

Закономірності ущільнення суміші порошків з суттєво різним балом формованості

О. К. Радченко

Досліджено ущільненість порошку нікелю карбонільного з балом формованості 9 та його сумішей з 40 та 80% (мас.) порошку нікелевого сплаву (легованого 3% Si та 4% V) з балом формованості 2. По діаграмах безперервного запису пресування в координатах тиск—переміщення побудовано залежності відносна густина—тиск в логарифмічних координатах. Залежності умовно можна розділити на три частини: близьку до лінійної, криволінійну та лінійну. При додаванні порошку нікелевого сплаву криволінійна область зсувається в бік більших відносних густин: 0,27—0,31, 0,35—0,43 та 0,51—0,53 (для вмісту порошку сплаву 0, 40 та 80% (мас.) відповідно), які відповідають тискам пресування 5—12, 5—17,5 та 5—10,3 МПа. Досліджено зміну показника n , що відповідає тангенсу кута нахилу залежності $\lg \rho - \lg P$, зі зміною кількості W порошку сплаву. Показано, що лінійною залежністю $n = 0,21(1 - 0,125W)$ може бути описаний лише третій етап ущільнення.

Вступ

Найбільш розповсюдженим процесом формування дотепер залишається статичне пресування порошків у закритих жорстких матрицях. Процес ущільнення порошку при пресуванні у жорстких матрицях складається з трьох [1] або чотирьох стадій [2]. Три стадії пресування добре виявляються при поданні залежності відносна густина пресовки (виражена у процентах) — тиск пресування у логарифмічному вигляді. Для чистих порошків (однокомпонентних систем) визначено границі відносної густини пресовок для кожної із стадій: перша стадія — від 32 до 76%, друга — від 70 до 90% (для d -елементів) та до 98% (для sp - і f -елементів), третя — вище 90% (для d -елементів) і вище 98% (для sp - і f -елементів) [1].

Ущільненість металевого порошку на першій стадії пресування залежить від форми частинок, їхньої будови, стану поверхневого шару й інших факторів, на другій і третій стадіях — від властивостей матеріалу частинок і визначається його електронною будовою. На всіх стадіях пресування залежність тиск—густина може бути описана формулою

$$\lg \rho = \lg \rho^* + n (\lg P - \lg P^*), \quad (1)$$

де ρ^* і P^* — мінімальні значення відносної густини (у процентах) і тиску для даної стадії пресування (МПа); n — стала для даної стадії пресування, може служити характеристикою (критерієм) ущільненості порошку, чим вона менша, тим гірша ущільненість.

Ущільненість двохкомпонентних порошкових систем [3—7] також може бути описана рівнянням (1), а n у цьому випадку залежить від кількості порошку другої фази:

$$n = n_0(1 + KW), \quad (2)$$

де n_0 — стала для основного компонента; K — стала, що характеризує властивості даної порошкової системи; W — вміст другого компонента у масових частках.

При оцінці ущільненості сумішей, як правило, різні етапи не виділяють, а припускають, що пресування проводиться на другому етапі і тому n має тільки одну величину (як правило, від 0,02 до 0,285). Так, при додаванні до порошку заліза порошку скла й карбиду хрому величина n зменшувалася, а при додаванні порошку хрому — збільшувалася [3]. Крім того, при зміні кількості наповнювача в широких межах (від 0 до 12% (мас.) скла [3] або від 0 до 85% (мас.) карбідів [5]) лінійна апроксимація залежності n — W була досить наближеною. При додаванні до порошку заліза антифрикційних домішок величина n також зменшувалася [4]. У роботі [6] показано, що на величину K у формулі (2), що визначає нахил залежності n — W , впливають властивості порошкової системи. Стала K має негативну величину й зменшується зі збільшенням твердості наповнювача. При додаванні до порошку нержавіючої сталі ПХ18Н15 пороутворювача — двовуглекислого амонію величина n так само зменшувалася й спостерігалися дві чітко виражені лінійні області залежності n — W [7].

Матеріали та методики досліджень

Досліджували ущільнення нікелевого порошку марки ПНК-1Л6 та його сумішей з порошком нікелевого сплаву (табл. 1 та 2). Визначали густину матеріалу частинок пікнометричним методом та відносну насипну густину (ВНГ) з використанням каліброваної лійки у відповідності до ДСТУ 2495-94, середній діаметр частинок вимірювали на лазерному аналізаторі гранулометричного складу порошків SK Laser Micron Sizer (Японія), бал формованості розраховували по описаній методиці [8], мікротвердість матеріалу частинок визначали на шліфах, одержаних з порошків [9].

Робили наважки, підготовляли прес-форму (діаметром 11,299 мм) та пресували у відповідності до стандартної методики визначення ущільненості порошків (ГОСТ 25280-90). Швидкість переміщення траверси випробувальної машини, на якій здійснювали пресування, запис тиску та переміщення пуансона, становила 2 мм/хв. Запис проводили при тисках пресування від 0,65 до 800 МПа. Методика розрахунку густини пресовок описана у роботі [10]. Для розрахунків використовували той же пакет програм, що і в роботі [11].

Т а б л и ц я 1. Властивості вихідних порошків

Порошок	Пікнометрична густина, г/см ³	ВНГ	D_{cp} , мкм	Бал формованості	Мікротвердість, ГПа
ПНК-1Л6	8,7175	0,119	11	9	1,825 ± 0,625
Ni сплав*	8,3003	0,502	23	2	4,44 ± 0,12

*Склад, % (мас.): Si — 4, В — 3, Ni — інше.

Т а б л и ц я 2. Властивості сумішей порошків ПНК-1Л6 з нікелевим сплавом

Вміст нікелевого сплаву, % (мас.)	Аддитивна густина, г/см ³	ВНГ	Бал формованості
40	8,6	0,179	8
80	8,32	0,444	4

Результати експерименту та їх обговорення

Залежності $\lg \rho - \lg P$ (рис. 1) мають схожий вигляд з різним масштабом по ординаті. При низьких тисках залежність відхиляється від лінійної. Зі зменшенням кількості порошку нікелевого сплаву у суміші кривизна залежності (1) збільшується, але при тиску близькому до 500 МПа всі криві збігаються в одну точку.

Безперервний запис тиску та переміщення верхнього пуансону і побудова залежності $\lg \text{ВГП} - \lg P$ дозволяє більш детально проаналізувати хід кривих. Аналіз залежностей $\lg \text{ВГП} - \lg P$ для пресування чистого карбонільного нікелевого порошку марки ПНК1-Л6 та його сумішей з 40 та 80% (мас.) нікелевого сплаву дозволив виділити три характерні ділянки на кожному графіку (рис. 1), що відповідають певній відносній густині та тиску пресування (табл. 3).

Нікель відноситься до *d*-елементів, але виявлені для нього ділянки кривої ущільнення в логарифмічних координатах не відповідають встановленим раніше [1]. Перша та друга ділянки для карбонільного нікелевого порошку взагалі знаходяться за нижньою межею першої стадії пресування. Частина другої та частина третьої ділянок відповідають першій стадії пресування (відносна густина — від 32 до 76%), а частина

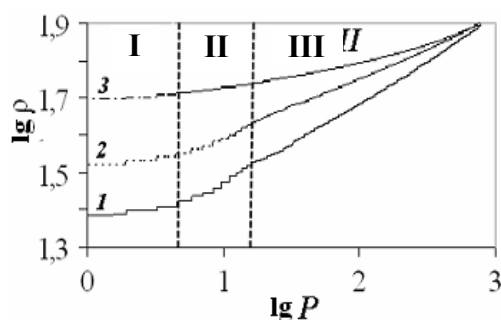


Рис. 1. Залежності відносної густини пресовки від тиску пресування у логарифмічних координатах для I, II та III ділянок ущільнення: 1 — карбонільний нікелевий порошок марки ПНК1-Л6; 2, 3 — суміші карбонільного нікелевого порошку з 40 та 80% (мас.) нікелевого сплаву.

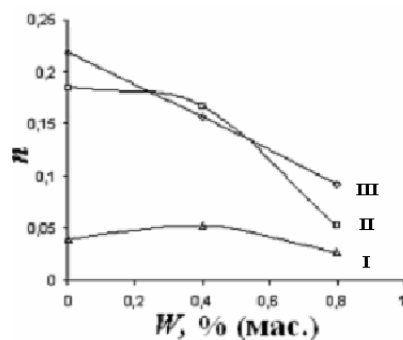


Рис. 2. Залежності показника *n* у формулі (2) від кількості *W* порошку нікелевого сплаву у суміші з нікелевим порошком на різних ділянках (I, II, III) ущільнення.

Т а б л и ц я 3. Параметри ділянок ущільнення

Порошок та його суміші	Перша ділянка		Друга ділянка		Третя ділянка	
	інтервал відносних густин	інтервал тиску, МПа	інтервал відносних густин	інтервал тиску, МПа	інтервал відносних густин	інтервал тиску, МПа
ПНК-1Л6	0,24—0,265	0,65—4,5	0,27—0,31	5—12	0,31—0,79	12—788
ПНК-1Л6 + 40% (мас.) Ni сплаву	0,33—0,353	0,65—4,5	0,354—0,431	5—17,5	0,43—0,793	18—789
ПНК-1Л6 + 80% (мас.) Ni сплаву	0,49—0,51	0,65—4,5	0,51—0,53	5—10,3	0,53—0,79	11—788

третьої ділянки виходить на другу стадію пресування (від 76 до 90%). Це можна пояснити тим, що в основу розділення процесу пресування на стадії покладено не фізичні, а феноменологічні якісні характеристики.

По трьох розрахованих точках (рис. 2) можна зробити лише наближений аналіз, але навіть він показує суттєву відмінність між встановленими ділянками. Зміна показника n від кількості порошку нікелевого сплаву у суміші на різних ділянках ущільнення носить різний характер: на першій ділянці його величина мало змінюється, на другій — простежується найбільший вплив домішки (при великому її вмісті), на третій — практично лінійна залежність, що описується формулою

$$n = 0,21(1 - 0,125W), \quad (3)$$

і $K = -0,125$. Існування двох лінійних ділянок узгоджується з отриманими раніше результатами [3]. Лінійні залежності спостерігали і інші автори [4—7]. Ці збіги можуть бути випадковими, враховуючи, що інтервал впливу домішок, які досліджувались раніше, обмежувався приблизно 30—35% (об.) [4, 6], у нашому ж випадку додавали 80% (мас.) порошку нікелевого сплаву (тобто приблизно 70% (об.)). Величина n відповідає тангенсу кута нахилу залежності $\lg \rho - \lg P$ і може визначатися не лише властивостями матеріалу частинок, а і об'ємними співвідношеннями окремих компонентів.

Висновки

Залежності відносна густина—тиск у логарифмічних координатах представлені у вигляді трьох ділянок: близької до лінійної, криволінійної та лінійної.

При додаванні порошку нікелевого сплаву до карбонільного нікелевого порошку на графіку $\lg \rho - \lg P$ криволінійна область зсувається у бік більших відносних густин: 0,27—0,31, 0,35—0,43 та 0,51—0,53 (для вмісту порошку сплаву 0, 40 та 80% (мас.) відповідно), що відповідає тискам пресування 5—12, 5—17,5 та 5—10,3 МПа.

Показник n на трьох ділянках ущільнення зі зміною кількості W порошку сплаву змінюється по-різному:

несуттєво (в інтервалі 0,04—0,05) на першій ділянці і залежність має майже лінійний характер;

суттєво (в інтервалі 0,06—0,18) на другій ділянці і залежність має нелінійний характер;

суттєво (в інтервалі 0,1—0,22) на третій ділянці, але за лінійним законом, що описується формулою $n = 0,21(1 - 0,125W)$.

1. Андреева Н. В., Радомысльский И. Д., Щербань Н. И. Исследование уплотняемости порошков // Порошковая металлургия. — 1975. — № 6. — С. 32—42.
2. Структура и прочность порошковых материалов / Под ред. С. А. Фирстова, М. Шлесара. — К.: Наук. думка, 1993. — 176 с.
3. Радомысльский И. Д., Щербань Н. И. О некоторых закономерностях прессования двухкомпонентных металлокерамических материалов // Порошковая металлургия. — 1966. — № 4. — С. 45—50.
4. Юрченко А. Г., Пугина Л. И., Щербань Н. И. Уплотнение двухкомпонентных материалов при холодном прессовании // Там же. — 1969. — № 5. — С. 19—23.
5. Петрова А. М., Щербань Н. И., Слепцов В. М. Об уплотняемости порошков

- железа, кобальта и никеля с добавками карбидов циркония, ниобия и молибдена // Порошковая металлургия. — 1969. — № 7. — С. 7—12.
6. *Бойко П. А., Щербань Н. И.* Об уплотнении композиций никель—карбид // Там же. — 1970. — № 10. — С. 23—26.
 7. *Косторнов А. Г., Лукин Л. Е., Федорова Е. Н., Чернышов Л. И.* Особенности уплотнения смесей металлических порошков с порообразователем // Там же. — 1983. — № 6. — С. 10—14.
 8. *Радченко О. К., Гогаев К. О., Аскеров М. Г.* Визначення формуємості порошку за допомогою балу формуємості // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — Краматорськ. — 2007. — № 1 (7). — С. 28—33.
 9. *Федорченко И. М., Андриевский Р. А.* Основы порошковой металлургии. — К.: Изд-во АН УССР, 1963. — 420 с.
 10. *Радченко А. К., Ковальченко М. С., Бродниковский Д. М.* Уплотняемость и деформационное упрочнение некоторых порошков и их смесей при прессовании // Порошковая металлургия. — 2009. — № 5/6. — С. 27—35.
 11. *Ковальченко М. С.* Деформационное упрочнение порошкового тела при прессовании // Там же. — 2009. — № 3/4. — С. 13—27.