

УДК 66:621.762

А.М. Степанчук, О.А. Демиденко, А.В. Демиденко, К.О. Шаповал

КОМПАКТУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ЗА УЧАСТЮ САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ

We study the influence of compacting pressure, sintering temperature and composition of iron-based composite materials doped by self-fluxing alloys in the quantity of 10–30 % vol. on the structure, density and hardness. We employ the optical microscope MIM-8M and scanning electron microscope REM-106 to study the structure of materials. Specifically, the hardness testing machine TK-2M is used to conduct hardness testing. We uncover that pressing and sintering conditions, as well as the composition impact density and hardness of materials. Impregnating allows reaching maximum value of materials density during sintering. Finally, we reveal that it is possible to obtain materials with specified structure and properties, as well as certain performance by changing the composition of basic materials and conditions for obtaining products.

Вступ

При створенні порошкових композиційних матеріалів для роботи у важконавантажених вузлах машин і механізмів в умовах інтенсивної дії ударних навантажень та абразивів необхідно брати до уваги те, що таким матеріалам необхідно мати високі щільність і твердість поряд з високими значеннями ударної в'язкості. У світі й у нашій державі це питання вирішується за рахунок використання для виготовлення таких матеріалів та виробів з них порошків легованих сплавів і високоенергетичних методів їх компактування, до яких належать двійне пресування та спікання, гаряча штамповка, імпульсне пресування тощо, які є енергоємними та у деяких випадках складними технологічно [1, 2].

До напрацювань щодо отримання згаданих вище матеріалів і виробів з них з практично стовідсотковою щільністю слід віднести отримання їх методом просочування пористого порошкового каркасу розплавами металів та сплавів з температурою плавлення нижчою за температуру плавлення матеріалу основи, у нашому випадку заліза та його сплавів. Як матеріал для просочування найчастіше використовують мідь та сплави на її основі [2]. Цим вирішується проблема отримання стовідсоткової щільності виробів, але не вирішується або вирішується частково проблема отримання необхідних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. Крім того, при просочуванні пористих порошкових каркасів розплавами міді або сплавами на її основі необхідно застосовувати захисні газові середовища або вакуум з високими вимогами до них. Остання проблема може бути вирішена за рахунок розроблення

легкоплавких сплавів для просочення пористих каркасів з температурою плавлення близькою до температури плавлення міді, але з вищими механічними властивостями — високою твердістю та ударною в'язкістю. У цьому відношенні можуть бути перспективними самофлюсівні сплави, особливо на основі заліза [3]. Аналіз стану проблеми в світі показує, що дані про розроблення композиційних конструкційних матеріалів і виробів з них за участю самофлюсівних сплавів практично відсутні. Це свідчить про те, що поставлене в статті завдання є актуальним, а його вирішення має велике практичне та наукове значення. Останнє також зумовлене тим, що нині майже нема праць із узагальненням даних про процеси отримання згаданих вище матеріалів. Відсутні також наукові дані, які стосуються оптимізації складу вихідних матеріалів та технологічних режимів виготовлення композиційних матеріалів і виробів з них із заданими наперед властивостями. Окрім того, застосування у промисловості нових порошкових композиційних конструкційних матеріалів з високими експлуатаційними властивостями при роботі у важконавантажених вузлах машин і механізмів та в умовах дії агресивних середовищ та абразивів сприятиме значному підвищенню їх надійності, часу експлуатації, зменшенню витрат на ремонтні роботи і підвищенню техніко-економічних показників виробництва у цілому.

Постановка задачі

Мета роботи — дослідити умови отримання конструкційних матеріалів на основі заліза за участю самофлюсівних сплавів, а саме: вивчити вплив складу композиції, умов пресу-

вання та спікання на щільність, структуру та твердість виробів з них, які є основними показниками їх працездатності.

Експериментальні результати та їх обговорення

У роботі як вихідну сировину використовували порошки заліза марки ПЖР-3.200 виробництва Казенного заводу порошкової металургії та порошки самофлюсівних сплавів на основі заліза (СФЗ) та нікелю марки АН-9 [3]. Для вивчення впливу складу композиції на процеси їх компактування та властивості готували вихідну шихту з об'ємним вмістом самофлюсівного сплаву 10, 20 та 30 % через змішування вихідних порошків з розміром частинок меншим за 200 мкм в планетарному змішувачі протягом 15 хв.

Пресування вихідних шихт проводили на гідравлічному пресі при тисках 300, 400, 500, 700, 800, 1000 МПа. Після пресування визначали щільність, відносну щільність та пористість отриманих зразків за стандартними методиками [4]. За отриманими результатами побудували графічні залежності щільності від тиску пресування, наведені на рис. 1.

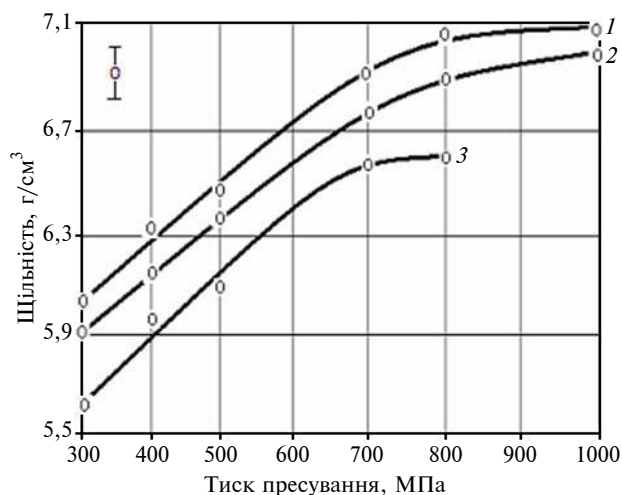


Рис. 1. Залежність відносної щільності зразків від тиску пресування та об'ємного вмісту СФЗ, %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30

При вивченні процесів ущільнення порошкових шихт різного складу було встановлено, що на їх ущільнюваність, при інших однакових умовах, впливає склад матеріалу. У нашому випадку це суміші порошків заліза та СФЗ у таких співвідношеннях: 90 % Fe + 10 % СФЗ; 80 % Fe + 20 % СФЗ; 70 % Fe + 30 % СФЗ. Як

видно з рис. 1, найменшу ущільнюваність має матеріал, який складається з 70 % заліза та 30 % самофлюсівного сплаву. Шихта, яка містить 90 % Fe + 10 % СФЗ, має більш високу ущільнюваність.

Отримані результати можна пояснити таким чином. Як відомо [5, 6], процес ущільнення відбувається у кілька стадій. На першій стадії ущільнення порошку відбувається структурна деформація: руйнування арок і містків, утворених при насипанні порошку, і заповнення пусток. Цей процес супроводжується відносним переміщенням частинок і більш щільним їх укладанням без помітної деформації. Після укладання частинок до найщільнішої упаковки починається друга стадія. Вона супроводжується пружною і пластичною деформацією або крихким руйнуванням частинок. Деформація спочатку локалізується у контактних ділянках. При цьому пластичній деформації або крихкому руйнуванню передують пружна деформація, зняття навантаження в межах якої може призвести до руйнування виробів. При досягненні на контактних ділянках напруг, що перевищують межу текучості матеріалу, який ущільнюється, починається їх пластична деформація. Остання супроводжується збільшенням контактної поверхні. При постійному зовнішньому тиску збільшення контактної поверхні супроводжується зменшенням напружень у місцях контакту і, коли вони стають рівними межі текучості, пластична деформація і ущільнення припиняються. Для вищого ступеня ущільнення необхідно підвищувати зовнішні навантаження. Як правило, при деформації матеріал зміцнюється, тому подальше збільшення навантаження призводитиме до пластичної деформації матеріалу не безпосередньо в місцях контакту, а в шарах, прилеглих до зміцнених шарів. Коли пластичній деформації піддаватиметься весь обсяг частинок, подальше ущільнення супроводжуватиметься деформацією зміцненого матеріалу, що також вимагає великих зовнішніх зусиль. Процес пластичної деформації на кінцевих стадіях другого етапу ущільнення супроводжується видавлюванням матеріалу частинок в пори. При цьому частинки і їх виступи згинаються і переплітаються між собою, що також веде до збільшення міцності пресовок. При цьому чим більша пластичність матеріалу, тим вища щільність та міцність пресовок. З огляду на викладене, а також те, що після пресування у нашому випадку зразки мали певну міцність і зберігали форму, можна ствер-

джувати, що в основі ущільнення наших матеріалів лежить переважно пластична деформація матеріалу.

Отримані нами дані можна пояснити впливом на процес ущільнення досліджуваних матеріалів згаданих факторів. Найбільшу ущільнюваність має матеріал, яких містить 90 % Fe + 10 % СФЗ, що може бути зумовлено більшою його пластичністю порівняно з матеріалами, в яких більший вміст менш пластичного та твердого самофлюсівного сплаву.

У роботі, з метою оптимізації процесів компактування виробів конструкційного призначення, проводили дослідження процесів спікання пресовок з шихт, склад яких наведено вище. При цьому вивчали вплив складу вихідної шихти та тиску пресування на усадку при спіканні. Спікання зразків проводили у муфельній печі в захисному газовому середовищі.

Проаналізувавши отримані дані, на рис. 2 можна побачити, що до 700 МПа щільність зразків після спікання зростає зі збільшенням тиску пресування (зменшенням пористості), а при збільшенні тиску до 800 МПа у зразків з вмістом СФЗ знижується.

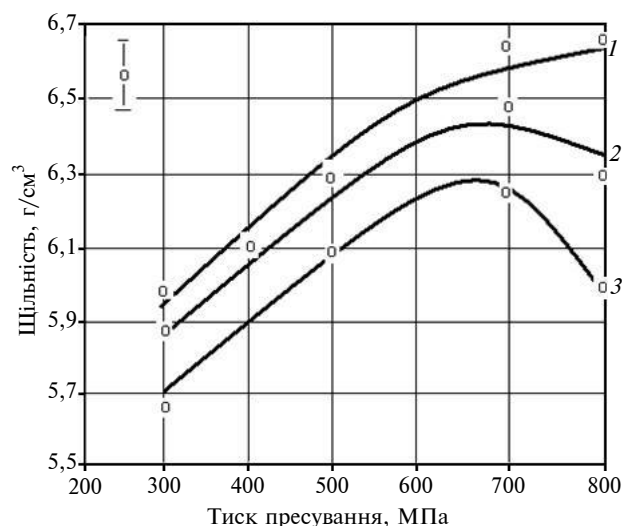


Рис. 2. Залежність щільності пресовок після спікання від тиску пресування та об'ємного вмісту СФЗ, %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30

Вивчення усадки зразків при спіканні засвідчило (рис. 3), що вона незалежно від складу матеріалу в усіх випадках від'ємна (спостерігається збільшення об'єму зразків). При цьому найбільше зростання об'єму зразків спостерігається для композиції із вмістом СФЗ 30 % (рис. 3, крива 3).

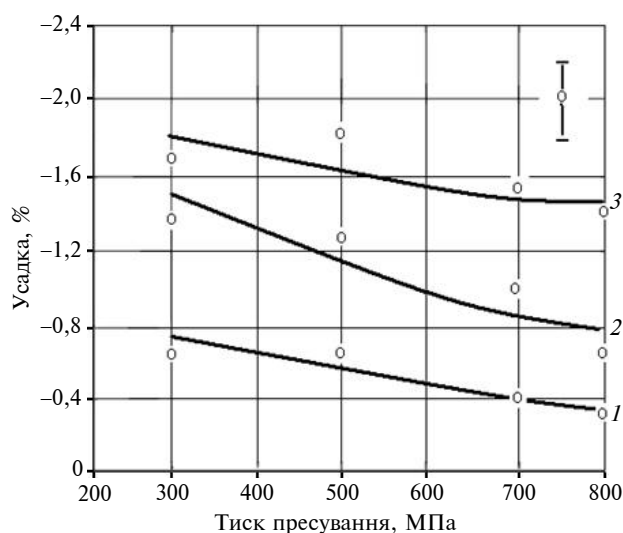


Рис. 3. Залежність усадки від тиску пресування та об'ємного вмісту СФЗ, %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30

Аналіз результатів дослідження процесів спікання показує, що вони узгоджуються з сучасними уявленнями про процеси, що відбуваються при спіканні порошкових матеріалів. У нашому випадку на процес спікання (зміну щільності пресовок, усадку при спіканні, зміну їх властивостей), при інших однакових умовах, впливає склад матеріалу та тиск пресування зразків (пористість зразків перед спіканням). При цьому слід враховувати, що спікання відбувається у присутності рідкої фази, яку утворює розплав самофлюсівного сплаву (температура плавлення 1070 °С) у випадку спікання за температури 1150 °С. У праці [7] було показано, що при вказаних умовах розплав самофлюсівного сплаву змочує поверхню заліза (кут змочування при температурі 1100 °С прагне до нуля). При цьому кількість рідкої фази достатня для отримання стовідсоткової щільності [4, 8, 9]. З огляду на це слід було очікувати отримання при спіканні наших зразків їх максимальної щільності. Але в нашій роботі результати не завжди узгоджуються з цими уявленнями. Це може бути спричинене тим, що на спікання досліджуваних матеріалів впливають два процеси. Перший, зумовлений наявністю рідкої фази, сприяє інтенсифікації процесу усадки при спіканні завдяки дії механізму в'язкої течії та перегрупування частинок твердої фази з наступною їх більш щільною укладкою [4, 9]. Другий процес – це утворення закритих пор при виникненні рідкої фази за рахунок плавлення самофлюсівного сплаву. Надалі при нагріванні зразків до температури спі-

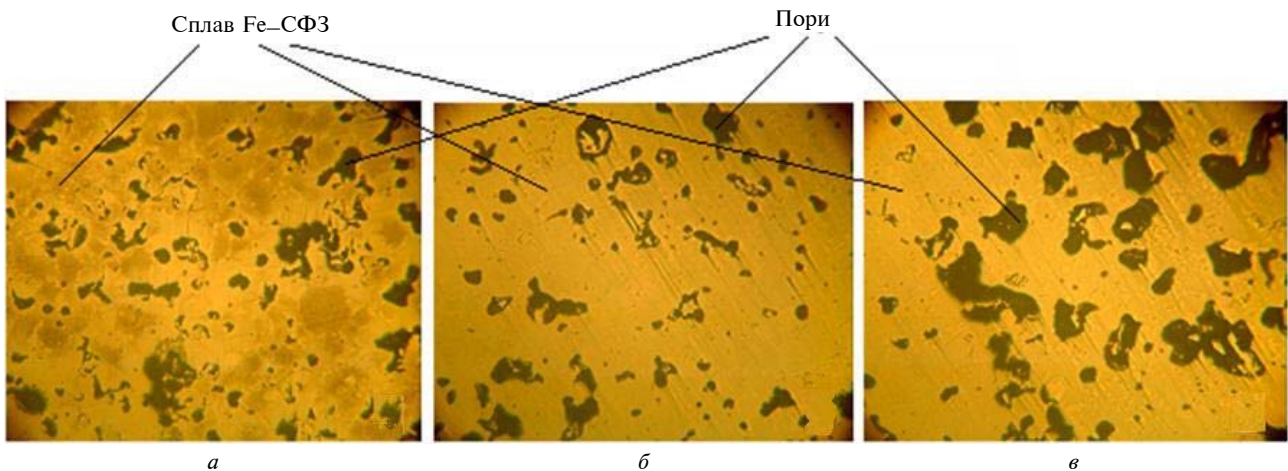


Рис. 4. Мікроструктура спечених матеріалів із різним об'ємним вмістом СФЗ, %: а – 10; б – 20; в – 30

кання тиск газу в закритих порах буде збільшуватись і протидіяти капілярним силам, які сприяють усадці. Усадка у цьому випадку буде зменшуватись, а при умовах, коли тиск газу в закритих порах буде більшим за капілярні сили, відбувається збільшення розмірів, що і спостерігається у нашому випадку. Це підтверджується також тим, що при збільшенні тиску пресування вихідних зразків їх зростання зменшується. Це, мабуть, зумовлене тим, що при збільшенні тиску пресування зменшується вихідна пористість і тим самим послаблюється вплив згаданого фактора на процес спікання.

Якщо розглядати залежність щільності спечених зразків та їх усадку при спіканні від вмісту самофлюсівного сплаву (див. рис. 3), то менша щільність та від'ємна усадка зразків з композицій з більшим його вмістом може бути пояснена імовірністю утворення закритих пор зі збільшенням кількості рідкої фази.

Викладене підтверджується результатами металографічного аналізу, з якого видно (рис. 4), що газова пористість зразків зростає зі збільшенням вмісту самофлюсівного сплаву, який утворює рідку фазу.

Вплив процесу утворення закритих пор на формування структури та властивостей спечених композиційних матеріалів за участю самофлюсівних сплавів підтверджується результатами досліджень процесу спікання просоченням пористого каркасу з порошку заліза розплавом СФЗ. При отриманні зразків просоченням закриті пори не утворюються за рахунок направленої поступової заповнення капілярів розплавом СФЗ (рис. 5). У цьому випадку, як вид-

но з рис. 6, пористість у спечених зразках практично відсутня.

У роботі досліджували також твердість матеріалів після спікання залежно від складу композиції та тиску пресування вихідних зразків. Результати наведено на рис. 7.

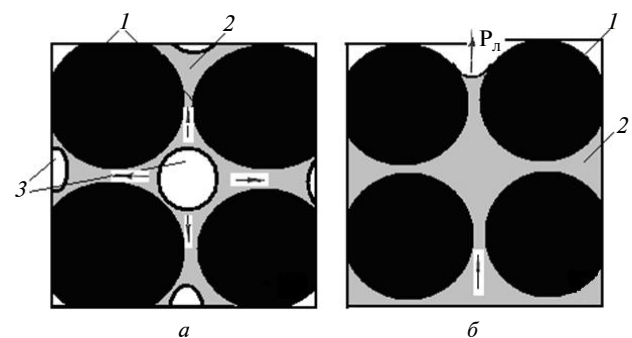


Рис. 5. Схема спікання композиційного матеріалу з суміші заліза та СФЗ (а) і просоченням (б): 1 – частинки порошку заліза; 2 – розплав СФЗ; 3 – пори

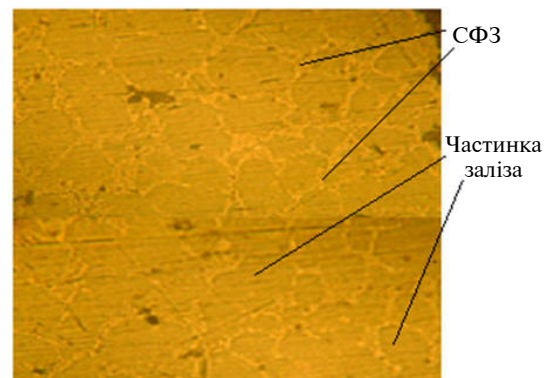


Рис. 6. Структура композиційного матеріалу на основі заліза за участю самофлюсівного сплаву, отриманого просочуванням ($\times 200$)

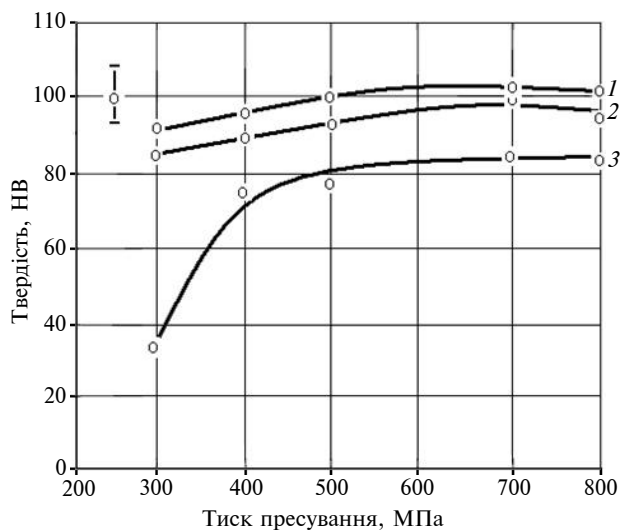


Рис. 7. Залежність твердості від тиску пресування та об'ємного вмісту СФЗ, %: 1 – 30; 2 – 20; 3 – 10

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що зі збільшенням тиску пресування твердість зразків зростає до тиску 500 МПа, а далі майже не змінюється. Зі збільшенням відсоткового вмісту самофлюсу до 20 % твердість також зростає. Проте з подальшим збільшенням вмісту самофлюсу твердість зростає незначно.

Залежність твердості від вмісту самофлюсів сплаву можна пояснити із врахуванням розглянутих вище процесів. На величину твердості спечених зразків впливає склад композиції та пориста структура. Збільшення вмісту

твердого самофлюсівного сплаву має приводити до зростання загальної твердості матеріалу. Але, з іншого боку, наявність пор сприяє зменшенню механічних властивостей матеріалів і в т.ч. твердості. Тому в нашому випадку збільшення в матеріалі більш твердої складової частини не приводить до значного збільшення твердості матеріалу у цілому, тому що одночасно зростає і його пористість.

Висновки

Встановлено, що на компактування порошкових матеріалів за участю порошоків заліза та самофлюсівних сплавів впливає склад матеріалів й умови компактування. Збільшення вмісту СФЗ погіршує ущільнюваність.

На щільність матеріалу після спікання переважно впливає вміст СФЗ. Збільшення його вмісту сприяє утворенню закритої газової пористості, яка не дає змоги отримати стовідсоткову щільність матеріалу і, тим самим, високі механічні властивості. Застосування спікання матеріалів методом просочення пористого каркасу з заліза розплавом самофлюсівного сплаву сприяє отриманню їх зі стовідсотковою щільністю, що зумовлено відсутністю в них газової пористості.

У подальшому доцільним є проведення досліджень з компактування композиційних матеріалів на основі заліза, легованого самофлюсівними сплавами пресуванням з наступним спіканням у вакуумі та гарячою штамповкою, та вивчення їх експлуатаційних характеристик.

1. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. — К.: Выща шк., Гл. изд-во, 1989. — 416 с.
2. Радомыслевский И.Д., Сердюк Г.Г., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. — К.: Техніка, 1985. — 152 с.
3. Дубовий О.М., Степанчук А.М. Технологія напилення покриттів: Підруч. — Миколаїв: НУК, 2007. — 236 с.
4. Степанчук А.М., Лобода П.І., Руденський С.О. Теорія і технологія пресування та спікання порошкових та композиційних матеріалів. — К.: НТУУ "КПІ", 2009. — Ч. 2. — 70 с.
5. Степанчук А.Н. Закономерности прессования порошковых материалов. — К.: НМК ВО, 1992. — 176 с.
6. Анциферов В.Н., Бобров Г.В., Дружинин Л.К. и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учеб. для вузов. — М.: Металлургия, 1987. — 792 с.
7. Степанчук А.М., Шевчук М.Б., Велиденко М.М. Взаимодействие расплавов самофлюсующихся сплавов со сталями и чугунами // Тр. 3-й Междунар. конф. "HighMatTech". — К., 2011. — С. 171.
8. Скороход В.В., Солонин С.М. Физико-металлургические основы спекания порошков. — М.: Металлургия, 1984. — 160 с.
9. Еременко В.Н., Найдич Ю.В., Лавриненко И.А. Спекание в присутствии жидкой металлической фазы. — К.: Наук. думка, 1969. — 166 с.