

УДК 621.762.4

Г.А.Баглюк¹, О.І.Хоменко¹, В.Я.Куровський¹, А.О.Хоменко²¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України²НТУУ "Київський політехнічний інститут"

ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ "ТЕНЗОР" ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УЩІЛЬНЮВАНOSTІ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ ТА ЇХ СУМІШЕЙ

Розглянуто застосування комп'ютеризованого комплексу для дослідження ущільнюваності порошків міді та хрому у стані поставки та їх сумішей (30% Cr мас.) для виготовлення контактів електричних вакуумних вимикачів.

Ключові слова: *металевий порошок, ущільнюваність, тиск, густина.*

Створення матеріалів, що мають задані механічні та електричні властивості, методами порошкової металургії потребує знання характеристик ущільнюваності порошків та їх сумішей при пресуванні. Методика випробувань на ущільнюваність металевих порошків, викладена у ГОСТ 25280-90, передбачає визначення густини пресовки при п'яти фіксованих значеннях осьового зусилля. Застосування дискретних значень навантажування призводить до розбіжності початкових даних, що не дозволяє в повній мірі відтворити залежність густини отриманої заготовки від прикладеного тиску. У цьому розумінні перевагу мають методи, що базуються на безперервній реєстрації діаграми випробувань - залежності геометричних розмірів пресованої заготовки від прикладеного осьового зусилля.

Запропонований у роботі [1] метод оцифрування діаграми випробувань з паперового носія має два помітних недоліки: похибка початкових даних за рахунок сканування паперового носія з подальшим переведенням координат довільної точки у числові значення та похибка за рахунок допущення про рівномірний рух робочих органів випробувальної машини.

Застосування апаратно-програмного комплексу "ТЕНЗОР" [2] дозволяє уникнути цих недоліків або принаймні мінімізувати похибку від їх впливу на результати випробувань. Вказаний комплекс дозволяє отримувати у фіксовані моменти часу з інтервалом 100 мс значення осьового зусилля та переміщення робочого органу випробувальної машини, а значить - пуансона у прес-формі. Оскільки геометричні розміри прес-форми під час випробувань вважаються незмінними, то переміщення пуансона однозначно визначає зміни геометричних розмірів пресованої заготовки, а осьове зусилля - прикладений тиск. Пари значень зусилля - переміщення, зафіксовані відповідними датчиками у вказані моменти часу, після перетворення у цифрові сигнали, вводяться безпосередньо до комп'ютера як тривимірний масив. Цей масив являє собою запис діаграми випробувань у цифровій формі. В залежності від поставленої задачі цю первинну діаграму можна використовувати як для визначення механічних характеристик матеріалу, так і для визначення ущільнюваності порошків та їх сумішей.

Для підтвердження придатності комп'ютеризованого комплексу з безперервним записом діаграми випробувань у цифровій формі для визначення ущільнюваності металевих порошків та їх сумішей автори порівняли результати, одержані за ГОСТ 25280-90 та за наступною методикою.

1. Визначили насипну густину досліджуваного порошку міді марки ПМС-1 та розрахували його масу для одержання зразка потрібного розміру. За вказаним стандартом висота циліндричного зразка має приблизно дорівнювати його діаметру.

2. Виконали пресування порошку міді у стані поставки на випробувальному пресі МС-1000 при безперервному збільшенні тиску до величини, що перевищує максимальне за вказаним стандартом значення у 800 МПа. Під час пресування вели безперервний запис діаграм зміни осьового тиску та переміщення рухомої плити пресу у часі за допомогою засобів комплексу "ТЕНЗОР" з візуалізацією діаграм на екрані персонального комп'ютера. Візуальною ознакою для припинення випробувань вважали суттєве збільшення стрімкості діаграми. Деякі відхилення у процесі пресування не носили принципового характеру. Зокрема вказаний у стандарті внутрішній діаметр прес-форми 11,3 мм забезпечує площу перерізу 1 см², що полегшує розрахунки. При користуванні комплексом "ТЕНЗОР" це не є суттєвим, тому використовували прес-форму з близьким внутрішнім діаметром 12 мм.

3. Виконали виштовхування отриманого зразка. Зусилля виштовхування контролювали за динамометром пресу. В усіх експериментах з порошком міді воно не перевищувало 4 - 5 кН.

4. Виконали попередню обробку отриманої діаграми випробувань. Оскільки у часі як осьове зусилля, так і швидкість пересування пуансону змінюються нелінійно, виконали кусково-лінійну інтерполяцію результатів та отримали проміжну діаграму випробувань у координатах переміщення - осьове зусилля.

5. Виходячи з кінцевої висоти пресованого зразка та переміщення пуансону за допомогою відповідного програмного модуля комплексу "ТЕНЗОР" розрахували та побудували залежність відносної густини від тиску. Зробили припущення про однаковість пружної післядії в усіх напрямках, тому приблизно прийняли

$$\rho = \rho_s \frac{h_p}{h_p + \delta_{\max} - \delta},$$

де ρ - поточна відносна густина, ρ_s - відносна густина отриманої заготовки, h_p - висота заготовки у прес-формі, δ_{\max} і δ - відповідно, кінцева і поточна позиції датчика переміщення. У свою чергу

$$\rho_s = \frac{4m_s}{\pi d_s^2 h_s \gamma_k},$$

де γ_k - густина компактного матеріалу, d_s - діаметр отриманої заготовки, m_s - маса отриманої заготовки;

$$h_p = \frac{h_s d_p}{d_s},$$

де d_p - внутрішній діаметр прес-форми.

На отриманий графік залежності відносної густини пресованої заготовки від прикладеного тиску (рис.1, крива 1) наклали дискретні значення відносної густини, отримані при кожному з фіксованих значень тиску для трьох окремих зразків (точки 2, 3 і 4) згідно вказаного стандарту, та переконалися, що вказаний графік добре узгоджується з дискретними точками попри їх суттєву розбіжність. Також відмітили, що якісно ця залежність має той самий вигляд, що наведена у роботі [3]. Деяка кількісна розбіжність може бути зумовлена тим, що у вказаній роботі наведені результати для відпаленої міді, тоді, як авторів цієї статті в першу чергу цікавили порошки у стані поставки.

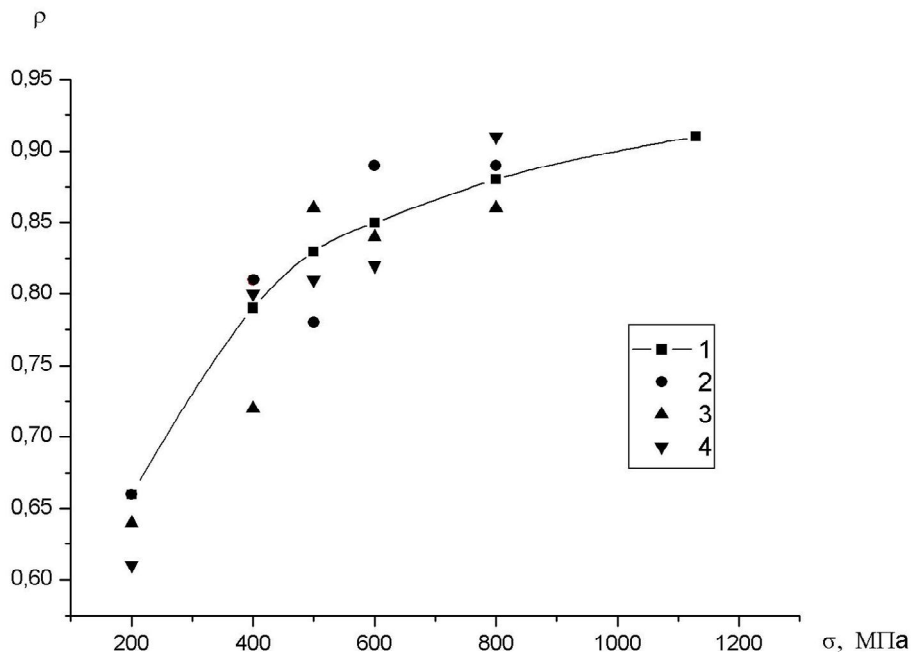


Рис. 1. Залежність відносної густини мідної порошкової заготовки від тиску (крива 1) та дискретні значення відносної густини для першого (2), другого (3) та третього (4) зразків при стандартних фіксованих значеннях тиску

За методикою, викладеною вище, дослідили також ущільнюваність порошку хрому марки ПХ-1 та сумішей порошків міді та хрому (Cr 30% мас.) за різних режимів розмелювання вихідних компонентів¹. Вихідні характеристики досліджуваних порошків наведені у табл. 1.

Таблиця 1.

Характеристики досліджуваних порошків

№ п/п	Склад	Насипна густина, г/см ³	Відносна насипна густина	Насипна густина після утрушування, г/см ³	Відносна насипна густина після утрушування
1	Cu	1,84	0,205	2,13	0,238
2	Cr	2,79	0,388	3,50	0,487
3	Cr (30% мас.)- Cu	3,12	0,374	3,94	0,472
4	Cr (30% мас.)- Cu	3,07	0,368	3,88	0,465

Насипну густина порошків після утрушування визначали за ГОСТ 25279-93. Для визначення відносних величин отримані значення насипної густини віднесли до довідникових даних про густина компактних матеріалів: для міді - 8,96 г/см³, для хрому - 7,19 г/см³, для мідно-хромового композиту (30% Cr мас.) - 8,32 г/см³. Встановили, що після утрушування відносна насипна густина хромового порошку зростає більше (в 1,25 раза), ніж мідного (1,16 раза). Це можна пояснити переважно сферичною формою часток хромового порошку, що забезпечила більш щільну укладку, тоді як частинки порошку міді мають дендритну форму, що перешкоджає щільній укладці.

Для приготування сумішей мідний порошок попередньо подрібнювали впродовж 90 с (суміш № 3) та 33 с (суміш № 4), з порошку хрому виділяли фракцію -0,0045 мм, підготовані таким чином порошки міді та хрому перемішували у змішувачі впродовж 1 години. Обидві суміші порошків утрушувались майже однаково (різниця зростання відносної густини після утрушування - у третьому знаку після десятичної коми).

В результаті випробувань з'ясували, що ущільнюваність порошку хрому у стані поставки, що містить фракції усіх розмірів, дещо гірша за ущільнюваність мідного порошку: відносна густина хромової порошкової заготовки (рис. 2, крива 2) при одних і тих самих величинах тиску складала від 88 до 92 % відповідного значення для міді (рис. 2, крива 1). Зусилля виштовхування хромової заготовки дорівнювало 25 - 27 кН. Ущільнюваність сумішей порошків міді та хрому (Cr 30% мас., рис. 2, криві 3 та 4) мало відрізнялася від ущільнюваності мідного порошку. Зусилля виштовхування пресованої заготовки з мідно-хромових сумішей не перевищувало 4 - 5 кН, тобто було таким самим, як у мідних заготовок..

¹ Конструювання млина нового типу та експерименти з розмелювання порошку міді виконав с.н.с. ІПМ НАНУ к.т.н. Найда Ю.І.

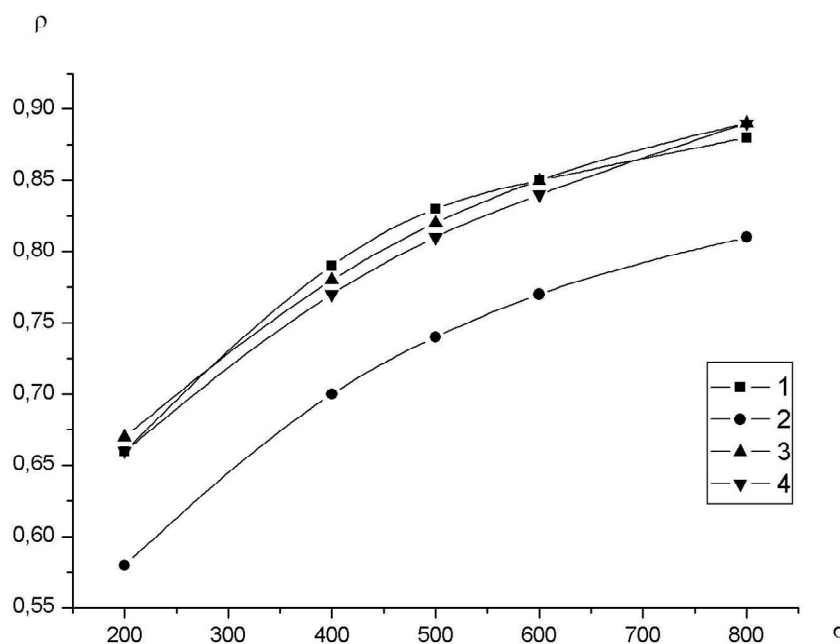
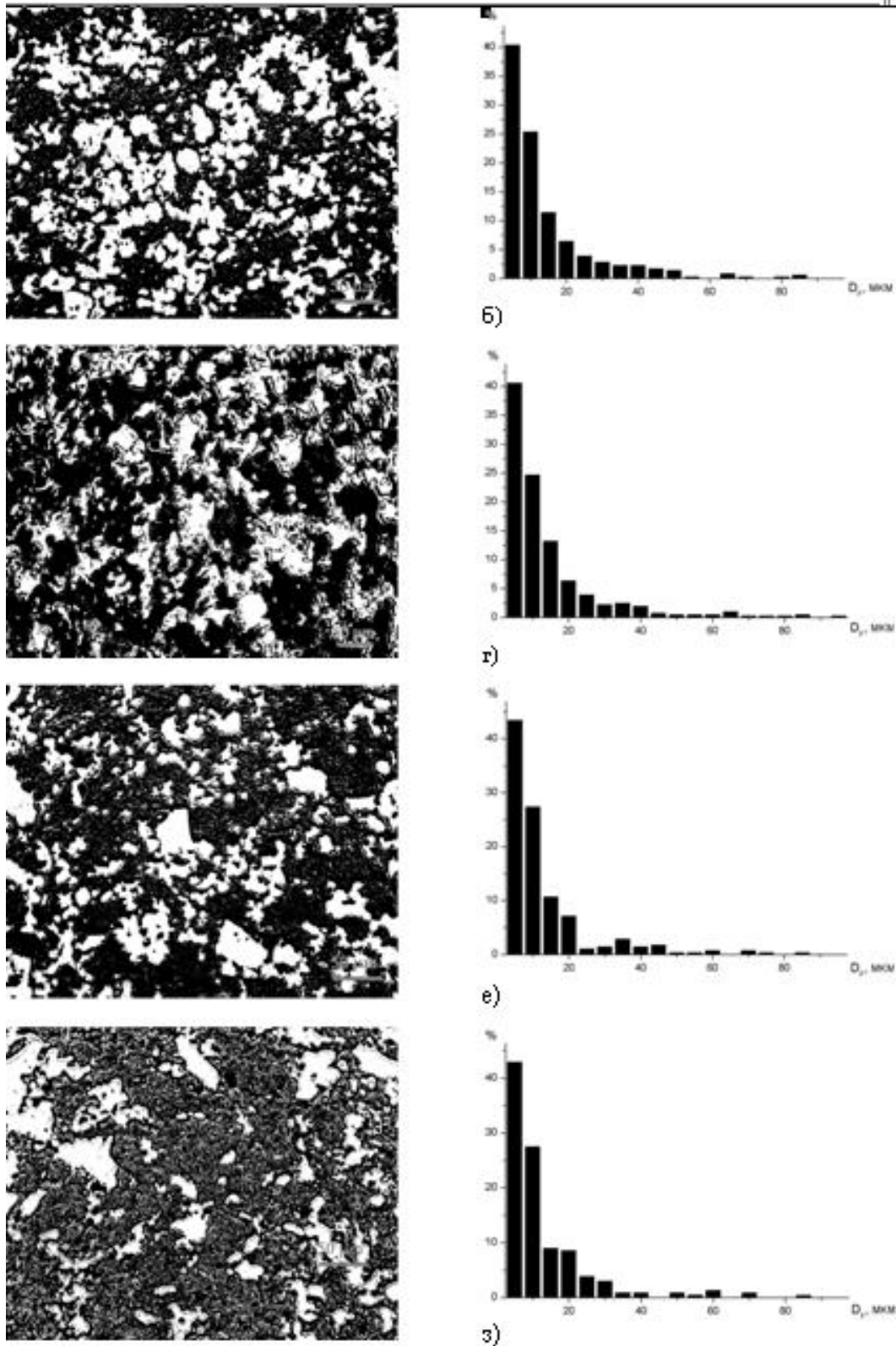


Рис. 2. Залежності відносної густини заготовки з порошку міді (1), хрому (2), суміші порошоків міді та хрому (Cr 30% мас.) з попереднім подрібненням міді впродовж 90 с (3) та такої ж суміші з попереднім подрібненням міді впродовж 33 с (4)

Отримані пресовані заготовки спікали впродовж 1,5 годин при температурі 900°C в атмосфері водню. Після спікання зробили шліфи на торцях та на розрізах по діаметральній площині обох заготовок з мідно-хромової суміші. Зображення відповідних мікроструктур після обробки та автоматизованого аналізу за допомогою програми "AMIC" [4], що входить до складу комплексу "ТЕНЗОР", наведені на рис. 3. Результати аналізу зображень мікроструктур свідчать про те, що, як на поверхнях торців заготовок, так на розрізах по діаметральній площині, співвідношення об'ємних часток компонентів мало змінюється і відповідає початковому складу сумішей (для суміші №3 об'ємна частка хрому на торці 39%, у діаметральній площині 33 %, для суміші №4 - на торці 35%, у діаметральній площині 38%; змісту хрому 30% мас. відповідає об'ємна частка 35%). Згідно з гістограмами, побудованими за даними аналізу, частинки хрому за розміром розподілені однаково як на торцях заготовок, так і в діаметральних площинах. Більшість з них (40 - 43 %) мають максимальний діаметр Фере до 5 мкм. Максимальний діаметр Фере переважної більшості частинок хрому (96 - 97%) не перевищує 45 мкм, тобто помітного зростання розмірів частинок при спіканні не виявлено. В той же час у мікроструктурі присутні конгломерати частинок твердої фази, максимальний діаметр Фере яких досягає 100 мкм, але відносна доля таких конгломератів незначна (0,24%).



с. 3. Результати аналізу зображення мікроструктур після спікання (а - суміш №3, шліф на торці зовнішньої частини, б - гістограма розподілу лінійних розмірів частинок хрому, в - суміш №3, шліф у центральній площині, г - гістограма розподілу лінійних розмірів частинок хрому, д - суміш №4, шліф на торці заготовки, е - гістограма розподілу лінійних розмірів частинок хрому, ж - суміш №4, шліф у діаметральній площині, з - гістограма розподілу лінійних розмірів частинок хрому)

Висновки

1. Визначення ущільнюваності за стандартною методикою дає окремі дискретні точки з істотним відхиленням і потребує часу на усереднення результатів та апроксимацію залежності відносної густини заготовки від тиску. Автоматизоване визначення ущільнюваності металевих порошків і їх сумішей дозволяє одразу отримати безперервну криву відповідної залежності.

2. Залежність відносної густини пресованої заготовки від прикладеного тиску, отримана за запропонованою методикою з безперервним записом діаграми випробувань добре узгоджується з відповідною залежністю, отриманою за стандартною методикою.

3. Запропонована методика дослідження ущільнюваності не потребує обробки проміжних носіїв інформації і тому вільна від похибок такої обробки. Оперативність отримання результатів за запропонованою методикою вища за стандартну і потребує меншої кількості досліджуваних порошків.

4. Ущільнюваність суміші порошків хрому та міді (30% Cr мас.) визначається переважно ущільнюваністю мідного порошку. Можливо це зумовлено більшою пластичністю міді та переважно сферичною формою часток хрому.

5. При спіканні пресованих заготовок з суміші порошків міді та хрому (30% Cr мас.) і подальшому дослідженню мікроструктур матеріалів не виявлено суттєвої нерівномірності розподілу об'ємних часток обох компонентів по товщі матеріалу.

1. Радченко А.К. Уплотняемость и деформационное упрочнение металлических порошков и их смесей при прессовании [Текст] / А.К.Радченко, М.С.Ковальченко, Д.Н.Бродниковский // Порошковая металлургия. - 2009. - № 5-6 - С. 27 - 35.
2. Баглюк Г. А. Апаратно-програмний комплекс для дослідження структурних змін деформованого матеріалу [Текст] / Г.А.Баглюк, О.І.Хоменко, Д.А.Гончарук // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). - 2009. - Вип. 25, ч. II - С. 9 - 11.
3. Ковальченко М.С. Деформационное упрочнение порошкового тела при прессовании [Текст] / М.С.Ковальченко // Порошковая металлургия. - 2009. - № 3-4 - С. 13-27.
4. Хоменко А.И. Программа автоматизации микроструктурного анализа материалов [Текст] / А.И.Хоменко, Е.В.Хоменко // Порошковая металлургия. - 2007. - № 1-2 - С. 122 - 127.