило, відбувається їх зварювання. Таким чином, цей вид вібрації контактів є абсолютно неприпустимим.

Для зменшення можливості виникнення вібрації під дією електродинамічних зусиль нерідко струмо підведення до контактів виконуються таким чином, щоб електродинамічні зусилля, що діють на рухомий контакт, компенсували електродинамічні зусилля, що виникають в контактних точках.

Зміна контактів в результаті перегріву, ослаблення кріплень, наявність крапель припою свідчать про ненадійне з'єднання. Електрична дуга при розриві рухомих контактів оплавляє поверхні, які вимагають зачистки. При

підгорянні мідних контактів, вони зачищуються напилком з дрібною насічкою, знімаються в основному виступи і краплі металу.

Мідні контакти замінюють у електропневматичних контакторів при зношуванні більше ніж на 25% їх товщини, у електромагнітних - більш ніж на половину товщини. Робочу поверхню зношених контактів відновлюють наплавленням мідних пластин марки М1 латунним припоєм Л-62 товщиною 0,2 мм (прокладаються між зварюваними поверхнями). До контактів реле припаюють пластини зі срібла або металокерамічних сплавів газовим пальником або на апараті контактного зварювання. Застосовують припій ПОС-45 або ПОС-30. На спустошену поверхню контакту накладають невелику кількість припою, приготованого у вигляді дрібних тирси в суміші з бурою. Паяють на апараті при невеликому натисканні вугільними електродами, а якщо газовим пальником, то в момент розплавлення припою пластину треба притиснути, потім прибрати полум'я і охолоджувати контакт на повітрі, не знімаючи тиск. Контактні поверхні при усуненні підгоряння, а також після напайки обпилюють за шаблоном, відповідним профілем контакту.

Догляд за металокерамічними і срібними контактами зводиться до перевірки їх стану і очищення в разі забруднення замшевою серветкою або тканинною, злегка змоченою в бензині, або жорсткою волосяною щіткою. При появі на контакті напливів, вони обережно видаляються напилком з дрібною насічкою.

Срібні блокувальні контакти тепловозів, як правило, тільки періодично очищають від забруднень замшевою серветкою. Вони служать безвідмовно до заводського ремонту, а в деяких випадках і довше. Срібні і металокерамічні контакти замінюють тільки після повного зносу напайок.

Встановлені на апарат контакти слід перевірити на прилягання. Рухомий і нерухомий контакти при включеному положенні апарату повинні прилягати по лінії не менше 80% ширини контакту.

## ВИСНОВКИ

Розроблено новий електроконтактний матеріал системи  $\text{Cu} - \text{C} - \text{ZrO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{TiB}_2$ . Даний матеріал більш економічний, не вимагає складного обладнання для виготовлення, має підвищений термін служби, за рахунок високої електроерозійної стійкості, може бути застосований в потужнострумівих ланцюгах. Новий композит володіє відносно високою температурою знеміцнення і здатністю утворювати на робочій поверхні оксидні плівки з низьким питомим опором або, так звані, нестійкі плівки.

Однорідність мікроструктури, зниження внутрішньої пористості за рахунок рівномірності розподілу дугогасильних добавок  $\text{ZrO}_2$  і  $\text{TiO}_2$  зменшення кількості та розмірів агломератів в новому композиційному електроконтактному матеріалі забезпечують необхідні фізико-механічні характеристики.

У процесі роботи електричного контакту виготовленого з нового матеріалу відбувається регенерація поверхневого шару робочої зони, що забезпечує підвищену дугостійкість, зменшується питомий електричний і контакт на опір, а, отже, підвищується електропровідність. Все перераховане забезпечує підвищений термін служби і якість роботи контактів електроапаратури тягового рухомого складу.

Проведені порівняльні дослідження підтверджують заявлені властивості нового матеріалу і дозволяють рекомендувати його до використання замість широко застосовується, але економічно доцільного, матеріалу  $\text{Cu} - \text{W}$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Захарченко, Д. Д. Тягові електричні апарати / Захарченко Д. Д. - М.: Транспорт, 1991. - 247 с.
2. Пат. №107172 Україна, (2014 року) В22F 3/00. Модифікація електроконтактного матеріалу на основі МІДІ / [Вовк Р.В., Тимофеева Л.А., Тимофеев С.С., Дьомін А.Ю., Морозов В.С.]; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. - №а2014 03301, заяв. 01.04.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. №22.
3. Нотон, Б. Застосування композиційних матеріалів в техніці [Текст] / Б. Нотон. - М.: Машинобудування, 1978. - 508 с.
4. Хольм, Р. Електричні контакти [Текст] / Р. Хольм. - М.: изд. Іноземної літератури, 1961. - 464 с.
5. Берент, В. Я. Матеріали і властивості електричних контактів в пристроях залізничного транспорту [Текст] / В. Я. Берент. - М.: ІНТЕКСТ, 2005. - 408 с.