

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ ТА РЕЛЕ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННОГО МІКРОСКОПУ

В. В. Коробський, кандидат технічних наук, доцент

Я. Д. Акулінін, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: kor.vladlen.2002@gmail.com

Анотація. Запропоновано заміну серійних контактних частин на основі срібла експериментальними контактними частинами на основі міді. Для визначення працездатності та виробничої експлуатації дослідних контактів були проведені кліматичні випробування контактних частин.

Для визначення довговічності були здійснені комутаційні випробування пускачів і реле. Проведені дослідження зносостійкості та ерозійності контактної поверхні серійних контактних частин електромагнітних пускачів ПМЛ-1100О4 на основі срібла - СрН-10, СрМ-0,2+М1 та металокерамічних контактних частин на основі міді з домішками металів та визначених термодинамічно стійких сполук.

Встановлено негативний знос у нерухомих і рухомих контактних частинах, але рухомі контактні частини зношуються інтенсивніше, що характерно для апаратів змінного струму.

Рівень ерозійного зносу зростає з поступовим збільшенням кількості циклів перемикання та величини комутованого струму та досягає свого максимального значення при найвищому струмі (10 А), з яким випробували пускачі та реле (4,0 А, 6,3 А, 10 А).

Дослідження робочих поверхонь контактів до, під час і після випробування проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа «Cambridge Stereoscan» S4-10. Металографічний аналіз контактних поверхонь сприяв виявленню закономірностей руйнування ерозійно-розривних місткових контактів на основі Ag і Cu. Контактні частини, що виготовлені з експериментальних контактних матеріалів, пройшли кількарічні виробничі випробування в реальних сільськогосподарських умовах.

Ключові слова: робоча поверхня, контактна частина, контактний матеріал, кліматичні випробування, комутаційні випробування, зносостійкість, ерозія, мікрошліф

Актуальність. Надійність електричного контакту значною мірою визначається компонентами, що входять до його складу, структурою і властивостями поверхневих шарів, які утворюються в результаті ерозії та перенесення матеріалу контакту в

електричній дузі [1, 9]. Основним компонентом для контактних матеріалів найпоширеніших електромагнітних пускачів є срібло. Контакти пускачів ПМЛ, ПМЕ, ПМА, ПАЕ виготовлені з матеріалу на основі срібла (СрН-10, СрМ-0,2+М1, СОК-15).

Як правило, до складу технологічного обладнання тваринницьких ферм і комплексів переважно входять електромагнітні пускачі загальнопромислового призначення класу зносостійкості Б, В. Такі пускачі непридатні для тривалої експлуатації в конкретних умовах сільського господарства, оскільки не відповідають вимогам по захисту від впливу навколишнього середовища, виходять з ладу до досягнення певного ресурсу зносостійкості, і це, в першу чергу, стосується контактної системи (до 30 % всіх відмов у пускачах) [9]. Нинішня електротехнічна промисловість не випускає пускачі та реле для потреб сільського господарства [8].

З метою підвищення надійності контактної системи пускача і реле в цілому пропонується замінити серійні контактні частини на контактні частини на основі міді [6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Умови кліматичних випробувань контактних матеріалів і параметри навколишнього середовища з агресивними компонентами вибираються з урахуванням сучасних вимог стандартів [3]. Кліматичні дослідження контактного матеріалу на основі міді проводили в тестовому середовищі, до складу якого входять агресивні компоненти: сірководень H_2S , аміак NH_3 , вуглекислий газ CO_2 . Основні результати цього дослідження представлені в [1]. Випробування комутаційної зносостійкості проводяться в нормальному комутаційному режимі (категорія АС-3) за нормальних кліматичних умов ($t=25\pm 10$ °С, $\phi=45\div 80$ %, $p=84\div 100$ кПа) без впливу агресивних середовищ.

Авторами проведено випробування комутаційної зносостійкості серійних контактних частин пускачів ПМЛ-1100О4 (виконання А, В і С; матеріал контакту СрН-10, СрМ-0,2+М1 відповідно) та пускачів ПМЛ-1100О4 з експериментальними дослідними на основі міді (контактні частини з матеріалу $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$).

Мета дослідження – проведення порівняльних досліджень характеристик електромагнітних пускачів із серійною та експериментальною дослідною

контактною частинами та виявлення впливу енергетичних параметрів комутованого кола на величину електроерозійного зносу та морфологію робочої поверхні контактів після випробувань.

Матеріали та методи дослідження. Авторами проведено випробування комутаційної зносостійкості серійних контактних частин пускачів ПМЛ-1100О4 (виконання А, В і С; матеріал контакту CrН-10, CrМ-0,2+М1 відповідно) і пускачів ПМЛ-1100О4 з експериментальними мідним контакт-деталлями (Cu+Cr+TiB₂+Nb+C+Zr).

Комутаційні випробування проводилися для пускачів та реле для кожного матеріалу контактів категорії використання АС-3 [2]. Загальна кількість циклів увімкнення-вимкнення для всіх апаратів приймається однаковою і дорівнює 300 тисячам. Необхідні вимірювання проводили кожні 50 тис. циклів перемикачів, частота перемикачів визначалася вимогами стандарту [2]. Для пускачів першої величини вибиралися струмові навантаження, виходячи зі значень номінальних робочих струмів: 4 А; 6,3 А; 10 А. Для експериментальних випробувань найпоширенішим є ваговий (масовий) метод визначення величини зношування [7]. Рухомі та нерухомі контактні частини разом із тримачами контактів зважують до і після кожної серії перемикачів на аналітичних вагах ВЛА-200М, що забезпечують точність зважування не менше 10⁻⁴ г. Повторність зважування не менше трьох і за кінцевий результат приймається середнє арифметичне значення. Приймається кількість апаратів у виборці N=8 випадково обраних пускачів [4].

Такі параметри як провал та хід контактів пускачів, контролюють стандартним методом за допомогою електроіндикатора та індикатора лінійних переміщень ІЧ з точністю до 0,01 мм [2].

Дослідження контактних поверхонь проводили за методикою, описаною в роботі [5] за допомогою скануючого растрового електронного мікроскопа «Cambridge Stereoscan» S4-10 з приставкою для рентгеноспектрального аналізу Link System - 290 та рентгенівського мікроаналізатора «Camebax SX - 50».

Твердість фазових складових композиційних спечених матеріалів визначають з використанням спеціального приладу ПМТ-3.

Результати досліджень та їх аналіз. У таблиці наведено результати комутаційних випробувань електромагнітних пускачів і реле. На рис. 1 - фотографії серійних і експериментальних дослідних контактів електромагнітних пускачів ПМЛ.

Встановлено, що при комутації змінного струму контактами і з постійною зміною полярності негативний знос (тобто зменшення маси) проявляється в нерухомих контактних частинах (1, 2, 3, 4, 5, 6) і в рухомих (містки 1-2, 3-4, 5-6). При цьому рухомі контактні частини зношуються інтенсивніше на 30-60 %. Це явище характерне для комутації апаратів змінного струму і, на нашу думку, пояснюється тим, що під час випробувань температура рухомих містків була вищою.

Ерозійне зношення зростає зі збільшенням кількості циклів перемикачів і величини комутуваного струму і досягає максимального значення при струмі 10 А (тому зображення робочої поверхні та зрізу поверхневого шару контактів наведені лише для струму 10 А). Це пов'язано з тим, що зі збільшенням струму в контактних процесах більш значущу роль відіграють фактори плазмової дуги і збільшується ерозійний знос дуги за рахунок збільшення енергії електричної дуги.

Електроерозійний знос контактних частин пускачів і реле

Контактний матеріал	Кількість циклів, тис	Показник зносу, мг					
		фіксований контакт			пересувний міст		
		струм, А			струм, А		
		4.0	6.3	10,0	4.0	6.3	10,0
СрН-10	150	-0,38	-0,89	-1,53	-0,53	-0,98	-1,92
	300	-0,95	-1,76	-3,18	-1,37	-2,13	-4,03
СрМ0,2+ +М1	150	-0,63	-1,03	-1,93	-0,75	-1,1	-2,12
	300	-1,52	-2,28	-3,79	-1,75	-2,38	-4,6
Cu+Cr+TiB2+ +Nb+C+Zr	150	-0,38	-1,23	-2,12	-0,98	-1,59	-3,1
	300	-1,72	-2,37	-3,82	-2,27	-3,35	-6,88

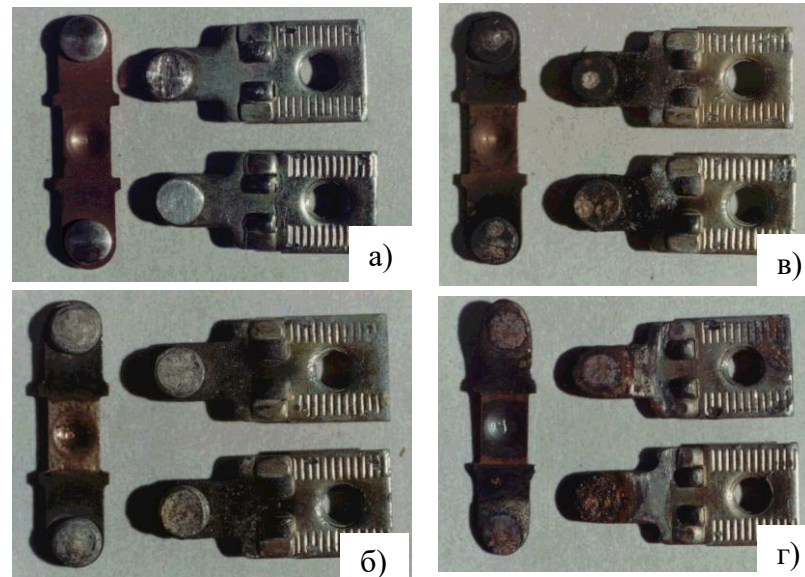


Рис.1. Зовнішній вигляд контактів пускачів ПМЛ-1100О4 на початку випробування (а) і після напрацювання 300 тис. циклів. Категорія АС-3 ($U=380\text{ В}$; $I=10\text{ А}$). Збільшити $\times 4$: б) - матеріал CrNi-10 ; в) – матеріал CrM-0,2+M1 ; г) – матеріал $\text{Cu+Cr+TiB}_2+\text{Nb+C+Zr}$.

Найбільш ерозійностійким виявився контактний матеріал CrNi-10 , який використовується в пусках ПМЛ-1100О4А. Цей матеріал включає дві складові фази: срібло - 90% і нікель - 10%. Фази нікелю та срібла не змішуються ні в твердому, ні в рідкому стані [9]. Нікель у цьому псевдосплаві за цих умов підвищує зносостійкість, визначає його міцність і жорсткість, запобігає зварюванню контактів, а також сприяє корозійній тривкості. При нагріванні до $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ нікель поступово окислюється, але оксидна плівка тонка і слабо утримується на металі, внаслідок чого при незначних контактних тисках в електромагнітних пусках (до 5Н) руйнується і не порушує електричний контакт.

Зношування відбувається по всій поверхні контактної частини практично рівномірно і істотним недоліком цього матеріалу є його недостатня міцність проти сульфідної корозії, що призводить до утворення поверхневої плівки, яка різко підвищує контактний опір контактів, що може спричинити підгоряння, оплавлення та зварювання контактів навіть у незначних випадках електричного навантаження.

Менш стійкі до ерозії контакти з матеріалу CrM-0,2+M1 . Теплова дія дуги викликає випаровування і розбризкування матеріалу контакту, поверхні контактних частин окислюються. У процесі роботи можливі значні зміни поверхневого шару.

Комутаційна зносостійкість експериментальних контактів на основі міді свідчить про те, що закон електроерозійного зношування залишається і надалі лінійним, але величина електроерозійного зношування збільшується на 15-30 % (таблиця). Під дією дуги окислення мідних контактів вище, ніж серійних, а теплопровідність дослідного матеріалу нижча, ніж матеріалів на основі срібла, що призводить до значного локального перегріву міді. В експериментальних контактах кількість обгорілого матеріалу більша і на робочій поверхні більш помітні сліди ерозії матеріалу (рис. 1).

Хром в якості дисперсної домішки в матеріалі $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$ дозволяє зміцнити назначений матеріал. При дії електричної дуги хром легко окислюється, що призводить до збільшення опору дуги, при цьому скорочується час горіння дуги і зменшується величина електричної ерозії. Мідь менше окислюється за рахунок поглинання хромом кисню, що сприяє стабілізації контактного опору. Невеликі частинки ніобію на робочій поверхні контактів створюють значний температурний градієнт (1387°C) на межі фаз $\text{Nb}-\text{Cu}$. У результаті цього зерна міді на межі розділу з ніобієм плавляться, випаровуються і розбризкуються, що сприяє збільшенню стійкості до зварювання, але при цьому збільшується знос. Це не дуже корисне явище можна усунути спільним введенням дибориду титану TiB_2 і графіту C . Завдяки високій твердості дибориду титану композиція зміцнюється, а її вогнетривкість і низький питомий опір позитивно впливають на електроерозійну стійкість. Графіт взаємодіє з композиційними матеріалами і утворює наступні карбіди: Cr_3C_2 , (твердість $\text{HB}=133$), ZrC ($\text{HB}=260$), NbC ($\text{HB}=240$), оскільки твердість карбідів значно перевищує твердість міді, то жорсткість робочих шарів значно збільшується.

Значна різниця в температурах плавлення складових матеріалу (від 1083°C до температур вище 3000°C) призводить до зменшення розтріскування металу від поверхні в глибину, швидкого випаровування і розбризкування. Таким чином, це сприяє зменшенню енергії, що надходить в контакт, зменшенню глибини проникнення і величини електричної ерозії.

Структура псевдосплаву СрН-10 і, зокрема, його поверхневих робочих шарів (рис. 2) змінюється при багаторазовому термічному впливі електричної дуги. Визначальним процесом тут є обмеження розчинності нікелю в розплаві срібла. При наближенні до робочої поверхні розмір зерен збільшується. Завдяки вмісту нікелю (10 %) і орієнтації окремих його складових у зоні руйнування утворюються різного типу структури. Таким чином, відносно висока стійкість до горіння поєднується з низьким контактним опором (що підходить для малих струмів $\approx 10\text{A}$). Глибина прошарку, в якому відбуваються мікроструктурні зміни, становить 0,08-0,12 мм. При цьому нікель окислюється безпосередньо на поверхні контакту і на глибину до 0,1 мм.

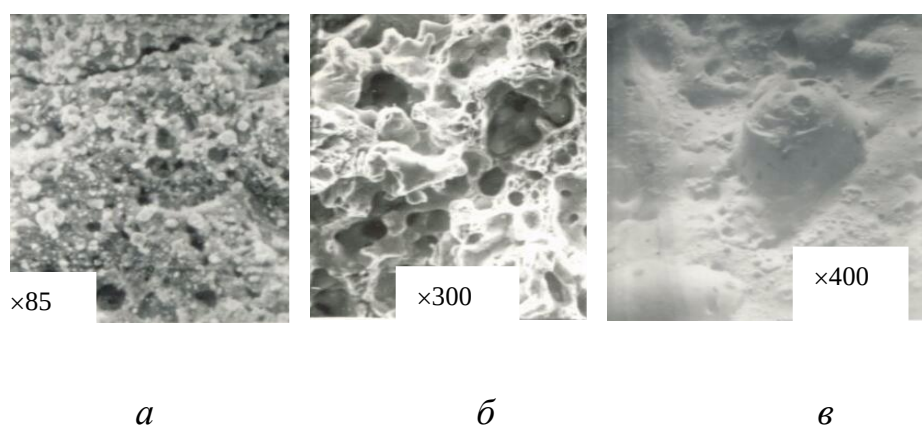


Рис. 2. Робоча поверхня контактних частин з матеріалу СрН-10 після 300 тис. циклів комутації

На робочій поверхні з'являються неглибокі пори і оболонки, де було срібло і скупчення зерен тугоплавкого компонента - нікелю. Під час роботи електроконтакту відбувається плавлення та інтенсивне випаровування легкоплавкого компонента - срібла з робочої поверхні рухомого контакту, оскільки температура кипіння срібла ($2210\text{ }^{\circ}\text{C}$) значно нижче температури кипіння нікелю ($2730\text{ }^{\circ}\text{C}$). У результаті утворюється дисперсна горбиста поверхня, ступінь шорсткості якої залежить пропорційно значенню струму та кількості циклів перемикачів (рис. 1, б). Хімічний аналіз поверхневих шарів показав, що кількість нікелю на робочій поверхні значно зростає (від 10 до 20-25 %), що свідчить про

пріоритет випаровування срібла з поверхні контактної частини в процесі комутації електричного струму.

Дослідження робочих поверхонь контактних частин дозволило встановити, що в результаті дії електричної дуги плавляться не тільки легкоплавка складова композиції срібло, а й зерна нікелю (рис. 2, а), що підтверджується наявністю характерних виступів затвердіння по краях зерен нікелю (рис. 2, б). Потовщені зерна нікелю мають форму конуса (рис. 2, в). На вершинах деяких зерен нікелю утворюються ділянки в'язкого відриву, що свідчить про руйнування матеріалу електричною дугою. Отримані результати дають підстави стверджувати, що контакт у момент перемикання здійснюється по точках вогнетривкої складової.

Поверхні контакт-деталей з матеріалу CrM-0,2+M1 показані на рис. 3. При цьому спостерігається їх досить інтенсивне горіння і плавлення. Металографічний аналіз показав, що мікроструктура поверхневих шарів нерухомої та рухомої контактних частин (рис. 3, а, рис. 3, б) різна та суттєво змінюється в процесі експлуатації. Очевидно, що при комутації струму матеріал рухомого контакту нагрівається до температури кипіння, частково переходить на поверхню більш холодного нерухомого контакту (рис. 3, а), а решта знову осідає на поверхні рухомого контакту, утворюючи порожнини (на рис. 3, б - чорні кратери) і стовпчасті зерна нормально до робочої поверхні контактної деталі.

Поверхня нерухомого контакту вкрита дрібними крупинками металу з рухомого контакту, який кристалізується з парової фази при згасанні електричної дуги. Під впливом різкої зміни температури в робочій зоні формується дрібнозерниста структура, а зона матеріалу з більш грубими зернами срібла, що утворилися в результаті рекристалізації, заглиблюється (рис. 3, а).

При комутації змінного струму закономірності руйнування обох контактів з дослідного матеріалу з міді подібні до зазначених вище і являють собою розплавлений матеріал з перенесенням матеріалу за рахунок парової фази (рис. 4, б і рис. 4, г). Ерозійний знос розривних експериментальних контактів може бути викликаний появою плазмової дуги. В основному спостерігаються плями анодного типу (рис. 4, б, рис. 4, в) (дрібні крапки). В окремих випадках спостерігаються

випадки поєднання плям катодного та анодного типів (рис. 4, б) (великий овал із вкрапленнями дрібних крапок). Руйнування електродів відбувається як під дією анодних, так і катодних плям, тобто під дією плазових струменів електричної дуги змінного струму. У цьому випадку контактний матеріал плавиться, рідка фаза переноситься з одного електроду на інший (рифлена поверхня і горбики нерівностей на рис. 4), з'являються катодні факели плазми.

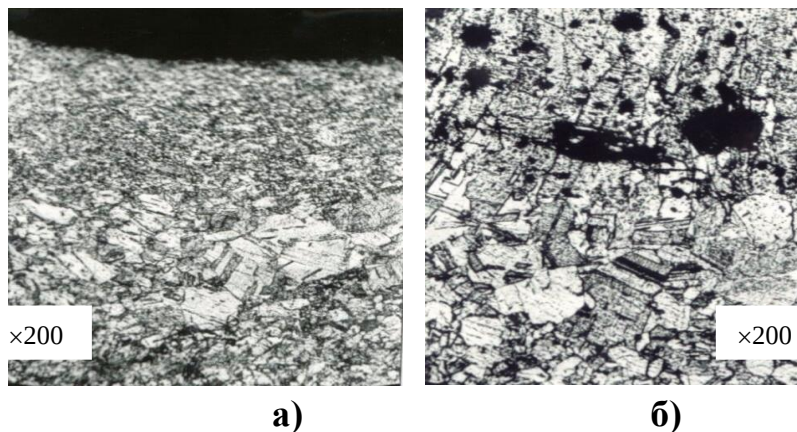
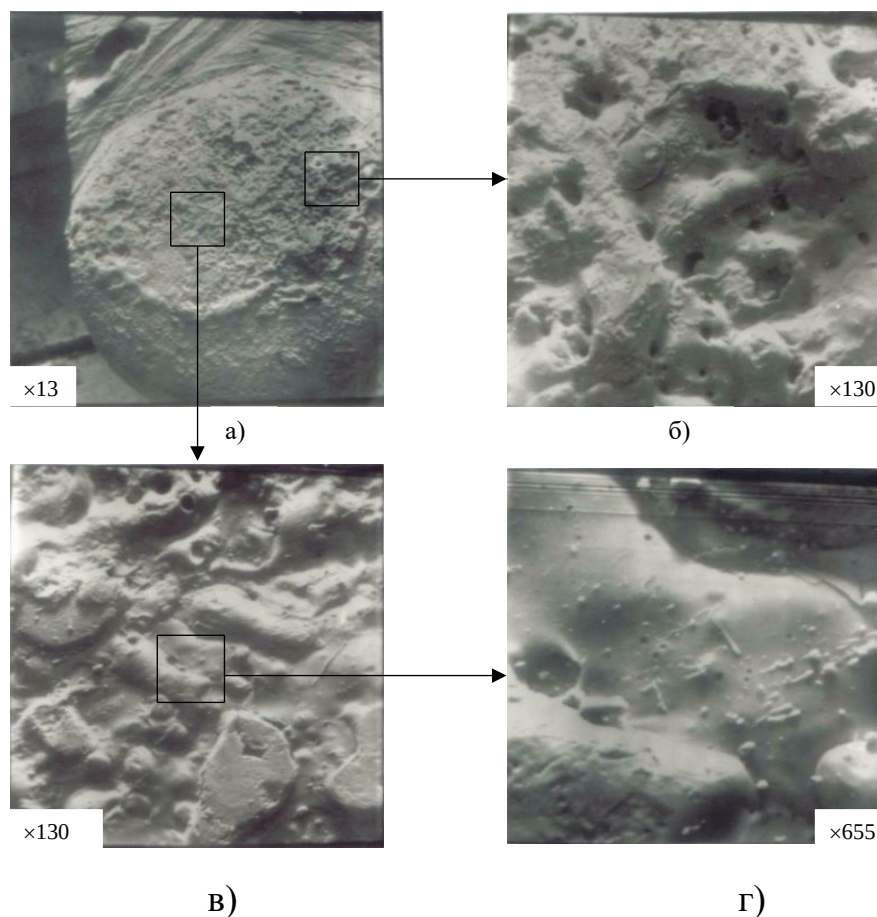


Рис. 3. Мікроструктура нерухомої (а) та рухомої (б) контактних частин пускача ПМЛ-1100О4В після 300 тис. циклів перемикань. Категорія АС-3 ($U=380$ В; $I=10$ А). Матеріал $CrM-0,2+M1$

На рухомих контакт-деталях є самотні крапки виходу плазових струменів, але враховуючи те, що комутація відбувається на змінному струмі, втрата і перенесення матеріалу відбувається як з рухомих, так і з нерухомих контактів. Катодні факели від нерухомого контакту активніше руйнують рухомий контакт, тобто спостерігається аналогічна картина руйнування, як і в контактах із серійного матеріалу, тому для рухомого контакту можна рекомендувати більш стійкий до ерозії матеріал, тобто різномірну пару контактів. Можна стверджувати, що значний об'ємний вміст графіту в стандартних композиціях $Cu-C$ перешкоджає зварюванню контактних поверхонь під дією дугового розряду як за рахунок ефекту «віддування», пов'язаного з утворенням великих об'ємів летких оксидів, так і за рахунок нанесення плівки з парової фази на робочі поверхні контактів. При цьому порушується і без того слабка міцність зчеплення ділянок мідного каркасу, що призводить до значного локального перегрівання міді і, отже, до інтенсивного руйнування контактних частин.

Подрібнення зерна в матеріалі $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$ сприяє зниженню температури рекристалізації, що підвищує термічну міцність [11] і призводить до зменшення електричної ерозії.

З аналізу фотографій робочих поверхонь експериментальних контактів випливає, що мідь присутня на поверхні як основний компонент, загалом, у вигляді потовщень під час охолодження розплаву (рис. 4, а та рис. 4, б). Основна маса мідного розплаву, що утворюється під плямами електричної дуги, виплескується в межах контактної частини і згущується у вигляді збільшених скупчень на межі контакту, а також виходить за межі контакту, зокрема у вигляді парів металу.



**Рис. 4. Робоча поверхня нерухомих контактних частин після напрацювання 300 тисяч циклів перемикачів.
Матеріал $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$**

Загалом відомі контакти з мідно-графітової композиції [8], але вони використовуються для розмикання контактів автоматичних вимикачів, коли

необхідна стійкість до зварювання при високих струмових навантаженнях. Електрична зносостійкість контактів із складом Cu-C низька і розрахована на малу кількість комутацій. Такі типи контактів не використовуються в електромагнітних пусках і реле.

У тваринницьких приміщеннях, де в навколишньому середовищі присутні агресивні компоненти, і відповідно до технологічного процесу комутаційне обладнання не потребує великої кількості циклів перемикачів на годину, використовувалися контакти на основі міді з домішками, які дещо нівелюють недоліки міді, такі як схильність до атмосферної корозії з утворенням оксидних і сульфідних плівок (їх наявність призводить до порушення контактної провідності).

Для остаточного відбору дослідного матеріалу були проведені виробничі випробування пусків ПМЛ-1100О4 (в кількості 4 шт.), обладнаних серійними контактотримачами, до яких приварені контактні частини з дослідних матеріалів, аналогічні розмірам серійних контактних деталей. Пуски оснащені електротепловими струмовими реле РТЛ-1012О4.

Виробничі випробування пусків з дослідними контактними частинами (контактний матеріал [8]) проводили протягом трьох років у складі шаф керування електроприводом конвеєра ТНС-3,0Б типу ЯАА5910-3274ТУЗ у виробничих приміщеннях тваринницьких ферм та промислового агрокомбінату. Електромагнітні пуски та реле експлуатувалися в реальних умовах тваринницьких приміщень, які характеризуються підвищеною вологістю та наявністю хімічно агресивних домішок. Що стосується виходу з ладу контактів дослідних пусків, то згідно з вимогами стандарту [2] під час досліджень фіксувалося значення провалу менше 0,5 мм, при цьому вимірювалося падіння напруги на місткових контактах пусків ПМЛ, що не перевищувала 200 мВ при номінальних струмах електроспоживачів. Після трирічної підконтрольної експлуатації пуски були в працездатному стані і продовжували експлуатуватися надалі в шафах керування.

Висновки і перспективи.

1. Результати експериментальних комутаційних випробувань контактів електромагнітних пусків та реле дозволили встановити вплив сили струму на

електричний знос контактів. Величина електроерозійного зношування найменша у матеріалу CrH-10, менш ерозійностійкого матеріалу CrM-0,2+M1; його ерозійний знос в 1,2-1,3 рази більше, ніж у контактів з матеріалу CrH-10.

2. В експериментальних контактах на основі міді (Cu+Cr+TiB₂+Nb+C+Zr) величина електроерозійного зносу збільшується на 15-30 % порівняно з серійними, що пов'язано з великим локальним перегріванням міді. Закон зносу залишається лінійним.

3. Ерозійний знос контактів апаратів відбувається під дією плазмових струменів електричної дуги змінного струму, що морфологічно підтверджено фотографіями робочої поверхні контактів.

4. Для створення контактних матеріалів з необхідними робочими властивостями для електромагнітних пускатів сільськогосподарського призначення доцільно обирати композиційні матеріали на основі міді, компонентами яких є такі термодинамічні компоненти: Cr, Nb, Zr, Y₂O₃, C, TiB₂ тощо [6].

Список використаних джерел

1. Братерская Г. Н., Лавренко В. А., Кохановский С. П., Коробский В.В. Коррозионная стойкость электроконтактных материалов на основе меди в агрессивных средах. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 1993. №2. С. 56–60.
2. Пускатели электромагнитные низковольтные. Общие технические условия: ГОСТ 2491-82 (СТ СЭВ 5535-86) [Чинний від 1983-01-01]. М.: Изд - во стандартов, 1982. 22 с. (Міждержавний стандарт).
3. Изделия электротехнические. Общие технические требования в части стойкости к воздействию специальных сред: ГОСТ 24682–81 [Чинний від 1982-01-01]. М.: Изд - во стандартов, 1981. 28 с. (Міждержавний стандарт).
4. Коробський В.В. Експериментальні дослідження ерозійного зносу серійних контакт-деталей пускатів як функція кількості комутацій. Наук. вісн. НУБІП України. Серія "Техніка та енергетика в АПК", Вип. №184, ч. 1. 2013. С. 181 – 187.
5. Крячко Л. А., Падерно В. Н., Коваленко В.И. Особенности структурообразования и поведения при эксплуатации слаботочных электроконтактных материалов, содержащих фторид кальция. Порошковая металлургия. №9. 1992. С. 84 – 88.
6. Пат. 1790821 СРСР, МКИ⁵ Н 01 Н 1/02, С 22 С 9/00. Спечений електроконтактний матеріал на основі міді / Братерська Г.М., Коханівський С.П., Донцова Т.О., Наливайко В.А., Сагач М.Ф., Коробський В.В. (СРСР); заявник УСГА і ІПМ АН УРСР. – заявл. 22.05.1991. (для службового користування). Відкритим друком не опубліковано.

7. Петин О.В., Испытание электрических аппаратов: Учеб. пособие для вузов по спец. «Электрические аппараты» / О.В.Петин, Е.Ф.Щербakov. – М.: Высшая школа, 1985. – 215 с.

8. Клименко Б. В., Кохановський В. О. Огляд та перспективи розвитку матеріалів для контактів електромеханічних апаратів низької напруги Електротехніка і електромеханіка. 2011. №4. С. 34 – 40.

9. Korobskiy V. V., Mrachkovskiy A. M. New aspects of creation of environmentally friendly composite materials for contact systems of electric equipment in the agriculture sector. 2018. 11 th International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (ICEPOM-11) Molecular Crystals and Liquid Crystals. Ivano–Frankivsk (Ukraine), May 21-25, 2018. P. 35.

References

1. Braterskaya, G. N., Lavrenko, V. A., Kokhanovskiy, S. P., Korobskiy, V. V. (1993). Koroziina stiiikist elektrokontaktnykh materialiv na osnovi midi v ahresyvnykh seredovyshchakh [Corrosion resistance of electrical contact materials based on copper in aggressive environments]. Fizyko-khimichna mekhanika materialiv. Physical and chemical mechanics of materials, 2, 56 – 60.

2. Puskachi elektromahnitni nyzkovoltni. Zahalni tekhnichni umovy: GOST 2491-82 (ST SEV 5535-86) [Chynnyi vid 1983-01-01] (Mizhderzhavniy standart) [Low-voltage electromagnetic starters. General specifications: Interstate standard 2491-82 number (ST SEV 5535-86)] (1982), Izdatelstvo standartov, 22.

3. Elektrotekhnichni vyroby. Zahalni tekhnichni vymohy shchodo stiiikosti do vplyvu spetsialnykh seredovyshch: GOST 24682–81 [Chynnyi vid 1982-01-01] (Mizhderzhavniy standart) [Electrical products. General technical requirements for resistance to special media: Interstate standard 24682–81 number] (1981), Izdatelstvo standartov, 28.

4. Korobskiy, V. V. (2013). Eksperymentalni doslidzhennia eroziinoho znosu seriinykh kontakt-detalei puskachiv yak funktsiia kilkosti komutatsii. [Experimental researches of erosion wear of serial contact parts of starters as a function of the quantity of commutation]. Nauk. visn. NUBIP Ukrainy. Seriiia "Tekhnika ta enerhetyka v APK", 184 (1), 181 – 187.

5. Kryachko, L. A., Paderno, V. N., Kovalenko, V. I. (1992). Osoblyvosti strukturoutvorennia ta povedinky pry ekspluatatsii slabotochnykh elektrokontaktnykh materialiv, shcho mistiat ftoryd kaltsiiu [Features of structure formation and behavior during operation of low-current electrocontact materials containing calcium fluoride]. Poroshkova metalurhiia – Powder metallurgy, 9, 84 – 88.

6. Braterskaya, G. M., Kochanovskiy, S. P., Dontsova, T. O., Nalyvayko, V. A., Sagach, M. F., Korobskiy, V. V. Spechenyi material dlia elektrychnykh kontaktiv na osnovi midi. [Sintered electrocontact material based on copper]. Patent of the USSR, no. 1790821, MKI5 N 01 N 1/02, C 22 C 9/00. The applicant of USHA and IPM of the Academy of Sciences of the USSR. – stated. May 22, 1991 (restricted). Open print not published.

7. Petinov, O. V., Shcherbakov, E. F. (1985). Vyprobuvannia elektrychnykh aparativ: Navch. posibnyk dlia vuziv za spets. "Elektrychni aparaty" [Testing of electrical devices:

Proc. allowance for universities on special. "Electrical Apparatus"]. Moscow: Higher School.

8. Klimenko, B. V., Kochanovskiy, V. O. (2011). Ohliad ta perspektyvy rozvytku materialiv dlia kontaktiv elektromekhanichnykh aparativ nyzkoi napruhy. [Review and prospects of materials development for contacts of electromechanical devices of low voltage]. Electrical engineering and electromechanics, 4, 34 – 40.

9. Korobskiy, V. V., Mrachkovskiy, A. M. (2018). New aspects of creation of environmentally friendly composite materials for contact systems of electric equipment in the agriculture sector: 11 th International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (ICEPOM-11). Molecular Crystals and Liquid Crystals. Ivano–Frankivsk (Ukraine), 35.

STUDY OF THE WORKING SURFACES OF THE CONTACTS OF ELECTROMAGNETIC STARTERS AND RELAYS USING AN ELECTRON MICROSCOPE

V. Korobsky, Ya. Akulinin

Abstract. *It is proposed to replace the serial contact parts based on silver with experimental contact parts based on copper. Climatic tests of the contact parts were carried out to determine the performance and production operation of the experimental contacts.*

Switching tests of starters and relays were carried out to determine durability. The results of studies of wear resistance and erosion of the contact surface of serial contact parts of PML-1100O4 electromagnetic starters based on silver - CpH-10, CpM-0.2+M1 and metal-ceramic contact parts based on copper with metal impurities and defined thermodynamically stable compounds.

Negative wear is established in stationary and moving contact parts, but moving contact parts wear more intensively, which is typical for alternating current devices.

The level of erosive wear increases with a gradual increase in the number of switching cycles and the magnitude of the switching current and reaches its maximum value at the highest current (10 A) with which the starters and relays were tested (4.0 A, 6.3 A, 10 A).

The study of the working surfaces of the contacts before, during and after the test was carried out using a scanning electron microscope "Cambridge Stereoscan" S4-10. The metallographic analysis of the contact surfaces contributed to the discovery of patterns of destruction of erosion-rupturing bridging contacts based on Ag and Cu. Contact parts made of experimental contact materials have undergone several years of production tests in real agricultural conditions.

Key words: *working surface, contact part, contact material, climatic tests, commutation tests, wear resistance, erosion, microgrind*