

УДК 621.762

Гребенок Т. П.
Радченко О. К.
Гогасв К. О.
Иценко А. И.
Литвин Р. В.

УЩІЛЬНЮВАНІСТЬ СУМІШЕЙ ПОРОШКІВ КАРБІДІВ ПЕРЕХІДНИХ МЕТАЛІВ V ТА VI ГРУП З МЕТАЛЕВОЮ ЗВ'ЯЗКОЮ

Порошки відносяться до матеріалів, які здатні зменшувати об'єм під дією навантаження. Багато дослідників намагалися вивести закон ущільнення порошкових матеріалів та запропонувати критерій ущільнюваності. Враховуючи велику кількість параметрів, від яких залежить ущільнення, це виявилось складною задачею. Як правило, весь процес ущільнення розділяють на три стадії [1]. Ущільнення металевих порошків на першій стадії пресування залежить від форми частинок, їх будови, стану поверхневого шару та інших факторів. На другій та третій стадіях залежить від властивостей матеріалу частинок і визначається його електронною будовою. На всіх стадіях пресування залежність тиск – густина може бути описана формулою:

$$\lg \rho = \lg \rho^* + n(\lg p - \lg p^*),$$

де ρ^* и p^* – мінімальні значення відносної густини (у відсотках) і тиску для даної стадії пресування (МПа);

p – величина поточного тиску пресування;

n – константа для даної стадії пресування, яка може служити характеристикою (критерієм) ущільнення порошків.

Величина n відповідає тангенсу кута нахилу лінійної ділянки залежності $\lg \rho$ від $\lg p$.

Мета даної роботи полягає у дослідженні відмінностей ущільнення сумішей порошків карбідів перехідних металів V та VI груп, а також нікелю і хрому як зв'язуючого у залежності від його вмісту.

Досліджено ущільнюваність трьох шестикомпонентних порошкових систем у вигляді сумішей порошків карбідів (VC, Mo₂C, NbC та TiC) та металів (Ni та Cr), склад та властивості яких наведені у табл. 1. Ці суміші мають досить низькі величини відносної насипної густини (від 0,143 до 0,167) та високий бал формованості (8), зважаючи на те, що одержані вони довготривалим розмелом [2]. Усі три суміші відносяться до закритичних порошкових систем по раніше запропонованій класифікації порошкових систем при їх формуванні [3]. Більш детально матеріали та методики дослідження описано у раніше опублікованій статті [2].

Таблиця 1

Склад та властивості сумішей порошків карбідів та зв'язуючого (металевий порошок)

Склад	Кількість, мас./об'єм. %		Питома поверхня, м ² /г	Аддитивна густина, г/см ³	Насипна густина, г/см ³	Відносна насипна густина	Бал формованості	Відносна густина утруски	Коеф. Хаунзера, i
	Порошок карбідів	Порошок Ni:Cr ял 4:1							
IV	90/93,69	10/6,31	8,22	5,073	0,849	0,167	8	0,219	1,31
V	82/87,34	18/12,66	6,45	5,966	0,873	0,146	8	0,272	1,86
VI	76/84,04	24/15,96	7,81	6,186	0,885	0,143	8	0,222	1,55

* Склад суміші карбідів (мас. %): VC(5), Mo₂C(5), NbC(5), TiC (решта)

Одержані криві ущільнення відрізняються від стандартних (ГОСТ 42480-90), поперше тим, що густина розрахована у відносних одиницях і дозволяє порівнювати різні склади; по-друге тим, що величини густини розраховані під відповідним навантаженням і, по-третє, що для обрахунку густини використовували масиви даних (більше 2000 точок) безперервного запису зусилля та переміщення, одержані на машині для механічних випробувань. Це додатково дало змогу врахувати пружну реакцію машини та прес-форми. Незважаючи на те, що сумарний вміст металевих фаз суттєво змінювався (10, 18 та 24 мас. %), криві ущільнення майже накладаються одна на одну (рис. 1). Відносна густина пресовок під навантаженням 700–800 МПа не перевищує 0,6.

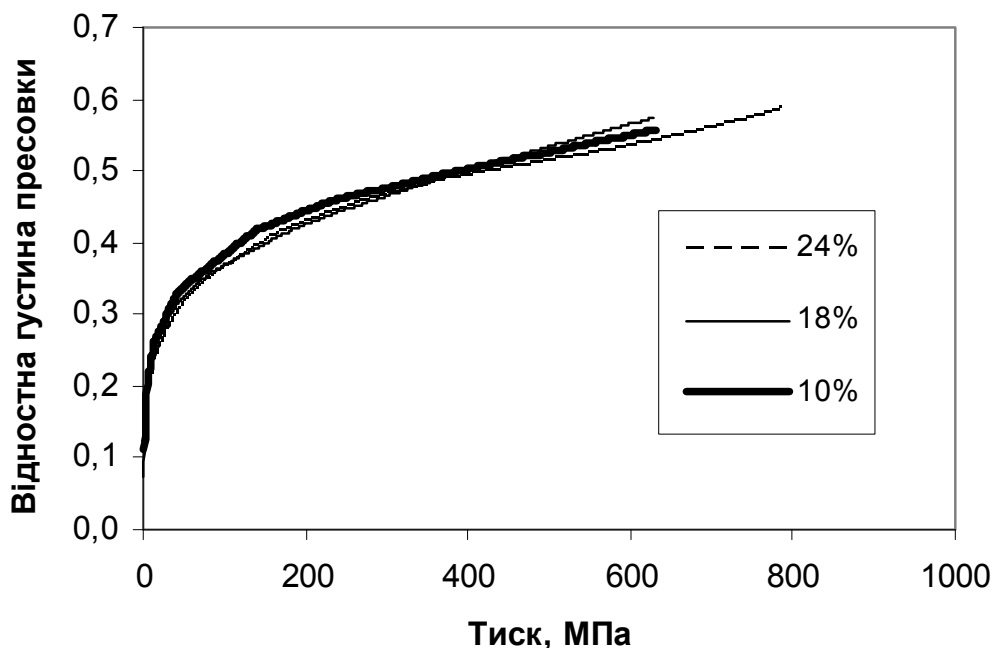


Рис. 1. Криві ущільнення трьох шестикомпонентних порошкових систем із сумарним вмістом металевих фаз 10, 18 та 24 мас. %

Побудова залежності відносної густини пресовок (ВГП), вираженої у % від тиску пресування у логарифмічних координатах, дає змогу виділити декілька лінійних ділянок такої залежності, що відповідають різним стадіям ущільнення [1]. Залежність відносної густини від тиску пресування для складу з 10 мас. % металевих зв'язуючих у логарифмічних координатах, одержана під час випробування суміші на ущільнюваність, з урахуванням пружної деформації прес-форми та машини, показана на рис. 2. Також на рисунку наведено лінійну апроксимацію цієї залежності без урахування стадій ущільнення з математичним виразом та величиною достовірності апроксимації (R^2). Стала при аргументі, що відповідає тангенсу кута нахилу, є ні чим іншим, як показником ущільнення. Як бачимо, у верхній частині графіку (яка відповідає третій стадії ущільнення, а саме об'ємній деформації матеріалу частинок) реальна залежність майже збігається з прямою апроксимацією, тоді як на першій та другій стадіях ущільнення кут нахилу (а значить і показник ущільнення) експериментальної залежності набагато більший. Це відповідає дійсності, на етапі структурного деформування ущільнення відбувається майже без прикладання зусилля, а на другому етапі – відбувається деформація лише невеликого об'єму матеріалу частинок.

Кожна з одержаних кривих (рис. 3) була розбита на три прямолінійні ділянки, на яких залежності були апроксимовані лінійними функціями і для них були розраховані показники ущільнення n , зведені у табл. 2.

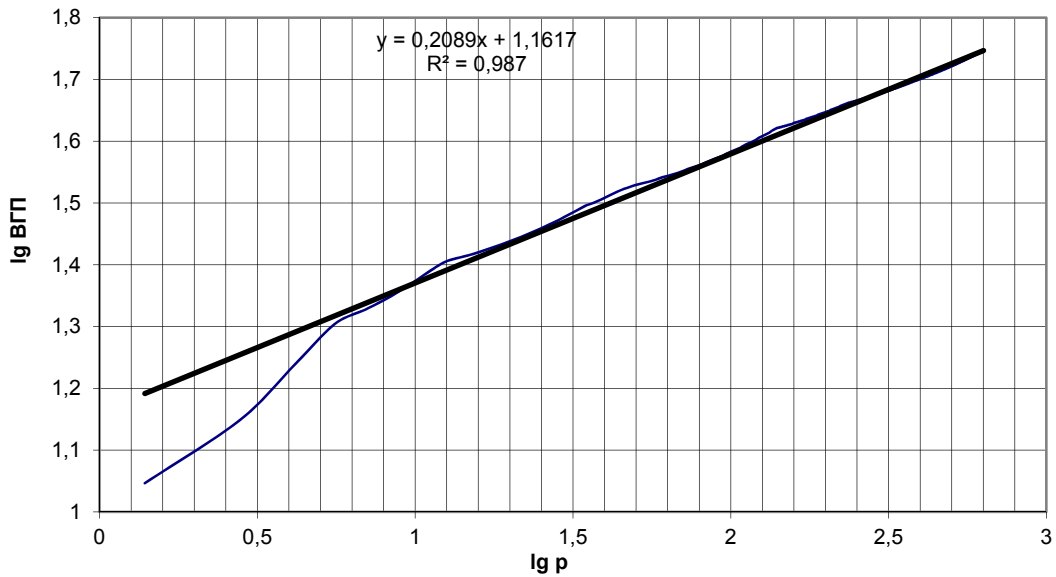


Рис. 2. Залежність відносної густини від тиску пресування для складу з 10 мас.% зв'язуючого у логарифмічних координатах, одержана під час випробування суміші на ущільнюваність з урахуванням пружної деформації прес-форми та машини та пряма її лінійної апроксимації

При заміні ділянок, що відповідають певним стадіям ущільнення для кожного з трьох складів, лінійними, всі величини R^2 більші за 0,99, що говорить про досить точну апроксимацію. На першій стадії ущільнення найкраще ущільнюється склад V, а різниця між складами не перевищує 2,7 %. На другій стадії величина n зменшується майже у 3 рази, а на третій стадії у порівнянні з другою на 30 %. Це говорить про спорідненість другої та третьої стадії ущільнюючої деформації, при яких відбувається деформування матеріалу частинок. Ущільнюваність на першій стадії при зміні кількості карбідної фази корелює з коефіцієнтом Хаузнера: чим більший коефіцієнт Хаузнера, тим більша ущільнюваність.

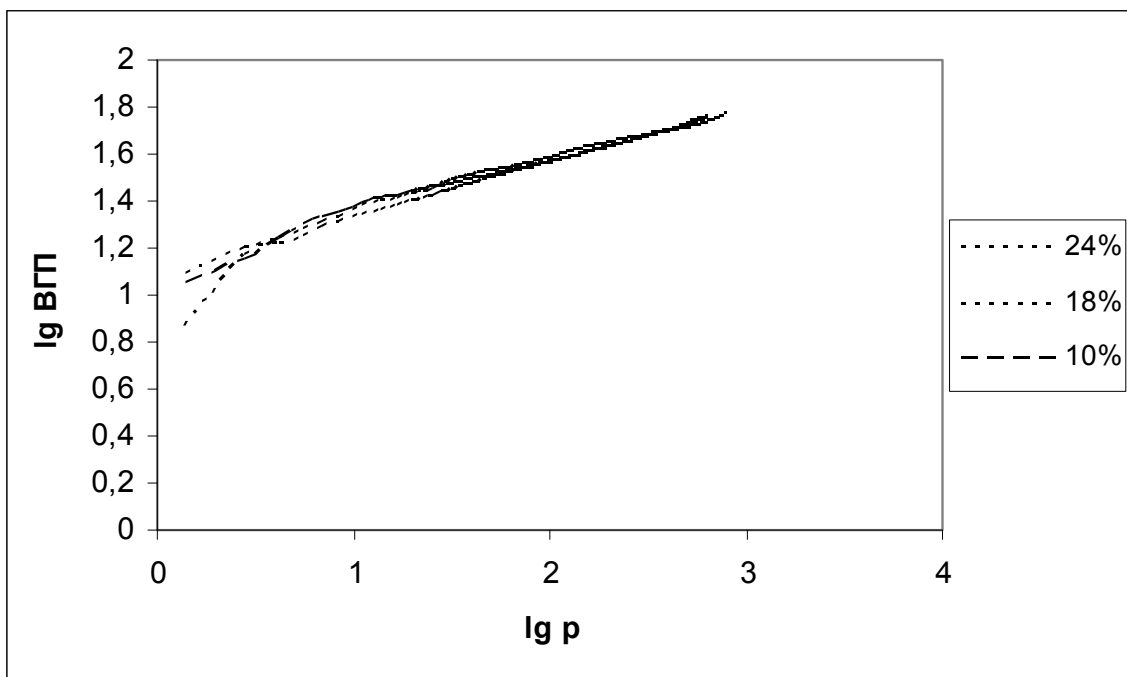


Рис. 3. Залежності відносної густини від тиску пресування у логарифмічних координатах для складів з сумарною кількістю пластичних компонент 10, 18 та 24 мас. %.

Таблиця 2

Величини коефіцієнта ущільнюваності (n) на різних стадіях ущільнення для 3-х складів сумішей карбідів зі зв'язуючим

Номер складу *	Показник ущільнюваності n		
	I стадія	II стадія	III стадія
IV	0,7797 ($R^2 = 1$)	0,2905 ($R^2 = 0,9952$)	0,1974 ($R^2 = 0,9982$)
V	0,8015 ($R^2 = 0,9624$)	0,2972 ($R^2 = 0,9972$)	0,2211 ($R^2 = 0,9923$)
VI	0,7968 ($R^2 = 1$)	0,3059 ($R^2 = 0,9914$)	0,2197 ($R^2 = 0,9979$)

*склад порошкових систем дивитись у табл. 1

На рис. 4 наведена залежність показника n для трьох стадій ущільнення від сумарного вмісту карбідної складової. Величина n для третьої стадії ущільнення змінюється від 0,2 до 0,22 і близька до величини, одержаної для двохкомпонентних порошкових систем метал-металевий сплав [4]. Низька ущільнюваність досліджених систем пов'язана з відсутністю металеві матриці, яка б сприймала навантаження та пластично деформувалась, а матриця, яка сприймає навантаження, утворюється з твердих компонент суміші, а саме карбідних фаз.

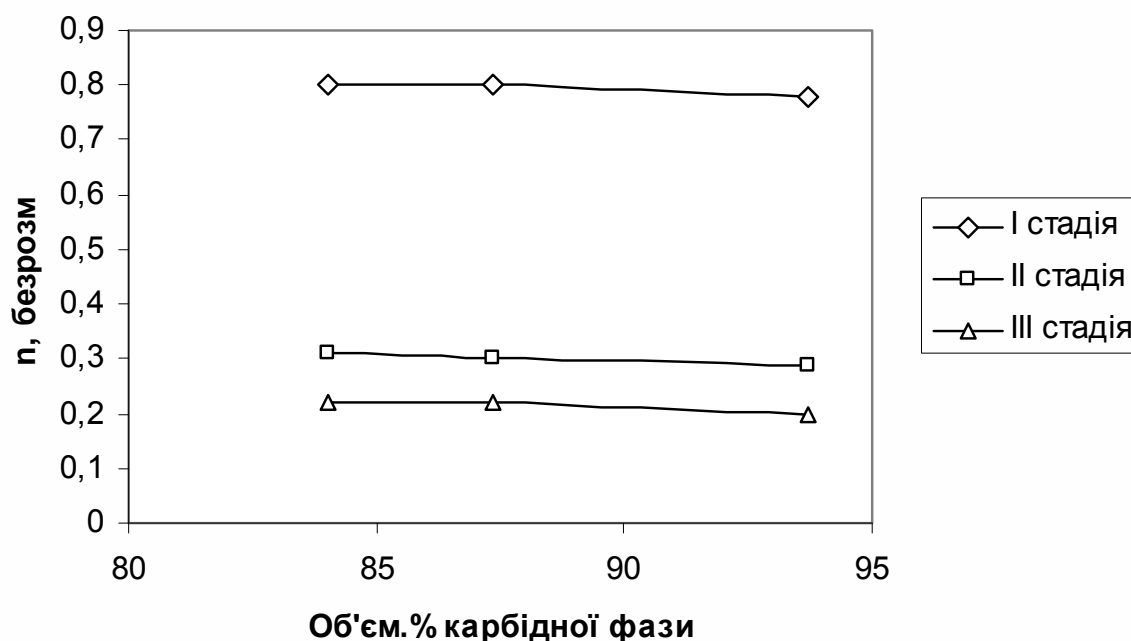


Рис. 4. Залежність показника n для трьох стадій ущільнення від сумарного вмісту карбідної фази

ВИСНОВКИ

При ущільненні до тиску 800 МПа відносна густина всіх зразків не перевищує 0,6. Параметр ущільнення n на першій стадії ущільнення становить приблизно 0,8, тоді як на другій та третій стадіях – зменшується приблизно до 0,3 та 0,2 відповідно.

У дослідженому інтервалі зміни вмісту зв'язуючого (від 6,31 до 15,96 об'єм. %) показник ущільнюваності в межах кожної зі стадій ущільнення майже не змінюється.

Ущільнення розглянутих сумішей є суперпозицією двох процесів: пластичної деформації металевої фази та пружної деформації карбідної фази, але у розглянутому інтервалі вмісту карбідної складової (від 84,04 до 93,69 об'єм. %) переважає пружна деформація.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Косторнов А. Г. *Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. В 2 Т. Том 1.* / А. Г. Косторнов. – Киев : Наукова думка, 2002. – 571 с.
2. Гогаев К. А. *Формование порошковых систем* / К. А. Гогаев, А. К. Радченко. – Донецк : Ноулидж, 2011. – 477с.
3. *Особенности уплотнения порошков хрупких материалов* / М. С. Ковальченко, Т. П. Гребенок, Н. П. Бродниковский, А. А. Rogozinskaja // Там же. – 2016. – № 5/6. – С. 13-27.
4. Радченко О. К. *Закономірності ущільнення суміші порошків з суттєво різним балом формованості* / А. К. Радченко // *Соврем. пробл. физич. материаловед. : сб. науч. трудов.* – Киев : ИПМ НАН Украины, 2009. – Вып. 18. – С. 84–88.

REFERENCES

1. Kostornov A. G. *Materialovedenie dispersnyh i poristyh metallov i spлавov. V 2 T. Tom 1.* / A. G. Kostornov. – Kiev : Naukova dumka, 2002. – 571 s.
2. Gogaev K. A. *Formovanie poroshkovykh sistem* / K. A. Gogaev, A. K. Radchenko. – Doneck : Noulidzh, 2011. – 477s.
3. *Osobennosti uplotnenija poroshkov hrupkih materialov* / M. S. Koval'chenko, T. P. Grebenok, N. P. Brod-nikovskij, A. A. Rogozinskaja // Там же. – 2016. – № 5/6. – S. 13-27.
4. Radchenko O. K. *Zakonomirnosti ushhi'l'nennja sumishi poroshkiv z suttevo riznim balom formovanosti* / A. K. Radchenko // *Sovrem. probl. fizich. materialoved. : sb. nauch. trudov.* – Kiev : IPM NAN Ukrainy, 2009. – Vip. 18. – S. 84–88.

Гребенок Т. П. – мол. наук. співроб. ИПМ НАН України;

Радченко О. К. – д-р техн. наук, ст. наук. співроб. ИПМ НАН України;

Гогаєв К. О. – д-р техн. наук, проф., зав. відділу ИПМ НАН України, член-кор. НАНУ;

Іценко А. І. – канд. техн. наук, ст. наук. співроб. ИПМ НАН України;

Литвин Р. В. – канд. техн. наук, наук. співроб. ИПМ НАН України.

ІПМ НАН України – Інститут проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича Національної академії наук України, м. Київ.

E-mail: grebenok_t@ipms.kiev.ua; arradch@ipms.kiev.ua; gogaev@ipms.kiev.ua;
rovalit@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 26.12.2017 р.