

ограничений на управления и при любых связях между переменными; методы основанные на достаточных условиях В.О. Кротова [2] в случаях когда решения вариационных задач с учетом ограничений на управление и фазовые координаты не определяется принципами максимума (например, в случаях когда управления входят в функцию типа Гамильтона - линейно-вырожденные вариационные задачи); методы динамического программирования [1], когда из множества допустимых управлений $\bar{u}_{дон}$ находится управление \bar{u} , которое переводит технологическую систему из начального состояния $\bar{x}_0 \in \bar{x}_{дон}$ в конечное $\bar{x}_{кон} \in \bar{x}_{дон кон}$ так, чтобы некоторый критерий $K(u)$ обращался в максимум; численные методы поиска экстремума функции одной или нескольких переменных $\Phi(\bar{u})$ (регулярные методы поиска экстремума) [6].

3. Заключение. Рассмотрен ряд вопросов разработки общих принципов синтеза технологических процессов изготовления многопараметрических зубчатых передач. Предложена математическая модель и возможные методы оптимизации технологических процессов в зависимости от наличия и вида ограничений.

Список литературы: 1. Беллман Р. Динамическое программирование. Пер. с англ., под ред. Н.Н. Воробьева - М.: Из-во иностранной литературы. 1960. 2. Кротов В.Ф. Методы решения вариационных задач на основе достаточных условий абсолютного минимума - М.: «Автоматика и телемеханика», 1959. №12. 3. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с. 4. Михайлов А.Н., Грубка Р.М. К вопросу чистовой обработки зубьев втулок зубчатых муфт с пространственной модификацией. // Сборник трудов XII международной научно технической конференции – В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. т.2.-с.275-276. 5. Понтрягин Л.С. и др. Математическая теория оптимальных процессов. М: ФизМАТ-ГИЗ, 1961. 6. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума - М.: Из-во: «Наука», 1967. 7. Финиченко В.А. Пространственная модификация зубьев цилиндрических зубчатых колес.// Весник ДонГАСА. – Макеевка: ДонГАСА. 2004. – Вып. 5(47). – С.97-100. 8. А.С. 1333486 СССР В23 F19/00. Способ обработки зубчатых колес с бочкообразным зубом и устройство для его осуществления / В.А. Финиченко, В.И. Ажажа, А.Н. Михайлов, А.М. Завадский, Н.Э. Тернюк (СССР). – 3653161/25-08 заявлено 17. 10.83. Опубл. 30.08.87.-Бюл. № 32, с.4.

Сдано в редакцию 16.05.06
Рекомендовано д.т.н. Седуш В.Я.

ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НА ТЕХНОЛОГІЮ ОТРИМАННЯ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТІВ

Чайка В.О., Філіппов Д.А. (ЗІЕІТ, ЗДНУ, м.Запоріжжя, Україна)

The research considers the influence of the mechanic activated treatment of copper powder in the mid-energetic vibrating ball mill on the processes of the casting, pressing and compacting in electric contact production.

У зв'язку з великим обсягом виробництва різноманітних електричних комутаційних пристроїв в останні кілька десятиліть залишається високий попит на матеріали для електроконтактів.

Незважаючи на появу безконтактних засобів керування електричними колами, однією з численних груп електричних контактів є розривні контакти, що експлуатуються в різних умовах при багаторазовому замиканні, розмиканні і переключенні електричних кіл, найчастіше протягом короткого часу. Комутація супроводжується дуговими й іскровими процесами, що призводять до нагрівання контактів, зниженню їхніх механічних властивостей за рахунок рекристалізації і пластичної деформації, а також прискорення хімічних процесів зносу контактів. Тому до контактних матеріалів пред'являються вимоги, які найчастіше виключають один одного [1, 2, 3].

Пропоновані контакти з міді марки М1 недорогі, але мають незадовільну стійкість через низьку температуру рекристалізації міді навіть у нагартваному стані. До контактів з підвищеною стійкістю відносяться контакти з напайками із срібловміщуючих сплавів або псевдосплавів типу МДК. Вони здатні працювати тривалий час, але мають високу вартість.

Зараз набули широкого поширення порошкові технології виробництва, які в основних рисах однакові: змішування порошоків основи та легуючих компонентів, пресування заготовок, їхнє спікання, друга обробка тиском (допресування, прокатка, екструзія і т.д.), відпал, механічна обробка (при необхідності). В результаті метал-зміцнювач перетворюється в тонкодисперсійні частки оксиду з високою рівномірністю розподілу по об'єму [4], що забезпечує високі якості матеріалу.

Однією з нових технологій є механоактиваційна обробка (МАО) вихідних порошоків. У літературі описані технології одержання контактних матеріалів на основі міді і срібла з застосуванням МАО в млинах різного типу. Обробка триває від декількох хвилин до десятків годин у різних середовищах (повітря, водень, аргон, вакуум). У результаті досягається однорідний розподіл легуючих компонентів в матриці або формування фази або аморфної структури матеріалу [5, 6, 7].

У джерелах [8, 9] наводяться звіти про матеріали електроконтактів різного призначення, отриманих із застосуванням механоактиваційної обробки на повітрі вихідних порошоків. Основою матеріалу - порошкова мідь, що легують порошки Al, Ti, C, O. У процесі обробки відбувається утворення оксидів титану одночасним відновленням окислів міді. Розмір дисперсійно-зміцнюючих часток 0,02 – 0,04 мкм. Остаточні властивості виробам надаються в процесі гарячого пресування або екструзії. Дані матеріали мають у порівнянні з традиційними підвищений ресурс роботи і невисоку вартість. В джерелі [10] наведено дані про одержання міді, зміцненої дрібнодисперсною Al_2O_3 . Технологічний процес включає високоенергетичну МАО, під час якої мідь легувалася алюмінієм. Отриманий матеріал зберігає твердість при температурах понад 800 °С.

Таким чином, у силу можливостей, які має порошкова металургія, є доцільним продовжувати роботи зі створення металокерамічних матеріалів для електроконтактних виробів із застосуванням нових технологічних процесів, зокрема, МАО у кульовому млині вихідних порошоків перед пресуванням.

Цей метод дозволяє варіювати хімічний склад у широких діапазонах, що перевищує межі розчинності, одержувати матеріали з різним фазовим і структурним станом. Процеси інтенсивної деформації під час багаторазового механічного перемішування (зіткнення), контактне зварювання, пресування і видавлювання складової суміші, які протікають у кульовому млині при МАО, дозволяють виготовляти сплави заданого фазового складу з характерною мікроструктурою, що забезпечує необхідний рівень властивостей.

З огляду конструкцій та характеристик млинів, що застосовуються дослідниками, можна зробити такі узагальнення: а) для досліджуваної групи сплавів переважно застосовуються високоенергетичні кошові планетарні і вібраційні кульові млини і їх комплекси; б) удосконалення технологій обробки у таких млинах спрямовано на підвищення енергії, що вноситься у матеріал, за рахунок підвищення швидкості обертання, частоти і амплітуди

вібрації, ускладнення характеру руху помольних тіл. Такий підхід робить важким фіксацію станів у системі, що зазнає стадійних перетворень.

Мета роботи – дослідити, як механоактиваційна обробка порошків на основі міді в середньо енергетичному вібраційному кульовому млині впливає на процеси спікання, пресування та ущільнення при виробництві електроконтактів та перевірити можливість використання обробленого порошку як легуючого компонента для готування шихти.

У роботі проводилися дослідження з використання середньо енергетичних вібраційних млинів для MAO порошків. Переваги цього виду устаткування в його простоті, безпеці, можливості регулювати процеси, що проходять у робочому просторі млина. Використовувалася розроблена конструкція млина на базі типового вібратора типу вібродошки. Конструкція являє собою металевий каркас у вигляді столу зі знімними чотирма циліндрами. Поверхня столу спирається на чотири пружини, зв'язані з з'єднаними між собою чотирма стійками. На стійках встановлено вібратор, неврівноважені маси валу якого дозволяють поверхні столу робити вертикальні коливальні рухи з частотою вібрації 11 Гц і амплітудою не більше 6 мм. Циліндри, встановлені в млині, мали об'єм 1000 см³. Коефіцієнт заповнення циліндра кульками 0,75. Співвідношення маси кульок і маси шихти 20:1. Маса шихти в циліндрі \approx 300 г.

З метою збільшення ефективної поверхні зіткнень куль в роботі було запропоновано і розрахунками обґрунтовано, застосування набору куль, діаметри яких співвідносилися б як діаметри пор в щільно упакованій структурі ґратки типу ГЦК. З набору стандартних діаметрів куль були відібрані ті, які відповідали співвідношенню радіусів $R: 0,41R: 0,225R$, але з деяким допуском, щоб куля меншого діаметру, що попала до пори в укладці куль найбільшого діаметру, могла виконувати коливальні рухи. Як показали результати комп'ютерного моделювання співвідношення діаметрів куль оптимального набору для заданого млину 15:5:3, і кулі меншого діаметру при своєму русі в порах вносять енергетичний вклад $\sim 10\%$ всіх енерговиділень, але при цьому вони розвивають лінійну швидкість у 3-4 рази більшу, ніж основні кулі. Таким чином, кулі меншого діаметру мають підвищену кінетичну енергію, яка передається частинці подрібнюю чого матеріалу.

Запропонована в роботі зупинка в режимі обробки кожної години на півгодини забезпечує не тільки вирівнювання температури між частинками порошку та кулями, тепловідвід від найбільш нагрітих ділянок системи до менш нагрітих, а і релаксаційні процеси в MAO матеріалі та фіксацію спектра проміжних метастабільних станів.

На першому етапі досліджень визначався вплив MAO на основні технологічні характеристики шихти. Як матеріал для досліджень були обрані склади $\text{Cu}+1\% \text{Cd}+1\% \text{Al}_2\text{O}_3$ і $\text{Cu}+25\% \text{Cd}+25\% \text{Al}_2\text{O}_3$. Тривалість MAO для кожного з матеріалів склала 0,5, 1 і 3 години. Оцінювалася можливість хімічного легування і дисперсійного зміцнення мідного порошку при MAO. А також перевірялася можливість використання MAO порошку $\text{Cu} + 25\% \text{Cd} + 25\% \text{Al}_2\text{O}_3$ як легуючого компонента для шихти мідних електроконтактів.

Для порівняння властивостей шихти з і без MAO були підготовлені 2 партії шихти (1-й і 2-й складів) із застосуванням змішувача. Контрольна проба змішувалася в плужковому змішувачі протягом 1 години. Маса контрольної проби 2 кг.

На перший погляд вибір складу матеріалу $\text{Cu}+1\% \text{Cd}+1\% \text{Al}_2\text{O}_3$ для розривних електроконтактів викликає сумніви. Як відомо, Al_2O_3 під впливом теплового потоку дугового розряду сегрегує та концентрується на поверхні. Випарування міді і кадмію (CdO за умов роботи на повітрі) призводить до розпушення структури та збільшенню схильності робочого шару до руйнування. Але, як показали дослідження, MAO дозволяє отримати матеріал, що не має вище наведених властивостей за рахунок структурних і фазових змін.

У роботі були отримані такі основні результати.

Після 0,5 години MAO складу Cu + 1% Cd + 1% Al₂O₃ відмічено потемніння шихти та отримання однорідного за розміром (≤ 40 мкм) порошку. При збільшенні часу обробки зберігається колір, характерний для мідного порошку, а найбільші розміри частинок збільшуються до 100 мкм. Для другого складу Cu + 25% Cd + 25% Al₂O₃ відмічена значна зміна кольору від попелясто-сірого (після 0,5 години MAO) до темно-сірого (після 1 години MAO) і майже чорного (після 3 годин MAO). Така зміна пов'язана зі значним окисленням частинок порошку. Відмічена також зміна форми часток, що впливає на властивості порошку. Так, для складу Cu + 1% Cd + 1% Al₂O₃ поряд з укрупненням частинок відмічається зміна форми часточок від дендритної до кулеподібної. А частинки порошку Cu + 25% Cd + 25% Al₂O₃ після MAO мають здебільшою форму луски та уламків.

Основні технологічні характеристики шихти були отримані при вимірюванні сипучості, щільності та густини порошку після пресування, спікання, допресування, а також твердості зразків виробів.

Сипучість порошкового матеріалу істотно впливає на можливість виготовлення виробів складної форми або виробів, що мають співвідношення висоти та ширини більше 3. Метод визначення сипучості (ДЕРЖСТАНДАРТ 20899-75, СТ СЕВ 2285-80) базується на реєструванні часу висипання порошоків з воронки, що самовільно просипаються крізь калібрувальний отвір діаметра 2,5 мм. Маса кожної проби 50 г, кількість проб – не менше 10. Результати визначення сипучості наведені в таблиці 1. Зміна сипучості порошку пояснюється зміною форми часток.

Таблиця 1. Сипучість шихти

Час MAO, год.	Час висипання, с	
	Cu + 1% Cd + 1% Al ₂ O ₃	Cu + 25% Cd + 25% Al ₂ O ₃
0	Не сиплеться	16
0,5	Не сиплеться	Не сиплеться
1	7	Не сиплеться
3	3,5	Не сиплеться

Щільність є однією з основних властивостей матеріалу, що визначає технологічність виготовлення виробів. Визначення щільності виконувалось згідно СТ СЕВ 2283-80 та ДЕРЖСТАНДАРТУ 19440-74 із застосуванням воронки діаметром отвору 5 мм. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Щільність шихти (x 1000 кг/м³)

Шихта	Час MAO, год.			
	0	0,5	1	3
Cu + 1% Cd + 1% Al ₂ O ₃	1,91	3,26	3,24	3,19
Cu + 25% Cd + 25% Al ₂ O ₃	1,45	1,88	1,69	1,64

Згідно таблиці 2 щільність шихти Cu + 1% Cd + 1% Al₂O₃ збільшується на 70-75 %. Причому, зі збільшенням часу MAO щільність трохи зменшується. Порівняно з цим для шихти Cu + 25% Cd + 25% Al₂O₃ щільність збільшується лише на 15-30 %, що пояснюється складом шихти.

Подальші дослідження охоплювали процеси, що використовуються при виготовленні контактів: пресування, спікання і допресування зразків, шихти для яких попередньо піддавалася MAO. Зразки у формі контактів, на яких визначалися технологічні характеристики шихти, спочатку пресувалися під різними тисками: 200, 400 і 700 МПа; а потім спі-

калися при температурі $900^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ протягом 1,25 години. Спикання проводилося в контейнері з плавким затвором у засипці Al_2O_3 , прожареної при температурі 1100°C з додаванням 0,05% парафіну (для створення безокисної атмосфери). Режим спикання: посадка контейнера в піч при $t\ 300^{\circ}\text{C}$, витримка 2 години, підвищення температури до 600°C , витримка 1 година, підвищення температури до 900°C , витримка 1,25 години, витягнення контейнера з печі з охолодженням на повітрі.

У результаті огляду спечених зразків виявлено наступне:

1) зразки складу $\text{Cu}+1\%\text{Cd}+1\%\text{Al}_2\text{O}_3$ мають на поверхні кольорову мінливість, що свідчить про поверхневе окислювання матеріалу киснем, що лишився в контейнері під час спикання. Поверхня чиста, без слідів розплавлювання, здуттів, тріщин і випотівань.

2) зразки складу $\text{Cu}+25\%\text{Cd}+25\%\text{Al}_2\text{O}_3$ мають сіро-бурий колір зі змінами до більш темного зі збільшенням часу MAO. Поверхня зразків, що пресувалися при 200 МПа із шихти після 0,5 і 1 години MAO, а також спресованих при 700 МПа із шихти після 3 годин MAO, чиста, однорідна. В інших зразках на поверхні є сліди розплавлювання і випотівання матеріалу.

Таким чином, підбираючи склад матеріалу, час MAO та тиск пресування можна отримати матеріал, який при нагріванні не поводить себе так, як можна було чекати від матеріалу з Cd та Al_2O_3 . Тобто процеси розплавлення на поверхні, або здуття, розтріскування чи випотівання не спостерігалися.

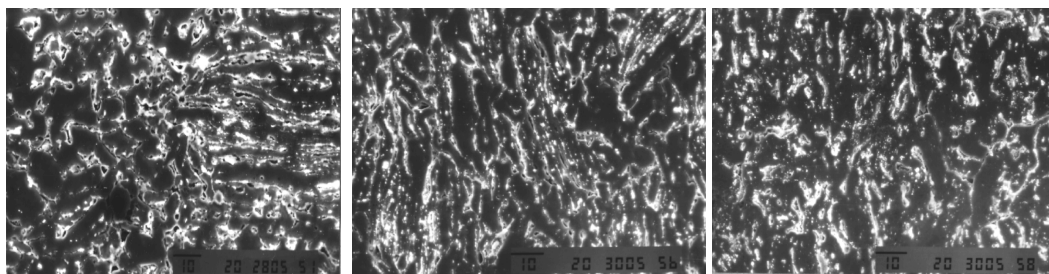
Для аналізу мікроструктури і розподілу елементів застосовували метод растрової електронної мікроскопії (РЕМ) і рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА). Дослідження мікроструктури зразків виконали на металографічних шліфах після електрохімічного травлення (анод – зразок) в електроліті, насиченим розчином хромового ангідриду в ортофосфорній кислоті при сталій напрузі протягом 10 с.

Роботу по дослідженню мікроструктури виконали на растровому електронному мікроскопі GSM T300 виробництва фірми GEOL (Японія), при напрузі прискорення 20 кВ, діаметрі електронного зонда 40 А з реєстрацією зображення у вторинних електронах.

Локальний аналіз складу зразків виконали методом РСМА за допомогою системи енергодисперсійного мікроаналізу PHOENIX виробництва фірми EDAX (США), встановленої на мікроскопі GSM T300. Аналіз розподілу хімічних елементів в зразках виконали шляхом реєстрації характеристичних елементів в режимі кватрирування.

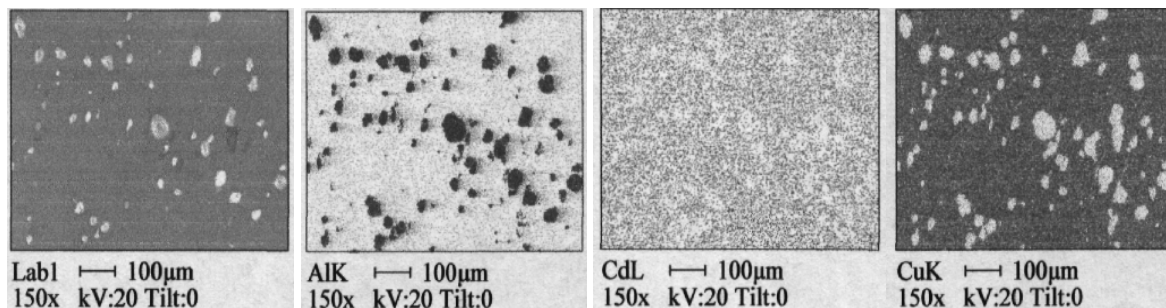
На рисунку 1 наведені зображення у вторинних електронах мікроструктури зразків, виготовлених з шихти після MAO, пресування при 200 МПа, спикання і допресування при 700 МПа. Зміна мікроструктури для інших зразків аналогічна. Для зразка з шихти після 0,5 год. MAO (рис.1-а) характерна частково шарувата мікроструктура, частково з рівноважних часток. Збільшення часу MAO до 1 год. (рис.1-б) приводить до шаруватої структури, причому товщина шару трохи збільшена. Для зразків з шихти після 3 год. MAO (рис.1-в) ми отримали мікроструктуру зі збільшеними розмірами частинок неправильної форми. Характерно, що довжина меж між частинками значно скорочується, що свідчить про взаємну дифузію між частинками.

Результати дослідження розподілу хімічних елементів у тих же зразках шляхом реєстрації характеристичних рентгенівських спектрів наведені на рисунках 2 – 4. На рис. 2 наведені зображення для зразка з шихти без MAO, але після пресування, спикання і допресування. На рис.2-а - зображення у вторинних електронах, 2-б – при Al-K_α випромінюванні, 2-в - при Cd-K_α випромінюванні і 2-г - при Cu-K_α випромінюванні. Темний фон свідчить про наявність відповідних хімічних елементів. Розподіл Cu, Al, Cd нерівномірний і при зіставленні зображення у вторинних електронах легко можна визначити, які частинки до якого складу відносяться.



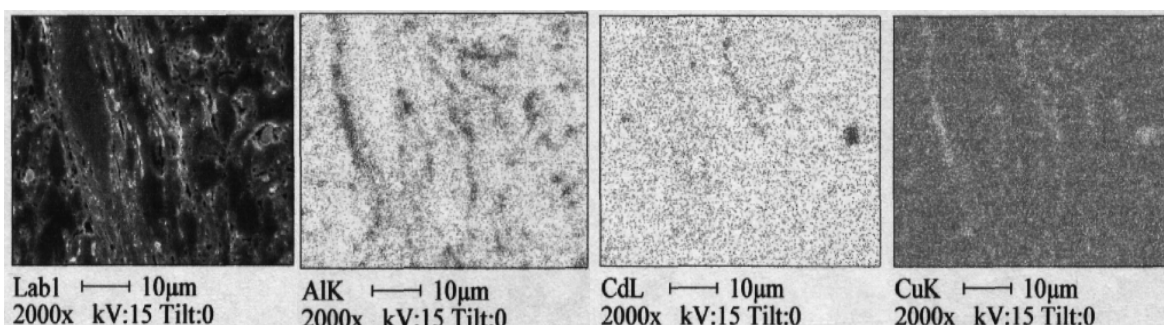
а) б) в)

Рис.1. Мікроструктура зразків з шихти після MAO, пресування, спікання і допресування



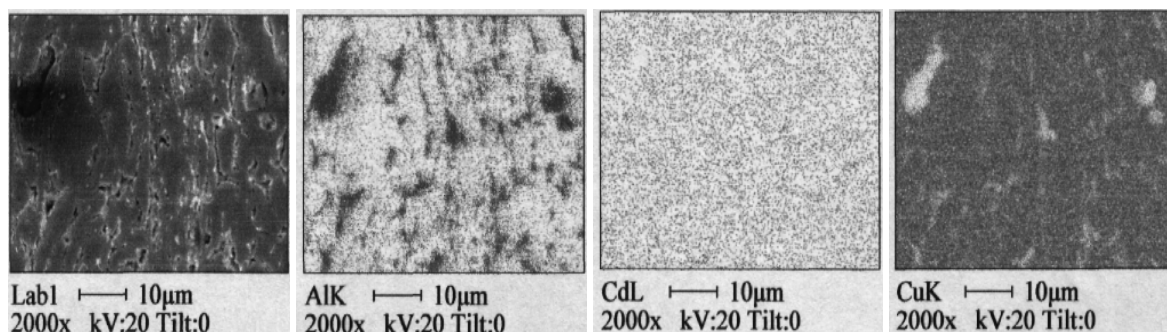
а) б) в) г)

Рис.2. Зображення зразка з шихти без MAO після пресування, спікання і допресування



а) б) в) г)

Рис.3. Зображення зразка з шихти після 0,5 год MAO після пресування



а) б) в) г)

Рис.4. Зображення зразка з шихти після 0,5 год MAO після пресування, спікання і допресування

На рисунку 3 наведені зображення для зразка з шихти після 0,5 год. MAO і пресування. Як і для зразка без MAO, на рис.3-а - зображення у вторинних електронах, 3-б – при Al-K $_{\alpha}$ випромінюванні, 3-в - при Cd-K $_{\alpha}$ випромінюванні і 3-г - при Cu-K $_{\alpha}$ випромінюванні. Хоча розподіл Cu, Al, Cd нерівномірний, проте немає чіткої межі між частинками Cu,

Al_2O_3 та Cd, що дозволяє говорити про взаємну дифузію хімічних елементів частинок під час MAO.

На рисунку 4 наведені зображення для зразка з шихти після 0,5 MAO, пресування, але вже й після спікання, і допресування. Як і для попередніх зразків, на рис.4-а - зображення у вторинних електронах, 4-б – при Al-K $_{\alpha}$ випромінюванні, 4-в - при Cd-K $_{\alpha}$ випромінюванні і 4-г - при Cu-K $_{\alpha}$ випромінюванні. Добре видно, що в зразку є місця, де наявні й Cu, й Al, а розподіл Cd майже рівномірний, що свідчить про збільшення взаємної дифузії.

Результати дослідження розподілу хімічних елементів для інших зразків аналогічні вже наведеним. Таким чином, MAO сприяє початку взаємної дифузії хімічних елементів частинок, а подальше спікання і допресування посилює її.

У результаті обмірювань, зважувань і розрахунків густини і усадки (росту) зразків, вимірювання твердості було встановлено, що час MAO і склад впливають на поведінку матеріалу.

В таблиці 3 наведено результати дослідження для шихти Cu+1%Cd+1%Al $_2$ O $_3$. Характерно, що для зразків, шихта яких піддавалася MAO, помітно якесь (до 6%) зменшення густини після спікання. Таке поведіння типове для мідного порошку. Після допресування при тискові 700 МПа густина зростає на 10 ÷ 30 %. При цьому змінюється твердість зразків, для деяких зразків твердість зростає на 15 ÷ 25 %.

Таким чином, підбираючи час MAO, тиск пресування і допресовуючи зразки можна підвищити густину і твердість зразків. Найбільш оптимальні результати були отримані для зразків з шихти Cu+1%Cd+1%Al $_2$ O $_3$ після 0,5 та 1 години MAO, які пресували під тиском 700 МПа, а потім спікали і допресовували. Хоча їх густина на 2,5 % менша за зразків без MAO, проте твердість зросла на 17÷ 27 %. Треба відзначити, що зразки з шихти після 3 годин MAO мають високу твердість та невисоку густину (у середньому на 1400 кг/м 3 менша), що, мабуть, пов'язане зі збільшенням твердості матеріалу та зі збільшенням кількості частинок матеріалу у вигляді уламків.

Визначення густини зразків з шихти Cu + 25% Cd + 25% Al $_2$ O $_3$ показало низьку густину, яка значно (до 45 %) знижується після спікання (див. табл. 4). Оскільки таку шихту не доцільно використовувати, подальші дослідження для цієї шихти не проводилися.

Таблиця 3. Технологічні характеристики шихти Cu+1%Cd+1%Al $_2$ O $_3$

Тиск пресування, Мпа	Час MAO, год	Густина, X1000, кг/м 3	Густина після спікання, X1000 кг/м 3	Густина після допресування, X1000 кг/м 3	Твердість, НВ
200	0	5,87	6,03	7,78	87
	0,5	6,64	5,9	7,53	90
	1	6,18	5,87	7,71	99
	3	5,26	5,22	6,33	86
400	0	7,06	7,02	7,92	87
	0,5	6,60	6,34	7,54	99
	1	6,89	6,73	7,74	90
	3	5,62	5,55	6,19	87
700	0	7,57	7,48	8,01	85
	0,5	7,41	7,40	7,81	108
	1	7,82	7,47	7,98	100
	3	6,39	6,26	6,60	107

Таблиця 4. Зміна густини шихти Cu + 25% Cd + 25% Al $_2$ O $_3$

Тиск пресування, МПа	Час MAO, год.	Густина, X1000 кг/м ³	Густина після спікання, X1000 кг/м ³
200	0	3,29	
	0,5	4,18	2,87
	1	4,12	3,38
	3	4,15	3,33
400	0	3,73	
	0,5	4,42	3,54
	1	4,44	4,06
	3	4,33	3,90
700	0	4,11	
	0,5	4,85	4,08
	1	4,78	4,22
	3	4,74	4,25

Таблиця 5. Технологічні характеристики шихти Cu + 4% (Cu + 25% Cd + 25% Al₂O₃)

Тиск пресування, МПа	Час MAO, год.	Густина, X1000 кг/м ³	Густина після спікання, X1000 кг/м ³	Густина після допресування, X1000 кг/м ³	Твердість, НВ
200	0,5	6,24	6,34	8,22	105
	1	6,38	6,51	8,21	103
	3	6,23	6,35	8,05	88
400	0,5	6,99	7,01	8,06	93
	1	7,10	7,10	8,11	87
	3	7,14	7,21	8,14	87
700	0,5	7,80	7,73	8,22	88
	1	7,85	7,83	8,26	88
	3	7,86	7,42	8,18	85

Для досліджень взяли склад, аналогічний Cu+1%Cd+1%Al₂O₃, для цього змішали 96 % мідного порошку ПМС-1 і 4 % суміші Cu+25%Cd+25%Al₂O₃ після MAO. Зразки цього складу у формі контактів також пресували під різними тисками, спікали і допресовували, як це робили для зразків складу Cu+1%Cd+1%Al₂O₃. У результаті огляду спечених зразків виявлено, що поза залежністю від часу MAO зразки мають зовнішній вигляд, аналогічний зразкам Cu+1%Cd+1%Al₂O₃. Результати визначення густини і твердості наведено в таблиці 5.

З таблиці 5 видно, що після спікання густина, за незначним винятком, не зменшується, а зростає. Після допресування густина значно зростає, в деяких випадках до 30 %. Результати досліджень також показують, що використання MAO порошоків в якості легуючого компоненту дозволяє істотно збільшити твердість порошоків, причому досить 0,5-1 години обробки і невисоких зусиль пресування 200 МПа.

Висновки

1. MAO у середньоенергетичному вібраційному млині дозволяє одержувати порошки на основі міді для електроконтактів з хорошими технологічними характеристиками.
2. MAO порошки можна використовувати як легуючий компонент для поліпшення технологічних характеристик.

3. Для обраного складу електроконтактів оптимальним є застосування МАО порошку після 0,5 години обробки як легуючого компоненту, пресування з тиском 200 МПа й подальше спікання і допресування.
4. Доцільно продовжити пошук оптимальної технології виготовлення електроконтактів з використанням МАО.

Список літератури: 1. Степанчук А.Н и др. Технология порошковой металлургии/ А.Н. Степанчук, И.И. Билык, П.А. Бойко. – К.:Выща шк. Головное изд-во, 1989.- 415с.:ил.

2. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник/ И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д.Радомысельский и др. – К.: Наук.думка, 1985.- 624 с. 3. Спеченные материалы для электротехники и электроники. Справочное издание. Гнесин Г.Г., Дубок В.А., Братерская Г.Н., Ковенский И.И., Левченко Г.В., Минакова Р.В., Падерно Ю.Б., Панасюк О.А., Теодорович О.К., Тульчинский Л.Н. – М.: Металлургия, 1981.-344 с. 4. Актуальные проблемы порошковой металлургии// Под.ред. Романа О.В. Арунагалама В.С.- М.: Металлургия, 1990.- 232с. 5. Сереброникелевые электрические контакты с повышенной износостойкостью. А.Б.Альтман, Ф.Х.Ариника, В.А.Бродов, Н. П. Мелашенко//Новое в электрометаллокерамике. Выпуск 2. М.: Информэлектро, 1971.- 55 с. 6. Свойства сереброникель-графитовых композиций с мелкодисперсной структурой для коммутирующих контактов. В. А. Бродов, Н. П. Мелашенко, Ф. Х. Ариника //Новое в электрометаллокерамике. Выпуск 2. М.: Информэлектро, 1971.- 55 с. 7. Аксенов А.А., Просви́ров А.С., Кудашов Д.В., Герман И.С. Структура и свойства композиционных материалов на основе Cu-Cr, полученных методом механического легирования.- Цветная металлургия, 2004, №6.- 234 с. 8. Шалунов Е.П., Довыденков В.А., Данилов Н.В., Коноплев В.Н. Внутренне окисленные и внутренне восстановленные дисперсно-упрочненные материалы на основе порошковой меди и их промышленное производство в России. //Международная конференция «Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии». - К.: НТУУ «КПИ», 1997.- 234 с. 9. Шалунов Е.П., Смирнов В.М., Гулако В.А. Влияние структуры и состава медных порошковых дисперсно-упрочненных материалов на их технологические характеристики. //Международная конференция «Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии». - К.: НТУУ «КПИ», 1997.- 234 с. 10. Green M.L., Coleman E., Boder F.E. and Sproles E.S. Formation of metastable phase equilibrium and amorphization by mechanical alloying // Materials Science and Engineering, 62 (1984), p. 231.

Сдано в редакцию 18.05.06

Рекомендовано д.т.н. Параскив Д.

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОЧНЫХ МЕТИЗОВ

Чернышев Е. А., Михайлов А.Н., Дворников В.И. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

The paper presents power analysis of a rotor for heading wire products. Geometric features and all components of general torque are analyzed. To a great extent, the following material is preparatory work for further investigation of torsion oscillations.

Производство проволочных метизов, к которым относятся, например, проволочные гвозди или заклепки, носит массовый характер и характеризуется большими объемами