

ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ АПАРАТІВ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ

Розглянуто особливості матеріалів для контактів терміналів, а також властивості та склад композитних матеріалів для контактних елементів найбільш розповсюджених видів електромеханічних комутаційних апаратів. Наводяться дані щодо нового зносостійкого та екологічно безпечного композитного контактного матеріалу.

Рассмотрены особенности материалов для контактов терминалов, а также свойства и состав композитных материалов для контактных элементов наиболее распространенных видов электромеханических коммутационных аппаратов. Приводятся данные о новом износостойком и экологически безопасном композитном контактном материале.

ОСОБЛИВОСТІ КОНТАКТІВ ТЕРМІНАЛІВ ТА КОМУТАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Електромеханічні комутаційні апарати, а саме апарати, у яких комутаційні функції виконують контакти, мають суттєві переваги перед напівпровідниковими та гібридними апаратами і домінують у відповідному сегменті ринку. Ми уникаємо термінів «контактний апарат» або «безконтактний апарат», оскільки до складу будь-яких апаратів (навіть тих, які не мають комутаційних елементів – запобіжники, розрядники, реактори тощо) обов'язково входять контакти для приєднання цих апаратів до зовнішніх кіл, тобто контакти терміналів електричних апаратів.

Умови роботи та вимоги до контактів терміналів суттєво відрізняються від умов роботи та вимог до контактів, які здійснюють комутації кіл в процесі роботи апаратів, тому відрізняються й матеріали, які у згаданих контактах застосовуються. Якщо у контактах терміналів переважно застосовується мідь різних марок та навіть алюміній (значно рідше, але застосовується), то асортимент матеріалів для контактів комутаційних елементів незрівнянно більший – це і чисті метали (мідь, срібло та деякі дорогоцінні метали), причому для рухомих та нерухомих контактів застосовують як однакові, так і різні метали – це і стопи металів, це і різноманітні металокерамічні композиції.

Зовнішні провідники мають бути надовго приєднаними до виводів апаратів, тому основною вимогою до контактів терміналів є стабільність перехідного опору впродовж тривалого часу – днів, тижнів, місяців й навіть років. Проблема стабільності перехідного опору розв'язується застосуванням надійних загисних пристроїв у терміналах, антикорозійним покриттям поверхонь виводів та змащенням контактних поверхонь (рис. 1).

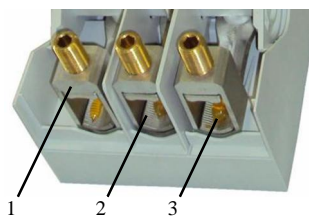


Рис. 1. Термінали для приєднання круглих провідників:
1 – стовпчиковий затискний пристрій з латунними гвинтами;
2 – вивід з лудженої міді; 3 – заводське змащення

Вибір матеріалу для контактів комутаційних елементів електричних апаратів здійснюється у залежності від виду апарата (вимикачі навантаження, автоматичні відмикачі, контактори, пускачі, апарати кіл керування, реле тощо), режиму роботи (восьмигодинний, безпере-

рвний або тривалий, переривчастий або повторно-короткочасний, а також короткочасний) та категорії його застосування. Категорія застосування апарата визначає сфери його використання та характеризується одним чи декількома з таких умов експлуатації: струмом, вираженим у кратності до номінального робочого струму, напругою, вираженою у кратності до номінальної робочої напруги; коефіцієнтом потужності навантаги (для апаратів змінного струму) або її сталою часу (для апаратів постійного струму); умовами короткого замикання; селективністю; іншими умовами експлуатації (у разі необхідності). Оскільки суттєво відрізняються сфери застосування та вимоги до апаратів різних видів, то суттєво відрізняються й матеріали контактів їх комутаційних елементів

Наведемо короткий огляд вимог до найбільш розповсюджених видів електромеханічних комутаційних апаратів та апаратів керування з точки зору застосування у них різних матеріалів для контактних елементів.

Комутаційні апарати з ручним керуванням

До апаратів цієї групи будемо відносити роз'єднувачі (disconnectors¹: 441-14-05), вимикачі (switches: 441-14-10) та комбінації із запобіжниками (fuse-combination units: 441-14-04), а саме роз'єднувачі-запобіжники (disconnecter-fuses: 441-14-15); вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники (switch-disconnector-fuses: 441-14-16); запобіжники-роз'єднувачі (fuse-disconnectors: 441-14-18) та запобіжники-вимикачі-роз'єднувачі (fuse-switch-disconnectors: 441-14-19). Роз'єднувачі-запобіжники та вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники представляють собою просте поєднання комутаційного апарата з послідовно приєднаним до нього запобіжником. Останні два – це спеціально сконструйовані апарати, у яких роль рухомого контакту виконує вставка запобіжника. У цих апаратах, а також у роз'єднувачах-запобіжниках зазвичай реалізуються залежні ручні операції (dependent manual operations: 441-16-13) замикання та розмикання, тобто операції, у яких швидкість та сила операції залежать від

¹ У даній статті при посиланні на термін з Міжнародного електротехнічного словника (International Electrotechnical Vocabulary – IEV) у дужках будемо наводити відповідний термін англійською мовою та номер поняття у даному словнику без абрєвіатури IEV. При посиланні на терміни, що запозичуються зі стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission – IEC), будемо, після згадування відповідного терміну, зазначати у дужках термін англійською мовою, номер стандарту (без абрєвіатури IEC) та номер пункту у стандарті, у якому відповідний термін наводиться. При посиланні на терміни, що запозичуються з радянських та міждержавних стандартів, перед номером стандарту вказується абрєвіатура ГОСТ.

дії оператора. У вимикачах-роз'єднувачах-запобіжниках з метою забезпечення надійного відмикання кіл з великими струмами реалізуються незалежні ручні операції (independent manual operations: 441-16-16), у яких швидкість та сила операції не залежать від дії оператора.

Вимоги до зазначених вище апаратів сформульовані у міжнародному стандарті ІЕС 60947-3. Ці апарати не призначені для відмикання струмів короткого замикання, але можуть їх вмикати та проводити впродовж визначеного часу.

У конструкціях апаратів з ручним керуванням зазвичай застосовуються ковзні контакти (sliding contacts: 441-15-15), їх виготовляють з міді, незважаючи на те, що ці апарати можуть працювати як у восьмигодинному, так і у безперервному режимах (eight-hour duty: 60947-1, 4.3.4.1; uninterrupt duty: 60947-1, 4.3.4.2). Якщо апарат працює у восьмигодинному режимі, то оксидна плівка, яка з часом покриває поверхні, що контактують, руйнується завдяки ковзному переміщенню рухомого контакту відносно нерухомого (рис. 2,а).

При відносно великих очікуваних наскрізних струмах короткого замикання зменшення сили приварювання забезпечується за рахунок компенсації сил електродинамічного відкидання у конструкції з двома паралельними рухомими контактами (рис. 2,б).

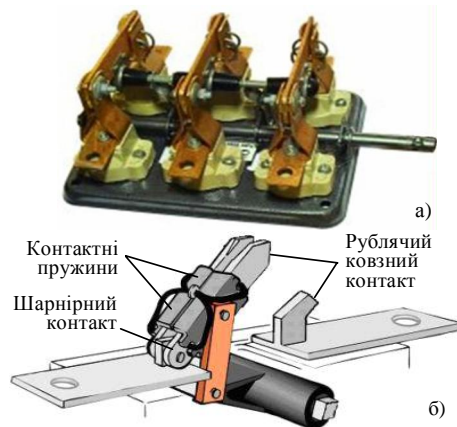


Рис. 2. Ковзні контакти у конструкціях апаратів з ручним керуванням: а – роз'єднувач з рублячими ковзними контактами з одним рухомих ножовим контактом у кожному полюсі; б – контактна система полюсу апарата з двома паралельними ножовими контактами

Автоматичні відмикачі

Вимоги до автоматичних відмикачів (circuit-breakers: 441-14-20) зафіксовані у двох міжнародних стандартах – ІЕС 60947-2 (для відмикачів промислового призначення) та ІЕС 60898-1 (для відмикачів побутового та аналогічного застосування). На відміну від роз'єднувачів, вимикачів та комбінацій із запобіжниками, автоматичні відмикачі спроможні відмикати не тільки робочі струми та струми перевантажень, а й струми коротких замикань.

У конструкціях автоматичних відмикачів застосовуються стичні контакти (butt contacts: 441-15-14) з контактними накладками, склад яких залежить від сфери використання (промислового чи побутового призначення) та категорії застосування відмикачів промислового призначення (А – відмикачі, що спрацьовують при коротких замиканнях без витримки часу та В – відмикачі, що спрацьовують при коротких замиканнях з витримкою часу).

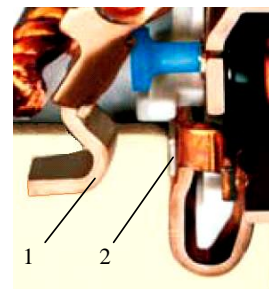
Якщо час розмикання відмикача категорії А є достатньо малим (меншим за 5 – 6 мс), такий відмикач

набуває струмообмежувальної здатності – струм у колі з цим відмикачем не доходить до пікового значення, тому такі відмикачі відносять до класу струмообмежувальних (current-limiting circuit-breakers: 441-14-21). Контактні елементи цих відмикачів повинні забезпечувати стабільно низьке значення перехідного опору, адже основним режимом їх роботи є безперервний режим, а також сприяти підвищенню здатності до вмикання коротких замикань (short-circuit making capacity: 441-17-10) та здатності до відмикання коротких замикань (short-circuit breaking capacity: 441-17-11). Зазначені вимоги є достатньо суперечливими, тому відповідність цим вимогам забезпечується шляхом підбору відповідних металокерамічних композицій, що застосовуються у контактних накладках – різних для рухомих та нерухомих контактів.

Для забезпечення селективності захисту від коротких замикань відмикачі категорії В (їх також називають селективними) мають спрацьовувати з витримкою часу, отже через їх головні кола при замкнених контактах проходять пікові струми. При цьому контакти повинні лишатися замкненими та не приварюватися один до одного. Контактні елементи цих відмикачів, як і відмикачів категорії А, повинні забезпечувати стабільно низьке значення перехідного опору, адже основним режимом їх роботи також є безперервний режим.

Відмикачі побутового призначення працюють на нижніх гілках розподільних мереж, тому ці відмикачі мають бути струмообмежувальними. Контактні накладки у цих відмикачах застосовуються тільки на нерухомих контактах (рис. 3). Після декількох спрацьовувань під навантаженням поверхня мідного рухомого контакту (завдяки ерозії матеріалу з контактної накладки на нерухомому контакті) вкривається шаром срібла, що забезпечує стабільно низьке значення перехідного опору у безперервному режимі.

Рис. 3. Комутаційний елемент відмикача побутового призначення: 1 – рухомий контакт з міді; 2 – контактна накладка на нерухомому контакті



Контактори та пускачі

Вимоги до електромеханічних контакторів (contactors: 441-14-33) та пускачів (starters: 441-14-38) сформульовані у міжнародному стандарті ІЕС 60947-4-1. Контакттори та пускачі не призначені для відмикання струмів короткого замикання, але можуть їх вмикати та проводити впродовж часу спрацьовування апарата захисту від коротких замикань (запобіжника або відмикача), який обов'язково має бути підключеним послідовно з головним колом контактора чи пускача. Основним призначенням контакторів та пускачів є комутація кіл з відносно високою частотою (від декількох десятків до тисячі комутацій за годину). Одними з основних вимог до контакторів та пускачів є вимоги щодо значень механічної та електричної зносостійкості (mechanical durability: 60947-1, 7.2.4.3.1; electrical durability: 60947-1, 7.2.4.3.2), які на один – три порядки мають перевищувати відповідні показники апаратів з ручним керуванням та відмикачів. У конструкціях контакторів та пускачів застосовуються стичні контакти (важливі або місткові) без контактних накладок або з контактними накладками, склад яких визначається категорією застосування. Найбільш

часто контактори мають працювати відповідно до категорій застосування АС-3 та АС-4. Обидві категорії передбачають застосування контакторів для керування асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором, причому у категорії АС-3 контактор має забезпечувати пуск та вимикання двигуна під час обертання, а у категорії АС-4 контактор має забезпечувати пуск та вимикання загальмованого двигуна, а також гальмування противключенням та поштовховий режим.

Контактори для категорії АС-4 зазвичай мають конструкцію поворотного типу (рис. 4,а) з контактною системою важільного типу, причому контакти можуть бути виготовлені з міді або з металокераміки на основі міді (рис. 4,б).



Рис. 4. Триполюсний контактор змінного струму для категорії застосування АС-4 (а) та вузол його рухомого контакту (б)

Контактори з мідними стиковими контактами не призначені для роботи у безперервному режимі, вони мають застосовуватися лише у переривчастому або восьмигодинному режимах, виходячи з того, що електрична дуга, яка виникає при розмиканні контактів, руйнує оксидну плівку, що утворюється на поверхнях контактів.

В контакторах при тривалому режимі експлуатації застосовується контактний матеріал із кадмієвої або берилієвої бронзи, яка має високу зносостійкість, корозійну стійкість і достатню електропровідність.

Контактори для категорії АС-3 зазвичай мають конструкцію прямоходового типу (рис. 5,а) з контактною системою місткового типу (рис. 5,б), причому накладки виготовляються з металокерамічних композицій.



Рис. 5. Прямоходовий контактор змінного струму для категорії застосування АС-3: а – зовнішній вигляд; б – контактна система

Апарати кіл керування та реле

До апаратів кіл керування (control circuit devices: 60947-5-1, 2.1.1) відносять електричні пристрої, призначені для керування, сигналізації, блокування тощо в комутаційній апаратурі та апаратурі керування. Основними різновидами апаратів кіл керування є перемикачі

керування (control switches: 441-14-46), керовані перемикачі (pilot switches: 441-14-48) та програмовані перемикачі (programmings: 60947-5-1, 2.2.1.4). До цих апаратів також відносять так звані контакторні реле (contactor relays: 441-14-35), які у деяких джерелах називають проміжними реле. Вимоги до цих апаратів сформульовані у міжнародному стандарті ІЕС 60947-5-1.

До перемикачів керування відносять кнопкові перемикачі (push-buttons: 441-14-53), джойстики (joy sticks: 2.2.2.19), педальні перемикачі (foot switches (pedal): 60947-5-1, 2.2.2.21), поворотні перемикачі (rotary switches: 441-14-47) (рис. 6).

До керованих перемикачів відносять позиційні перемикачі (position switches: 441-14-49) та кінцеві вимикачі (limit switches: 441-14-50).

Сучасні програмовані перемикачі – це мікропроцесорні пристрої з контактними елементами на виході.

Контактні елементи усіх згаданих вище апаратів зазвичай є містковими (крім контактів деяких реле) з накладками із срібла або металокераміки. Робочі струми цих апаратів є відносно невеликими, відповідно невеликими є й контактні натиснення, тому серед вимог до матеріалів контактних елементів у даному випадку на перший план виходить надійність контактування.

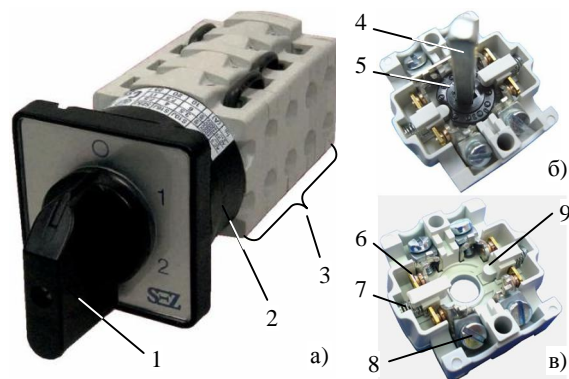


Рис. 6. Поворотні перемикачі: а – зовнішній вигляд; б, в – побудова контактних блоків (contact units).

1 – актуатор; 2 – механізм фіксації; 3 – пакет контактних блоків; 4 – привідний вал; 5 – кулачок; 6 – контактний елемент; 7 – контактна пружина; 8 – термінал; 9 – штовхач контактного елемента.

МЕТАЛОКЕРАМІЧНІ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ СТИКОВИХ КОНТАКТІВ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ ТА АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ

До матеріалів стикових контактів комутаційних апаратів та апаратів керування висуваються такі вимоги:

- висока механічна зносостійкість;
- висока електрична зносостійкість;
- висока стійкість до зварювання;
- висока електропровідність;
- висока теплопровідність;
- низький та стабільний перехідний опір;
- низька схильність до взаємодії з хімічно-активними складовими атмосфери – двоокисом вуглецю, сірководнем, двоокисом сірки, аміаком, киснем тощо;
- забезпечення надійного кріплення до контактодержача зварюванням, пайкою чи заклепуванням;
- низька вартість при заданому рівні надійності.

Перерахованим вимогам не може задовольнити жодний з чистих металів. Зокрема, мідь, яку можна було б вважати ідеальним контактним матеріалом (питома маса $\gamma = 8,96 \text{ г/см}^3$; питомий опір $\rho = 0,017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$;

питома теплопровідність $\lambda = 406$ Вт/(м·К); питома теплоємність – 386 Дж/(кг·К); температура топлення – 1083°C; температура кипіння – 2600°C; твердість Нв = 35 кгс/мм²; межа міцності при розтягуванні 14 кгс/мм²), які не схильність до окислення, внаслідок чого на поверхні утворюються плівки з надзвичайно високим опором, що збільшує перехідний опір контактів, а відтак сприяє неприпустимому перегріванню або навіть порушенню контакту. Тому в сучасній апаратурі мідні контакти замінюються композиційними на основі міді. Тим не менш, мідь має широке застосування в комутаційних апаратах з ручним керуванням, які працюють із значними механічними зусиллями і з ковзанням робочих поверхонь.

Суттєво меншу хімічну активність порівняно з міддю має срібло, тому перехідний опір контактів, виготовлених із срібла, є відносно стабільним. Слід зазначити, що чисте срібло у контактних матеріалах застосовується досить рідко, але срібло застосовується в контактах як домінуючий компонент у композиціях з іншими металами та їх сполуками.

Благородні метали (золото, платина, паладій тощо), тобто метали з низькою хімічною активністю у недавньому минулому мали широке застосування в контактах електричних реле, а також як захисне покриття в контактах електричних з'єднувачів (золото), які використовувалися в слабкострумній апаратурі, призначеній переважно для військово-промислового комплексу.

Чисте срібло (краще кажучи стопи срібла з малим вмістом домішок) застосовуються в біметалевих контактах (рис. 7) електромеханічних реле. У якості робочого шару в таких контактах найчастіше застосовуються стопи (сплави – рус.) Cr999, CrM-0,2 та CrH-0,1.



Рис. 7. Біметалевий контакт:
1 – несуча мідна ніжка;
2 – робочий (контактний) шар.
Робочий шар зварюється з шляпкою ніжки за допомогою установки контактного зварювання.

Стоп Cr999 – це майже чисте срібло з незначним вмістом домішок (табл. 1) [1].

Таблиця 1. Хімічний склад срібного стопу Cr999

Марка	Хімічний склад, %						
	Срібло, не менше	Домішки, не більше					Всього
		Свинець	Залізо	Сурма	Вісмут	Мідь	
Cr999	99,90	0,004	0,035	0,003	0,003	0,055	0,10

Контактні матеріали Cr999 застосовуються в електромеханічних реле типу ПЕ-40, ПЕ-41, ПЕ-43 та інших з номінальним струмом до 5 А.

Свинець при топленні розчиняється в сріблі і при внутрішньому окисленні подрібнює зерна срібної матриці [2].

Залізо не розчиняється в срібній матриці, а підвищує твердість стопу (твердість заліза Нв=45 кгс/мм²) та температуру топлення (температура топлення заліза 1539°C), що в цілому підвищує електроерозійну стійкість контактів [2].

Сурма підвищує твердість стопу, так як створюються тверді розчини сурми на основі срібла.

Вісмут є сильним окислювачем і при розчинності його в сріблі, залізі, міді і при внутрішньому окисленні створюються оксиди елементів, які створюють дрі-

бнодисперсну структуру срібної матриці і підвищують її твердість до 80 кгс/мм² [3].

При внутрішньому окисленні стопу срібло-мідь збільшується зносостійкість і опір контактів зварюванню і обгоранню.

Введення перерахованих вище домішок в стоп срібла і його внутрішнє окислення дозволило підвищити електроерозійну стійкість в 4 рази в порівнянні з чистим сріблом.

Контактні матеріали типу CrM-0,2 застосовуються в біметалевих контактах реле РПЛ і магнітних пускачах серії ПМЛ з номінальним струмом 10 ... 16 А та ступенем захисту IP54 (табл. 2).

Таблиця 2. Хімічний склад срібного стопу типу CrM-0,2

Марка	Хімічний склад, %					
	Срібло, не менше	Домішки, не більше				Всього
		Мідь	Нікель	Бор	Ітрій	
CrM-0,2	99,196	0,5	0,2	0,1	0,004	0,804

Домішка нікелю 0,2% маси уповільнює зростання зерна срібла. Вплив нікелю на подрібнення зерна срібла обґрунтовано тим, що в рідкому сріблі розчиняється 0,16% його маси, а в твердому сріблі при температурі 400°C розчиняється 0,012% маси нікелю. Таким чином при затвердінні срібла з розчиненим 0,16% маси нікелю виділяються його дрібні частинки, які збільшують центри кристалізації [2].

Введення міді створює стоп твердого розчину, що підвищує його твердість.

При температурі 600°C ітрій розчиняється в сріблі, після внутрішнього окислення твердість стопу складає Нв = 110 кгс/мм², внаслідок чого підвищується електроерозійна стійкість.

Бор в з'єднаннях з інгредієнтами стопу при внутрішньому окисленні створює дрібнозернисту структуру, завдяки чому підвищується електроерозійна стійкість [3].

Контактні матеріали типу CrH-0,1 застосовуються в контактах теплових реле і магнітних пускачах, що комутують струм до 10 А [2].

Таблиця 3. Хімічний склад срібного стопу типу CrH-0,1

Марка	Хімічний склад, %					
	Срібло, не менше	Домішки, не більше				Всього
		Мідь	Нікель	Фосфор	Берилій	
CrH-0,1	99,768	0,12	0,1	0,003	0,009	0,232

При комутації струму срібло на робочій поверхні контакту (табл.3) розтоплюється й поглинає кисень із повітря, який бурхливо виділяється при застиганні срібла і його розбризкує. Мідь усуває даний ефект за рахунок поглинання кисню із розтопленого срібла і зменшує його розбризування, що підвищує електроерозійну стійкість контактів.

Мідь із сріблом утворюють твердий розчин і підвищують його міцність.

Введення нікелю подрібнює зерна срібла і структура стопу стає дрібнозернистою, а це підвищує міцність і твердість. Для розкислення стопу вводять фосфор, після чого злитки прокатують і виготовляють контакти необхідної форми [3].

Срібні стопи CrM-0,2 та CrH-0,1 є малолегованими, вони містять до 1 % (за масою) легуючих компонентів, які надають стопам необхідні властивості щодо комутації струмів низького і середнього рівня: високу електро- та теплопровідність, ерозійну стійкість і зносостійкість.

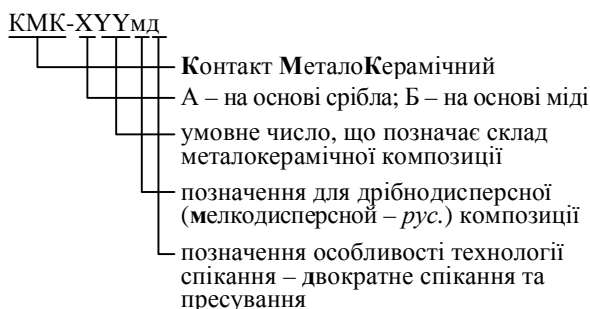
Застосування методів порошкової металургії дозволяє створити так звані металокерамічні контакти (МК), які у певній мірі задовольняють більшості суперечливих вимог до стикових контактів комутаційних апаратів та апаратів керування та компенсують недоліки стопів: невелику міцність, схильність до місткостворення і зварювання, сульфідна корозія..

Металокерамічними називають контакти, виготовлені методом твердофазного спікання суміші порошків різних металів та окисів, підібраних у певних пропорціях. Технологія виготовлення металокерамічних контактів передбачає такі етапи:

- змішування (вібросмішування) порошків у заданих пропорціях;
- пресування;
- спікання при температурі, яка є меншою за температуру топлення компонентів;
- опресування та повторне спікання з метою ущільнення і надання контактам остаточної форми

Основними перевагами металокерамічних контактів перед контактами, виготовленими з чистих металів та стопів є майже повна безвідходність та можливість отримувати властивості контактних матеріалів, які є непритаманними чистим металом та стопам.

Ефективність застосування металокерамічних контактів виявилася настільки значною, що в СРСР був створений державний стандарт, який регламентував основні різновиди й склад металокерамічних контактів – ГОСТ 19725-74 [4]. За цим стандартом металокерамічні контакти мали позначатися так:



Сферою дії ГОСТ 19725-74 були контакт-деталі, які містять срібло з підшаром і без підшару та виготовлені методом твердофазного спікання для замикання й розмикання електричних кіл в комутаційних апаратах напругою до 1000 В. Цей стандарт передбачав випуск підприємствами СРСР композицій, марки яких наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Склад металокерамічних композицій за ГОСТ19725-74

Марка контакту	Масова частка матеріалу, %						
	Срібло	Оксид кадмію	Оксид міді	Нікель	Графіт	Кадмій	Залізо
КМК-А00	99,9	–	–	–	–	–	–
КМК-А10м	85+/-0,5	решта	–	–	–	–	–
КМК-А20м	90+/-0,5	–	решта	–	–	–	–
КМК-А30	70+/-0,5	–	–	решта	–	–	–
КМК-А30м	70+/-0,5	–	–	решта	–	–	–
КМК-А30мд	70+/-0,5	–	–	решта	–	–	–
КМК-А31	60+/-0,5	–	–	решта	–	–	–
КМК-А31м	60+/-0,5	–	–	решта	–	–	–
КМК-А33мд	69+/-0,5	–	–	29	2+/-0,3	–	–
КМК-А40	95+/-0,5	–	–	–	решта	–	–
КМК-А41	97+/-0,5	–	–	–	решта	–	–
КМК-А50	76+/-0,5	–	–	0,8+/-0,1	–	решта	0,4+/-0,1
КМК-А32	68+/-0,5	–	–	29	3+/-0,3	–	–

Серед найбільш розповсюджених металокерамічних композицій слід зазначити такі:

А00 – чисте срібло (не менш 99,9%), якщо контакт виготовлено за технологією МК;

А10 – 85,0±0,5% срібла, решта – окис кадмію (у ГОСТ 19725 наводиться лише позначення для дрібнодисперсної композиції – А10м), стара назва – СОК15;

А30 – 70,0±0,5% срібла, решта – нікель, стара назва – СН30; (у ГОСТ 19725-74 наводиться також позначення для дрібнодисперсної композиції – А30м, а також А30мд – для композиції, яка передбачає подвійне спікання).

Контакт марки КМК-А30 має високу електроерозійну стійкість (в порівнянні зі сріблом) і низький стабільний перехідний опір. Дрібнодисперсний контактний матеріал з розміром частинок 1 мкм (КМК-А30м) має електроерозійну стійкість в 1,5 ... 2 рази вищу ніж матеріал з частинками 10 ... 100 мкм (КМК-А30).

Стабільність перехідного опору контактів КМК-А30 пояснюється властивостями поверхневих плівок, що утворюються на робочих поверхнях контактів. Нікель, окислюючись на повітрі під дією електричної дуги, утворює оксиди різного складу, які не утворюють стопів між собою і утворюють різномірні тонкі плівки.

Основний недолік контактів марки КМК-А30 – низька стійкість до зварювання при комутації струму. Для збільшення стійкості до зварювання при перевантаженнях та струмах короткого замикання контакти марок КМК-А30м використовують у парі з контактами КМК-А41.

Контакти КМК-А41 мають високу стійкість до зварювання при перевантаженнях та струмах короткого замикання, низький й стабільний перехідний опір. Недолік матеріалу – низькі твердість і міцність, які знижують електроерозійну стійкість. Тому композиції марки КМК-А41 (на нерухомих контактах) застосовують в парі з контактами КМК-А30 (на рухомих контактах), наприклад, у відмикачах з робочими струмами до 160 А.

У відмикачах з більшими робочими струмами композиція КМК-А41 не забезпечує необхідну електроерозійну стійкість, тому в таких апаратах для нерухомих контактів застосовують інші композиції. Зокрема, у відмикачах А3700 для нерухомих контактів застосовується композиція марки КМК-А33м, а на рухомих контактах – КМК-А30м.

У якості матеріалу нерухомого контакту в деяких відмикачах застосовується металокерамічна композиція КМК-А33мд, яка містить 69% срібла, 29% нікелю та 2% графіту, який підвищує лугостійкість та зменшує схильність контактів до зварювання.

Донедавна в контакторах широко застосовувалися однорідні контакти марки КМК-А10 (85% срібла та 15% оксиду кадмію), яка має унікальну дугогасну здатність, стабільність контактного опору, а також відносно високу стійкість до ерозії та зварювання.

Високі дугогасні властивості цієї композиції зумовлені низькою температурою сублимації CdO, яка становить 700°C і є нижчою температури топлення срібла – 960,5°C. Стабільність контактного опору забезпечується низькою термічною стійкістю CdO, в результаті контактні поверхні виявляються вільними від накопичень оксидів.

Інтенсивний розпад CdO відбувається при температурі вище 1000°C з виділенням значного об'єму газоподібного кисню і парів кадмію – об'єм газоподібного кисню і парів кадмію перевищує об'єм твердого CdO приблизно у 10 000 разів. Таке бурхливе виділення кисню та кадмію механічно видає дугу, примушуючи її переміщуватися по робочій поверхні контактів. В той же час дуга горить в атмосфері парів кадмію і кисню, потенціал іонізації яких вище ніж парів срібла (потенціал іонізації атомів срібла становить 7,54 В, кадмію – 8,96 В, кисню – 13,55 В), внаслідок чого дуга в середовищі продуктів дисоціації CdO гасне швидше ніж в парах срібла.

Внаслідок дуже швидкого пересування дуги по робочим поверхням мікроструктура основної маси контактів не змінюється і тим самим забезпечується їх термічна стійкість.

Оксид CdO, який утворюється внаслідок зворотної реакції окислення парів кадмію в області більш низьких температур при гасінні дуги, осідає на робочій поверхні контактів, перешкоджаючи їх зварюванню при замиканні.

Нажаль, цей чудовий матеріал (для комутаційних апаратів і у першу чергу для контакторів, які повинні мати дуже високу електричну зносостійкість) являється токсичним і входить до переліку матеріалів, не рекомендованих до застосування європейською Директивою 2002/95/EU (RoHS directive – Restriction of Hazardous Substances) [6] та низкою вітчизняних нормативних документів. Зокрема, Державні санітарні правила та норми ДСанПіН 2.2.7. 029-99 відносять кадмій до речовин I-го класу небезпеки (надзвичайно небезпечних речовин) [5].

Ця обставина спонукає до активних досліджень в напрямі пошуку альтернативних до КМК-А10 матеріалів й виходити за межі рекомендацій старого стандарту (ГОСТ 19725-74). Відтак змінюються й позначення металокерамічних композицій.

В деяких електромагнітних пусках на струми 10 та 16 А відкрито виконання (ступінь захисту IP00) наразі застосовують контакти марки СрН10. Цей композиційний матеріал контактів містить 90% (за масою) срібла та 10% нікелю. Він має низький та стабільний перехідний контактний опір, а також відносно високу (хоча й меншу ніж у КМК-А10м) ерозійну стійкість.

Низький перехідний опір забезпечується тим, що хоча при нагріванні до 500°C нікель й окислюється, але окисна плівка виявляється тонкою і слабо утримується на робочій поверхні контакту, до того ж при навіть незначній механічній дії руйнується.

В контактному матеріалі СрН10 срібло й нікель майже не змішуються між собою ані в твердому, ані в рідкому стані, а незначний відсоток нікелю, який все ж таки розчиняється в сріблі, дає можливість отримати дрібнозернисту структуру срібла, яка значно підвищує електроерозійну стійкість контактів і знижує їх схильність до зварювання.

ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ КОНТАКТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Проблема заміни оксиду кадмію на матеріали, які не є токсичними, є дуже актуальною не тільки для нашої країни, а й в усьому світі. Зокрема, в Доповіді Ради Керівників Програми ООН із захисту довкілля (UNEP

[7] відзначається, що «... кадмій, як і раніше, створює проблеми для країн, що розвиваються та для країн з перехідною економікою, у яких відсутній достатній потенціал для забезпечення екологічно обґрунтованого регулювання та видалення цих речовин...».

Численні дослідження, проведені науковцями у різних країнах [8], показали можливість застосування в електричних контактах замість оксиду кадмію оксидів інших металів, серед яких особливу увагу привертає екологічно безпечний оксид олова.

Композиції срібла з кількістю оксиду олова (SnO₂) 8, 10, 12% маси в останні роки знаходять все більш широке застосування як контактні матеріали для низьковольтних комутаційних апаратів.

Основний недолік такого матеріалу полягає в тому, що робочі поверхні контактів зазнають окислення оксидом олова при довготривалому проходженні струму при замкнених контактах, що призводить до перегріву матеріалу та суттєвого підвищення перехідного опору [9].

Вказаний недолік може бути подоланий введенням у металокерамічну композицію спеціальних домішок [10, 11,12].

Для запобігання утворенню на робочій поверхні окисленого термостабільного шару оксиду олова був розроблений новий композиційний контактний матеріал, який включає наступні інгредієнти: 81,5% Ag + 12% SnO₂ + 4% In₂O₃ + 2% Zr + 0,5% WO₃ [10].

На рис. 8 показані результати експериментальних досліджень електричної ерозії серійних і дослідних зразків контакт-деталей в магнітних пусках ПМЛ-3121 04Б в залежності від числа циклів та складу інгредієнтів при робочому струмі 40 А, робочій напрузі 380 В, в категорії застосування АС-3.

Серійна пара контактів типу КМК-А10м має знос 59 мг за 100 тис. циклів комутацій.

Введення 12 % мас. оксиду олова внутрішнім окисленням у срібну матрицю (замість 15% оксиду кадмію) дозволило знизити електричну ерозію матеріалу на 13,5% у порівнянні з КМК-А10м, але нажаль цей матеріал має більший, ніж у КМК-А10м перехідний опір (див. вище).

Введення в матрицю оксиду вольфраму (WO₃) в кількості 0,5 % мас. запобігає утворенню термостабільного шару оксиду олова з високим питомим опором ($\rho = 4 \cdot 10^4$ Ом·м) [13] за рахунок того, що розтоплені краплі WO₃, які мають відносно низьку температуру топлення (melting) ϑ_m (для WO₃ $\vartheta_m = 1470^\circ\text{C}$), обволікають тверді частинки SnO₂ (для SnO₂ $\vartheta_m = 1900^\circ\text{C}$) та утворюють волокнистість розтопленого срібла, де волокнами є частинки SnO₂ покриті WO₃ [14]. Одночасно, введення цього інгредієнту забезпечує зниження електричної ерозії матеріалу майже на 29% у порівнянні з серійними контакт-деталлями КМК-А10м.

Введення у композицію оксиду індію (In₂O₃) дозволяє рівномірно розподіляти дрібнозернисті оксиди олова в срібній матриці і прискорювати дифузію олова у матрицю при виготовленні контактного матеріалу [15]. Додаткове введення в матрицю ще й цирконію дозволяє створити композиційний матеріал, з електричною ерозією на 40% меншою ніж у серійних контакт-деталей, виготовлених з КМК-А10м. Це досягається за рахунок поглинання кисню із розтопленого срібла внаслідок дії електричної дуги, що призводить до зменшення часу її горіння та розбризкування рідкого срібла [16].

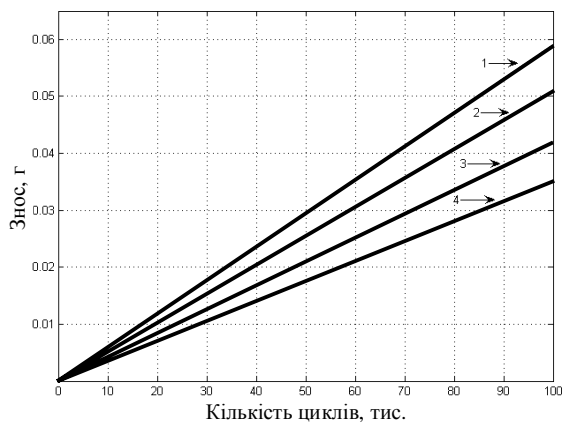


Рис. 8 Електрична ерозія серійних і дослідних зразків контакт-деталей магнітного пускача ПМЛ – 3121 04Б в залежності від числа циклів комутацій:

- 1 – серійні контакт-деталі КМК-А10мд;
- 2 – дослідний зразок Ag–SnO₂ (12 % мас.);
- 3 – дослідний зразок Ag–SnO₂ (12 % мас.)–In₂O₃ (4 % мас.)–WO₃ (0,5 % мас.);
- 4 – дослідний зразок Ag–SnO₂ (12 % мас.)–In₂O₃ (4 % мас.)–Zr (2 % мас.)–WO₃ (0,5 % мас.)

ВИСНОВКИ

Проведений огляд контактних матеріалів показує, що створення більш універсальних матеріалів на сьогодні пов'язане з розробкою гетерогенних систем – композиційних матеріалів, компоненти яких, не змішуючись один з одним, забезпечують необхідний набір властивостей відповідно до вимог, що висувають до електричних контактів комутаційних апаратів.

Одним із перспективних напрямків удосконалення металокерамічних композицій для контактних комутаційних елементів є композиції срібло-оксид олова із спеціальними домішками.

На основі проведених досліджень було знайдено склад матеріалу, який має дрібнодисперсну структуру з рівномірним розподілом оксидів по матриці. Електроерозійна стійкість нового матеріалу в 1,6 рази вища ніж у серійних контактах з композиції КМК-А10м. В новому матеріалі відсутній токсичний інгредієнт оксид кадмію, і він відноситься до екологічно-безпечних композиційних контактних матеріалів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В.М. Мальшев, Д.В.Румянцев. Серебро. – М.: Изд-во «Книга», 1987, 319с.
2. Мастеров В.А., Саксонов Ю.В. Серебро, сплавы и биметаллы на его основе. Справочник. – М.: 1979, 295с.
3. В.В.Усов. Металловедение электрических контактов. – М.: Изд-во «Книга», 1963, 207с.
4. ГОСТ 19725-74. Аппараты электрические коммутационные. Контакты на основе серебра.
5. Державні санітарні правила та норми України ДСанПіН 2.2.7. 029-99.
6. <http://www.rohs.eu>
7. Организация Объединенных Наций. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Доклад Совета управляющих. Двадцать пятая сессия (16–20 февраля 2009 года). Генеральная Ассамблея. Официальные отчеты. Шестидесят четвертая сессия. Дополнение.
8. Афонин М.П., Овчинникова М.Н. Контакт-детали и контактные материалы из композиций серебро-оксид олова. – Электрические контакты и электроды // Труды Института материаловедения НАН Украины. – Киев, 2004, с. 119 – 124.
9. Е.П. Данелия, В.М. Розенберг. Внутренне окисленные сплавы. – М.: Изд-во «Металлургия», 1978, 282с.

10. Патент України на корисну модель №18931 від 15.11.2006 р. Спечений матеріал для електричних контакт-деталей.
11. Патент України на винахід №93778 від 10.03.2011р. Матеріал для електричних контактів комутаційних апаратів.
12. Патент України на корисну модель №47346 від 25.01.2010 р. Спечений матеріал для електричних контакт-деталей.
13. Физико-химические свойства окислов. Справочник. – М.: Изд-во «Металлургия», 1978, 472с.
14. Rieder W., Weichsler V. Make erosion on AgSnO₂ and AgCdO contacts in commercial contactors // IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology. – 1991, №2.-p.298-303.
15. Окисление металлов. Том 2, под ред. Ж. Бенара. – М.: Изд-во «Книга», 1969, с.
16. Л.Б. Зубков. Металл золотоцветного камня. – М.: Изд-во «Наука», 1989, 154с.

Bibliography (transliterated): 1. V.M. Malyshev, D.V.Rumjancev. Serebro. – М.: Изд-во «Книга», 1987, 319s. 2. Masterov V.A., Saksonov Ju.V. Serebro, splavy i bime-tally na ego osnove. Spravochnik. – М.: 1979, 295s. 3. V.V.Usov. Metallovedenie jelektricheskikh kontaktov. – М.: Изд-во «Книга», 1963, 207s. 4. ГОСТ 19725-74. Apparaty jelektricheskie kommutacion-nye. Kontakty na osnove serebra. 5. Derzhavni sanitarni pravila ta normi Ukraini DСанПіН 2.2.7. 029-99. 6. <http://www.rohs.eu> 7. Organizacija Ob'edinennyh Nacij. Programma Organi-zacii Ob'edinennyh Nacij po okruzhajuwej srede. Doklad Soveta upravljajuwih. Dvadcat' pjataja sessija (16–20 fevralja 2009 goda). General'naja Assambleja. Oficial'nye otchety. Shest'desjat chetvertaja sessija. Dopolnenie. 8. Afonin M.P., Ovchinnikova M.N. Kontakt-detali i kon-taknye materialy iz kompozicij serebro-oksид olova. – Jelektricheskie kontakty i jelektrody // Trudy Instituta ma-terialovedenija NAN Ukrainy. – Kiev, 2004, s. 119 – 124. 9. E.P. Danelija, V.M. Rozenberg. Vnutrenne oksislennye splavy. – М.: Изд-во «Metallurgija», 1978, 282s. 10. Patent Ukraini na korisnu model' №18931 vid 15.11.2006 r. Spechenij material dlja elektrichnih kontakt-detalej. 11. Patent Ukraini na vinahid №93778 vid 10.03.2011r. Material dlja elektrichnih kontaktiv komutacijnih aparativ. 12. Patent Ukraini na korisnu model' №47346 vid 25.01.2010 r. Spechenij material dlja elektrichnih kontakt-detalej. 13. Fiziko-himicheskie svojstva oksidov. Spravochnik. – М.: Изд-во «Metallurgija», 1978, 472s. 14. Rieder W., Weichsler V. Make erosion on AgSnO₂ and AgCdO contacts in commercial contactors // IEEE Transactions on Compo-nents, Hybrids and Manufakturung Technology. – 1991, №2.-p.298-303. 15. Okislenie metallov. Tom 2, pod red. Zh. Benara. – М.: Изд-во «Книга», 1969, s. 16. L.B. Zubkov. Metall zlatocvetnogo kamnja. – М.: Изд-во «Наука», 1989, 154s.

Надійшла 03.06.2011

Клименко Борис Володимирович, д.т.н, проф.
 Національний технічний університет
 "Харківський політехнічний інститут"
 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
 НТУ "ХПІ", кафедра "Електричних апаратів"
 тел. (057) 707-62-81, e-mail: kbv@kpi.kharkov.ua

Кохановський Василь Олександрович
 Національний технічний університет України
 "Київський політехнічний інститут",
 Україна, 03056, Київ, вул. Янгеля 1/37,
 кафедра "Поліграфічні машини", тел. (097) 18 76 771,
 e-mail: kohv@vpf.ntu-kpi.kiev.ua

Klymenko B.V., Kohanovs'kij V.O.

Review and prospects of materials for contacts electric equipment low voltage.

The characteristics of materials for contact terminals, as well as the properties and composition of composite materials in the contact elements of the most common types of electromechanical switching devices. Privat-dyatsya data on the new wear resistant and environmentally safe composite contact material.

Key words – contact elements, electromechanical switching devices, composite, characteristics of materials.