

мотки зв'язи и електромагнітного взаємодія обмоток зв'язи и регулювання (дросселя).

**Сварочний трансформатор, тороїд, обмотка зв'язи, магнітопровід, обмотка регулювання.**

*The electric circuit of essentially new technical decision of the arc-welding transformer is brought, the equations of voltage are brought and the vectogram is constructed. The analysis of the vectogram has shown, that reduction of a voltage at increase in amperage happens due to a power failure and also induced voltage windings of regulation.*

**The arc-welding transformer, toroid, winding of communication, a winding of regulation.**

УДК 621.3.066.5/6:636

## **СПЕЦІАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ ПМЛ-1100**

***В.В.Коробський, кандидат технічних наук***

*Наведено результати досліджень зносостійкості та ерозії поверхні контактування серійних контакт-деталей електромагнітних пускачів ПМЛ-1100О4 на основі срібла - СрН-90, СрМ-0,2+М1 і метало-керамічних контакт-деталей на основі міді з домішками металів та інших термодинамічно стійких з'єднань. Зроблено металографічний аналіз контактних поверхонь, що сприяв виявленню закономірностей ерозійного руйнування розривних мостикових контактів на основі Аg та Сu. Контакт-деталі з дослідних контактних матеріалів пройшли виробничі випробування в реальних умовах сільського господарства.*

***Електромагнітний пускач, комутаційні випробування, контакт-деталь, контактний матеріал, металографічний аналіз, морфологія.***

Надійність електричного контакту здебільшого визначається його складовими компонентами, структурою і властивостями поверхневих шарів, які утворюються в результаті ерозії і переносу контактного матеріалу в електричній дузі [3]. Основним складовим компонентом для контактних матеріалів найпоширеніших електромагнітних пускачів є срібло. Контакт-деталі пускачів ПМЛ, ПМЕ, ПМА, ПАЕ виготовляються з матеріалу на основі срібла (СрН-90, СрМ-0,2+М1, СОК-15).

Як правило до технологічного обладнання, яке призначене для тваринницьких ферм і комплексів входять електромагнітні пускачі загальнопромислового призначення, класу зносостійкості Б, В. Подібні пускачі не

---

© В.В. Коробський, 2012

придатні до тривалої роботи в специфічних умовах сільського господарства. Вітчизняна електротехнічна промисловість не випускає пускачів сільськогосподарського призначення.

**Мета досліджень** – проведення випробування на комутаційну зносостійкість серійних контакт-деталей пускачів ПМЛ-1100О4 (виконання А, Б і В; матеріал контактів відповідно – СrН-90, СrМ-0,2+М1) і пускачів ПМЛ-1100О4 з дослідними контакт-деталлями на основі міді (Cu+Cr+TiB<sub>2</sub>+Nb+C+Zr) [4] та порівняльних досліджень працездатності пускачів з серійними та дослідними контакт-деталлями та виявлення впливу енергетичних параметрів комутуваного кола на величину електроерозійного зношування та морфологію робочої поверхні контактів.

**Матеріали та методика досліджень.** Комутаційні випробування проводяться для пускачів без теплового реле для кожного контактного матеріалу в категорії застосування АС-3 [6]. Загальна кількість комутаційних циклів увімкнення-вимкнення для всіх пускачів прийнята однаковою і рівною 300 тис. Необхідні вимірювання проводилися через кожні 50 тис. комутаційних циклів, частота комутацій визначалася вимогами [6]. Струміві навантаження були вибрані для пускачів першої величини, виходячи із значень номінальних робочих струмів: 4А; 6,3А; 10А. Для експериментальних випробувань найбільш прийнятним є ваговий (масовий) метод визначення зносу [5]. Рухомі та нерухомі контакт-деталі разом із контакто-тримачами зважуються до і після кожної комутаційної серії на аналітичних вагах ВЛА-200М, які забезпечують точність зважування не менше 10<sup>-4</sup>г. Повторність зважування становить не менше трьох і за кінцевий результат приймається середнє арифметичне значення. Кількість пускачів у виборці прийнята N=8 випадково відібраних пускачів [1].

Провал і хід контактів пускачів контролюється за стандартною методикою з використанням електричного індикатора та індикатора лінійних переміщень ИЧ з точністю 0,01 мм [6].

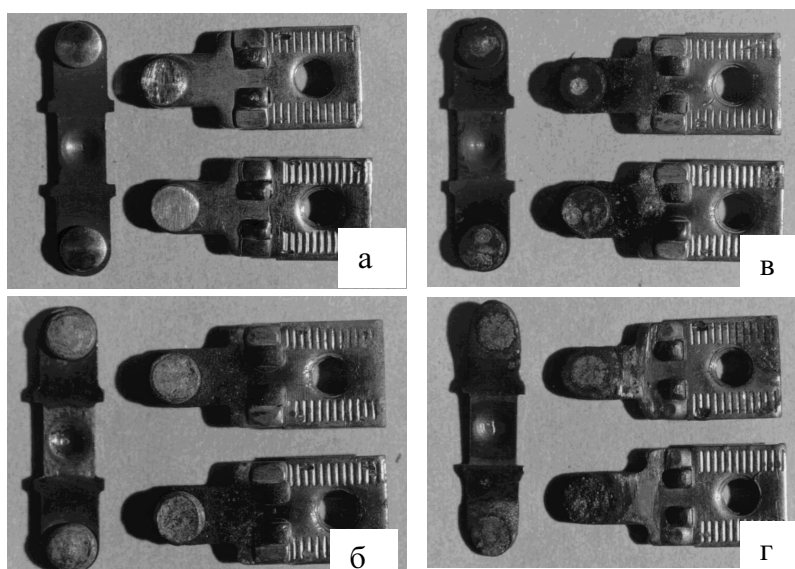
Дослідження поверхонь контактування проводилося за методикою, що викладена в роботі [2] з використанням растрового електронного мікроскопа «Cambridge Stereoscan» S4-10 з приставкою для рентгеноспектрального аналізу Link System - 290 і рентгенівським мікроаналізатором «Camebax SX – 50».

**Результати досліджень.** В таблиці наведено результати комутаційних випробувань електромагнітних пускачів. На рис. 1 зображено фотографії серійних та дослідних мостикових контактів електромагнітних пускачів ПМЛ.

Встановлено, що при комутації змінного струму контактами і за умови постійної зміни полярності проявляється негативне зношування (тобто зменшення маси) у нерухомих (1–6) і в рухомих контакт-деталей (мостики 1–2, 3–4, 5–6). При цьому рухомі контакт-деталі зношуються інтенсивніше на 30 – 60 %. Це явище характерне для комутації змінного струму і його можна пояснити, на нашу думку, тим що при випробуваннях температура рухомих мостиків була вищою.

### Електроерозійний знос контакт-деталей пускачів

Матеріал контактів	Кількість циклів, тис.	Величина зносу, мг					
		Нерухома контакт-деталь			Рухомий мостик		
		Струм, А			Струм, А		
		4,0	6,3	10,0	4,0	6,3	10,0
CrH-90	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
CrM0,2+M1	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+TiB <sub>2</sub> ++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



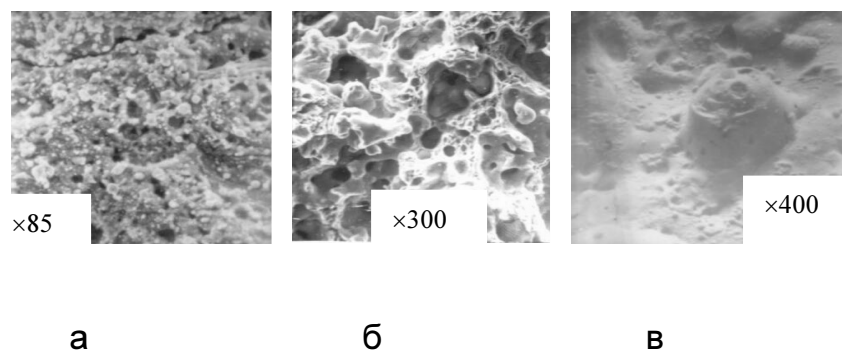
**Рис.1. Зовнішній вигляд контактів пускачів ПМЛ-1100О4 на початку випробування (а) і після наробітку 300 тис. циклів. Категорія АС-3 (U=380 В; I=10А). Збільшення  $\times 4$ : б - матеріал CrH-90; в – матеріал CrM-0,2+M1; г – матеріал Cu+Cr+TiB<sub>2</sub>+Nb+C+Zr**

Ерозійне зношування зростає зі збільшенням кількості циклів комутації та величини комутуваного струму і досягає свого максимального значення при струмі 10А (тому знімки робочої поверхні та зрізу поверхневого шару контактів наведено тільки при струмі 10А). Найбільш ерозієстійким виявився контактний матеріал CrH-90, що застосовується в пускачах ПМЛ-1100О4А. Цей матеріал включає в себе дві складові фази: срібло – 90 % і нікель – 10 %. Нікель у псевдосплаві за цих умов підвищує зносостійкість, визначає його міцність і твердість, перешкоджає зварюванню контактів, а також сприяє корозійній стійкості. При нагріванні до +500 °С нікель поступово окислюється, але оксидна плівка – тонка і слабо утримується на металі, внаслідок чого при незначних контактних натисках в електромагнітних пускачах (до 5 Н) вона руйнується і не порушує електричного контакту. Менш ерозієстійкими є контакти з матеріалу CrM-

0,2+M1. Термічна дія дуги викликає випаровування і розбризування матеріалу контактів, поверхні контакт-деталей окислюються. В процесі роботи можливі суттєві зміни в поверхневому шарі.

Комутаційна зносостійкість дослідних контактів на основі міді свідчить, що закон електроерозійного зношування зберігає лінійний характер, але зростає величина електроерозійного зношування на 15 – 30 %. При дії дуги окислення мідних контактів вище, ніж у серійних і коефіцієнт теплопровідності дослідного матеріалу нижчий, ніж у матеріалів на основі срібла, що призводить до значних локальних перегрівань міді. В дослідних контактах величина обгорання більша і на робочій поверхні більше проявляються сліди ерозії матеріалу (див. рис. 1).

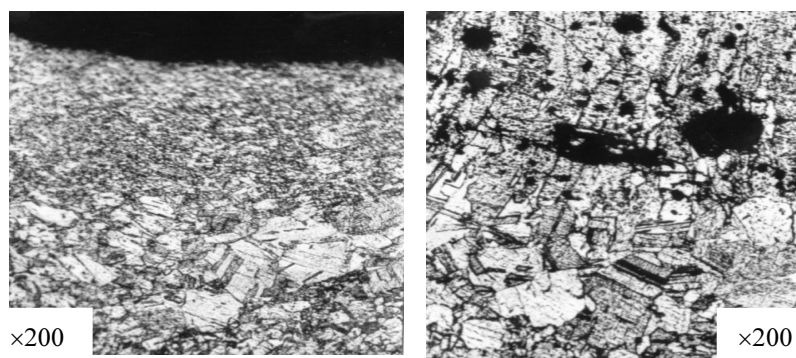
Хром як дисперсна домішка в матеріалі  $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$  дозволила зміцнити цей матеріал. Під дією дуги хром легко окислюється, що призводить до підвищення опору дуги, при цьому час горіння дуги скорочується і зменшується величина електричної ерозії. Мідь менше окислюється за рахунок поглинання хромом кисню, що стабілізує контактний опір. Частинки ніобію на робочій поверхні контактів створюють великий градієнт температури ( $1387\text{ }^\circ\text{C}$ ) на межі фаз  $\text{Nb}-\text{Cu}$ . Внаслідок цього зерна міді на межі з ніобієм плавляться, випаровуються і розбризкуються, що сприяє підвищенню стійкості проти зварювання, але при цьому підвищується зношування. Це не дуже корисне явище вдається усунути спільним введенням дибориду титану  $\text{TiB}_2$  і графіту.



**Рис. 2. Робоча поверхня контакт-деталей з матеріалу SrH-90 після наробітку 300 тис. комутацій циклів**

Дослідження робочих поверхонь контакт-деталей дозволило встановити, що внаслідок дії електричної дуги плавиться не тільки легкоплавка складова композиції – срібло, але також і зерна нікелю (рис. 2,а), що підтверджується наявністю характерних виступів затвердіння по краях нікелевих зерен (рис. 2,б). Загуслі зерна нікелю мають форму конуса (рис. 2,в).

Металографічний аналіз показав, що мікроструктура поверхневих шарів нерухомої і рухомої контакт-деталі (рис. 3,а і 3,б) різна і в процесі роботи суттєво змінюється. Очевидно, що при комутації струму матеріал рухомої контакт-деталі нагрівається до температури кипіння, частково переноситься на поверхню більш холодної нерухомої контакт-деталі (див. рис. 3,а), а решта знову осідає на поверхню рухомого, утворюючи порожнини (на рис. 3,б – чорні кратери) і стовпчасті зерна нормально до робочій поверхні контакт-деталі.

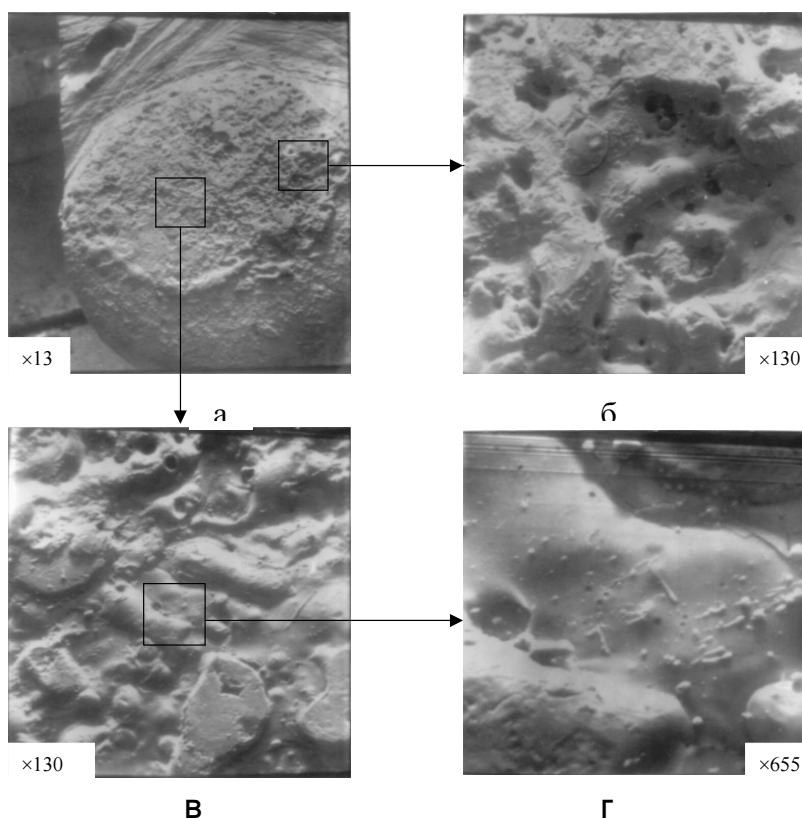


а

б

**Рис. 3. Мікроструктура нерухомої (а) і рухомої (б) контакт-деталі пускача ПМЛ-1100О4В після наробітку 300 тис. циклів комутації. Категорія АС-3 (U=380 В; I=10А). Матеріал СрМ-0,2+М1**

Для змінного струму картини руйнування обох контактів з дослідного матеріалу на основі міді (рис. 4,а) подібні та являють собою оплавлений матеріал з перенесеним матеріалом завдяки паровій фазі (рис. 4, б і 4, г).



**Рис. 4. Робоча поверхня нерухомих контакт-деталей після наробітку 300 тис. циклів комутації. Матеріал  $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$**

Ерозійне зношування розривних дослідних контактів може бути викликане виникненням плазмової дуги. В основному спостерігаються плями анодного типу (рис. 4,б і 4,в) (невеликі крапки). В деяких випадках трапляються випадки поєднання плям катодного та анодного типів (рис. 4,б) (великий овал з вкрапленням невеликих крапок). Руйнування електродів

відбувається як при дії анодних, так і катодних плям, тобто при дії плазмових струменів електричної дуги змінного струму.

Подрібнення зерен у матеріалі  $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$  сприяє зниженню температури рекристалізації, що підвищує температурну міцність і призводить до зниження електричної ерозії.

### Висновки

1. Величина електроерозійного зношування найменша в матеріалі  $\text{CrH-10}$ , менш ерозієстійкий матеріал  $\text{CrM-0,2+M1}$ ; його ерозійне зношування в 1,2 – 1,3 раза більше, ніж контактів з матеріалу  $\text{CrH-10}$ .

2. У дослідних контактах на основі міді ( $\text{Cu}+\text{Cr}+\text{TiB}_2+\text{Nb}+\text{C}+\text{Zr}$ ) зростає величина електроерозійного зношування на 15 – 30 % у порівнянні з серійними, що обумовлено великими локальними перегріваннями міді. Закон зношування при цьому також залишається лінійним.

3. Ерозійне зношування контактів пускачів відбувається при дії плазмових струменів електричної дуги змінного струму, що морфологічно підтверджується фотознімками робочої поверхні контактів.

4. Для створення контактних матеріалів з необхідними робочими властивостями для електромагнітних пускачів сільськогосподарського призначення доцільно вибирати композиційні матеріали на основі міді, складовими яких є такі компоненти:  $\text{Cr}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{TiB}_2$  тощо [5].

### Список літератури

1. Коробський В.В. Вплив кліматичних факторів тваринницьких ферм і приміщень на роботу контактів електромагнітних пускачів / В.В.Коробський – Науковий вісник НАУ. – 1998. – №3. – С. 168 – 171.

2. Крячко Л.А., Особенности структурообразования и поведения при эксплуатации слаботочных электроконтактных материалов, содержащих фторид кальция / Л.А.Крячко, В.Н Падерно, В.И. Коваленко // Порошковая металлургия. – 1992. – №9. – С. 84 – 88.

3. Мелашенко И.П. Металлокерамические размыкаемые контакты с мелкодисперстной структурой / И.П. Мелашенко, В.М.Малышев, Д.В.Румянцев // Электротехнические металлокерамические изделия. – М.: ВНИИЭМ, 1965. – С. 57 – 61.

4. Пат. №1790821 СРСР, МКИ<sup>5</sup> 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); УСГА і ІПМ АН УРСР; заявл. 22.05.91. (для службового користування). Відкритим друком не опубліковано.

5. Петин О.В. Испытание электрических аппаратов: учеб. пособие для вузов по спец. «Электрические аппараты» / О.В.Петин, Е.Ф.Щербаков. – М.: Высш. шк., 1985. – 215 с.

6. Пускатели электромагнитные низковольтные. Общие технические условия: ГОСТ 2491-82 (СТ СЭВ 5535-86). – [Введ. 01.01.83]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 22 с.

*Приведены результаты исследования износостойкости и эрозии поверхности контактирования серийных контакт-деталей электромагнитных пускателей ПМЛ-110004 на основе серебра - CrH-90, CrM-0,2+M1 и металло-*

керамических контакт-деталей на основе меди с добавками металлов и других термодинамически устойчивых соединений. Проведен металлографический анализ контактных поверхностей, который способствовал выявлению закономерностей эрозионного разрушения разрывных мостиковых контактов на основе Ag и Cu. Контакт-детали из исследованных контактных материалов прошли производственные испытания в реальных условиях сельского хозяйства.

**Электромагнитный пускатель, коммутационные испытания, контакт-деталь, контактный материал, металлографический анализ, морфология.**

*The results of research a stability of wear and erosion of a surface contacting of serial contacts - details of electromagnetic starters PML-1100O4 are given on the basis of silver CpH-90, CpM-0,2+M1 and metalceramic of contacts - details on a basis copper with the additives of metals and others of thermodynamics steady connections. Is carried spent the metalgraphic analysis of contact surfaces, which promoted revealing of laws of erosive destruction explosive bride of contacts on a basis Ag and Cu. The contacts - detail from the investigated contact materials were subjected to industrial tests in real conditions of an agriculture.*

**Electromagnetic starter, switching tests, contact-details, contact material, metal-graphic analysis, morphology.**

УДК 621.762

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕРОЗІЇ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ КОНТАКТ – ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ СРІБЛА І МІДІ**

**А.М. Мрачковський, кандидат технічних наук**

*Проведено дослідження та отримано закономірності зміни електричної ерозії на контакт – деталях реле типу РПЛ – 2204, виготовлених із композиційного матеріалу на основі срібла та міді залежно від структури матеріалу, його фізико – механічних властивостей та фазових складових у приповерхневому шарі робочої поверхні контакт-деталі.*

**Електрична ерозія, робоча поверхня, анод, катод, масоперенос, електрична дуга.**

**Мета досліджень** – визначення механізму масопереносу і закономірностей ерозійного руйнування дослідних зразків композиційних контактних матеріалів на основі срібла і міді, використовуючи результати теоретичних та експериментальних досліджень.

Випробування проводилось на дослідних зразках контакт-деталей реле типу РПЛ-2204 виробництва ВАТ НВО "ЕТАЛ" (Україна) в інтервалі

---

© А.М.Мрачковський, 2012