

УДК 66:621.762

А.М. Степанчук, О.А. Демиденко, С.Ю.Тесля*Національний технічний університет України**“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”***ЗАЛЕЖНІСТЬ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙ ЗАЛІЗО – САМОФЛЮСІВНИЙ СПЛАВ ВІД МЕТОДУ ЇХ ОТРИМАННЯ**

Проведені дослідження механічних властивостей порошкових композиційних матеріалів на основі заліза легованого самофлюсівними сплавами отриманих за різними технологіями: пресуванням порошкових сумішей з наступним спіканням у водні, спіканням заготовок у вакуумі, просочуванням та гарячим штампуванням. Залежно від методу отримання та вмісту самофлюсівного сплаву твердість матеріалів змінюється у межах від 48 до 57 HRC, межа міцності на згин у межах від 1130 до 1350 МПа, межа міцності при розтягуванні від 550 до 660 МПа. Найбільш високі характеристики мають матеріали отримані спіканням у вакуумі та просоченням.

Ключові слова: порошкові матеріали, самофлюсівний сплав, пресування, спікання, просочування, штампування, твердість, межа міцності.

А.Н. Степанчук, А.А. Демьденко, С.Ю. Тесля**ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КОМПОЗИЦИЙ ЖЕЛЕЗО - САМОФЛЮСУЮЩИЙСЯ СПЛАВ ОТ МЕТОДА ИХ ПОЛУЧЕНИЕ**

Проведенные исследования механических свойств порошковых композиционных материалов на основе железа легированного самофлюсующимися сплавами полученных по разным технологиям: прессованием порошковых смесей с последующим спеканием в водороде, спеканием заготовок в вакууме, пропиткой и горячей штамповкой. В зависимости от метода получения и содержания самофлюсующиеся сплава твердость материалов меняется в пределах от 48 до 57 HRC, предел прочности при изгибе в пределах от 1130 до 1350 МПа, предел прочности при растяжении от 550 до 660 МПа. Наиболее высокие показатели имеют материалы полученные спеканием в вакууме и пропиткой.

Ключевые слова: порошковые материалы, самофлюсующиеся сплав, прессование, спекание, пропитки, штамповки, твердость, предел прочности.

A. M. Stepanchuk, A.A. Demidenko, S.Y. Teslia**DEPENDENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF POWDER MATERIALS FROM COMPOSITIONS IRON - SELF-FLUXING ALLOYS FROM THE METHOD OF THEIR OBTAINING**

Studies of the mechanical properties of powder composite materials based on iron alloyed with self-fluxing alloys obtained by different technologies: pressing powder mixtures, followed by sintering in hydrogen, sintering billets in vacuum, impregnation and hot stamping. Depending on the method of preparation and the content of self-fluxing alloys, the hardness of the materials varies from 48 to 57 HRC, the flexural strength is from 1130 to 1350 MPa, and the tensile strength is from 550 to 660 MPa. The highest indicators are materials obtained by sintering in vacuum and impregnation.

Keywords: powder materials, self-fluxing alloy, pressing, sintering, infiltration, stamping, hardness, tensile strength.

Одним з напрямів сучасного матеріалознавства є розробка нових матеріалів з використанням технології порошкової металургії[1]. До таких матеріалів можуть бути віднесені порошкові матеріали конструкційного призначення, серед яких широке розповсюдження знайшли матеріали на основі заліза.

За умовами експлуатації порошкові конструкційні вироби розділяють на чотири групи: малонавантажені, помірноювантажені, середньонавантажені і тяжконавантажені. Особливе значення мають порошкові конструкційні матеріали для роботи в умовах високих навантажень. Для виготовлення важко навантажених деталей необхідно застосовувати матеріали підвищеної міцності, яка для порошкових матеріалів на основі заліза істотно залежить від пористості. Тому для повної реалізації властивостей порошкових матеріалів необхідно отримувати їх з мінімально можливою пористістю. Необхідну щільність деталей можна досягти, використовуючи високоенергетичні методи, просоченням пористих заготовок легкоплавкими металами (мідь, латунь, евтектичні сплави на основі заліза і інших металів), а також легуючи їх марганцем, нікелем, хромом, молібденом. Використання таких методів отримання високо щільних

конструкційних матеріалів на основі заліза часто складних технологічних процесів, що визначає їх високу вартість.

Одним з варіантів отримання порошкових високолегованих матеріалів на основі заліза конструкційного призначення для роботи в тяжко навантажених вузлах, особливо коли кінцевою метою є отримання високої щільності виробів, може бути спікання вихідних пресовок у присутності рідкої фази або просочення пористих каркасів на основі заліза і його сплавів легкоплавкою металеву зв'язкою. При цьому, як легкоплавку металеву складову, що утворює рідку фазу при спіканні або розплав якої просочує пористий каркас доцільно використовувати самофлюсівні сплави на основі нікелю (СФН) або заліза(СФЗ) [2]–[4]. Останні мають відносно малу температуру плавлення у межах від 980 до 1100 °С залежно від їх складу та високі механічні характеристики – твердість та ударну в'язкість, зносостійкість [2]. Окрім того, такі сплави стійкі до окиснення за рахунок того, що вони мають властивість самофлюсування [2], [5].

Виходячи з викладеного, вивчення умов отримання таких матеріалів та їх властивостей з метою визначення галузей їх застосування є досить актуальною задачею. Метою роботи було вивчення впливу складу матеріалів з композицій Fe – СФЗ та методів їх компактування на деякі механічні властивості – твердість, міцність на згин та міцність на розтягування.

В роботі досліджувався вплив умов отримання композиційних матеріалів конструкційного призначення з суміші порошоків заліза і самофлюсівних сплавів (СФЗ) з вмістом останнього від 10 % до 30%.

Матеріали для дослідження механічних характеристик отримували за трьома технологіями оптимальними режимами визначеними в роботах [6], [7]: 1) пресуванням суміші з вихідних порошоків заліза та СФЗ з наступним спіканням отриманих заготовок у середовищі водню; 2) пресуванням суміші з вихідних порошоків заліза та СФЗ з наступним спіканням отриманих заготовок у вакуумі; 3) пресуванням з вихідних порошоків заліза пористих заготовок з наступним їх просоченням розплавом самофлюсівного сплаву у середовищі водню та вакуумі.

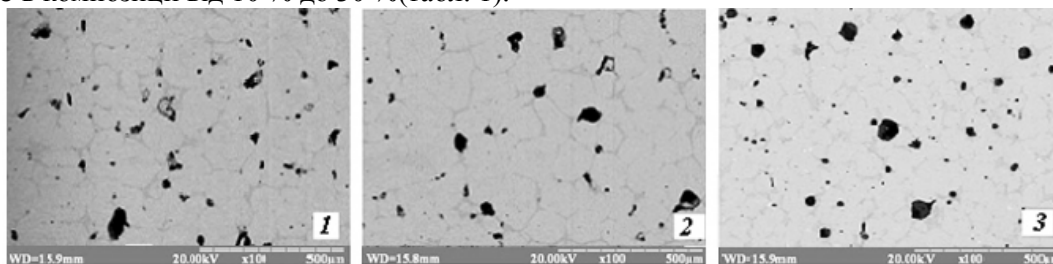
У випадку отримання матеріалів пресуванням з наступним спіканням у середовищі водню готували суміш порошоків заліза та самофлюсівного сплаву (табл. 1) з різним вмістом СФЗ – 10 %, 15 %, 20 % та 30 %, з якої пресували зразки за тиску 700 МПа та спікали їх у муфельній печі у середовищі водню за температури 1200 °С протягом 45 хв.

У другому випадку зразки після пресування за тих же умов, що і у попередньому випадку, спікали у вакуумній печі в якій створювався вакуум $3 \cdot 10^{-1}$ Па.

При отриманні зразків просочуванням пресували з порошку заліза заготовки з об'єм пор, який забезпечував би при просочуванні їх розплавом СФЗ вміст останнього у матеріалі 10, 15, 20 та 30 %. Об'єм пор визначали за методикою роботи [8].

В роботі досліджувались структура, отриманих за зазначеними вище технологіями, матеріалів, їх твердість, міцність на згин та міцність на розтягування. Структура досліджувалась з використанням електронного мікроскопу РЕМ–106. Твердість, міцність на згин та міцність на розтягування визначали за стандартними методиками. Результати наведені на рисунках 1–3 та в таблиці 1.

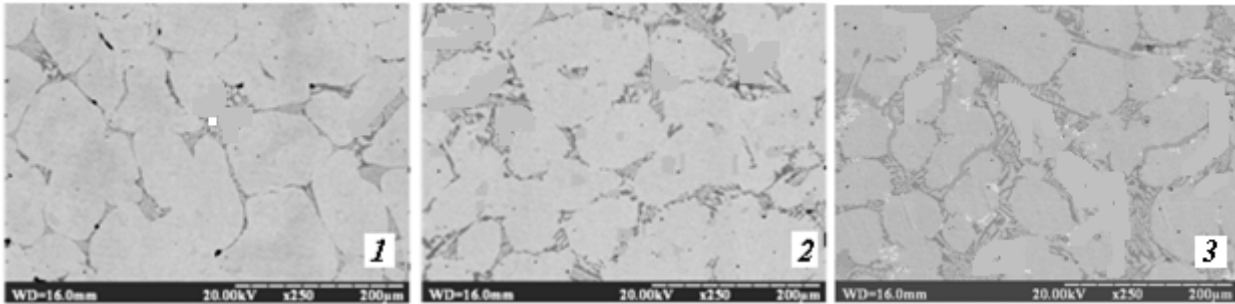
Отримані результати при вивченні матеріалів отриманих спіканням у середовищі водню показало, що вони мають пористість (рис. 1), яка зменшується від 4 % до 9 % зі збільшенням вмісту СФЗ в композиції від 10 % до 30 % (табл. 1).



1 – 10; 2 – 20; 3 – 30

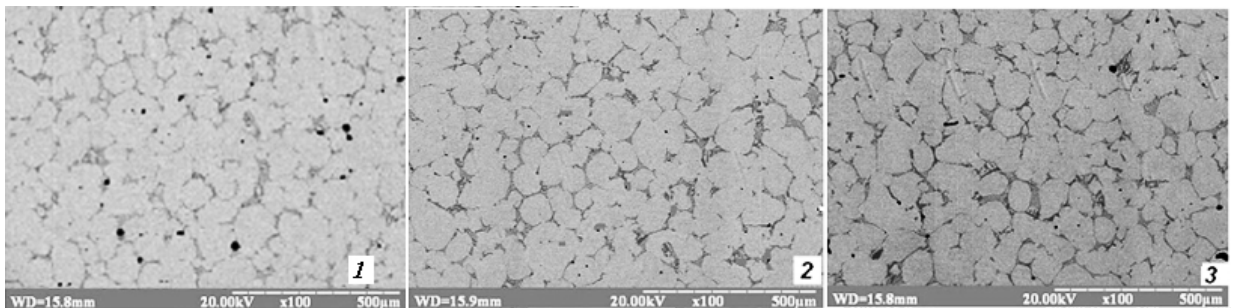
Рис. 1. Структура композиційних матеріалів з різним вмістом СФЗ (%) спечених у водні (x100)

Наявність пористості, як показано в роботі [6], зумовлено утворенням на початкових стадіях спікання (при плавленні легкоплавкої складової СФЗ) у присутності рідкої фази закритих пор, тиск газу в яких при подальшому нагріванні виробу до температури спікання (1200 °С) протидіє лапласівським силам, які сприяють в'язкому запливанню пор.



1 – 10; 2 – 20; 3 – 30

Рис. 2. Структура композиційного матеріалу на основі заліза з різним вмістом СФЗ (%) спечених у вакуумі (x 250)



1 – 10; 2 – 15; 3 – 20

Рис. 3. Структура композиційного матеріалу на основі заліза з різним вмістом СФЗ(%) отриманого просоченням (x100)

Отримані результати при вивченні матеріалів отриманих спіканням у середовищі водню показало, що вони мають пористість (рис. 1), яка зменшується від 4 % до 9 % зі збільшенням вмісту СФЗ в композиції від 10 % до 30 % (табл. 1). Наявність пористості, як показано в роботі [6], зумовлено утворенням на початкових стадіях спікання (при плавленні легкоплавкої складової СФЗ) у присутності рідкої фази закритих пор, тиск газу в яких при подальшому нагріванні виробу до температури спікання (1200 °С) протидіє лапласівським силам, які сприяють в'язкому запливанню пор.

Таблиця 1.

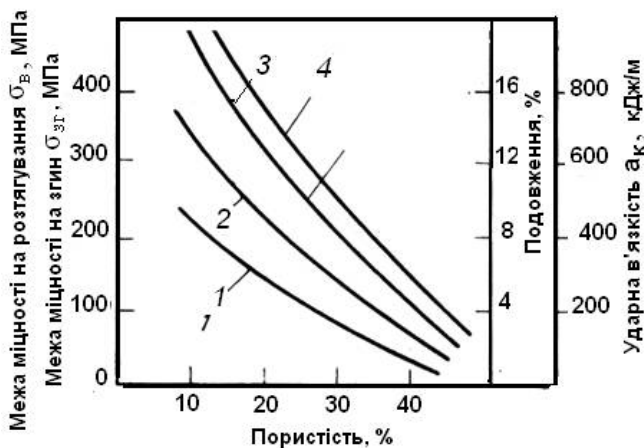
Характеристики композиційних матеріалів з композицій Fe – СФЗ

Метод отримання	Вміст СФЗ, %	Властивості			
		Пористість, %	Твердість, HRC	Міцність на згин σ_{zg} , МПа	Міцність на розтягування σ_b , МПа
Пресуванням з наступним спіканням у середовищі водню	10	8,86	20	1132	560
	20	8,35	35	1046	550
	30	3,80	48	965	562
Пресуванням з наступним спіканням у вакуумі	10	1,12	30	1100	640
	15	0,82	52	1350	664
	20	0,23	57	1262	660
Просочуванням пористих розплавом СФЗ	10	0,81	24	1260	620
	15	0,54	28	1300	645
	20	0,61	42	1325	640
	30	0,25	52	1278	615

Вивчення твердості та механічних характеристик матеріалів показує (табл. 1), що вони є залежними від пористості матеріалу та вмісту в ньому СФЗ. Так твердість зі збільшенням вмісту в матеріалі СФЗ від 10 % до 30 % збільшується від 20 до 48 HRC а межа міцності на згин зменшується від 1132 МПа до 965 МПа. Межа міцності на розрив практично залишається незалежною від пористості та вмісту СФЗ.

Такий хід залежностей можна пояснити наступним. Залежність твердості повинна узгоджуватись з сучасними уявленнями про вплив пористості на властивості порошкових виробів [1], згідно яким вона повинна збільшуватись зі зменшенням останньої. Останнє і спостерігається у нашому випадку (табл. 1). Але причиною збільшення твердості матеріалів, що вивчалися в роботі, може бути також збільшення в них вмісту СФЗ, який має значно більшу твердість [2] ніж залізо. При цьому причиною збільшення твердості також може бути взаємодія СФЗ з залізом. Як показано в роботі [2], при взаємодії між ними відбувається дифузія складових СФЗ (С, Ni, Cr, В, Si) в частинки заліза з утворенням в них твердих розчинів та складних карбоборидів заліза, які мають більшу твердість ніж чисте залізо.

Міцність на згин $\sigma_{зг}$ та на розтягування $\sigma_{в}$ досліджуваних матеріалів також залежить від їх пористості та вмісту СФЗ. При цьому характер їх залежності, особливо міцності на згин, не відповідає сучасним уявленням про вплив пористості на її значення. Вона зменшується зі зменшенням пористості але залишається більшою ніж для порошкових виробів на основі заліза [9] (рис.4). У цьому випадку, мабуть, слід приймати до уваги комплексний вплив на характеристики міцності пористості та вмісту СФЗ. Як відомо [10], [11], характеристики міцності матеріалів багато у чому залежать від якості контактної поверхні. Наявність СФЗ в сплаві значно покращує (змінює міцність між частинками заліза) її. Останнє зумовлено тим, що СФЗ, як і інші самофлюсівні сплави, в розплавленому стані розчиняють домішки, наприклад оксидів заліза. Окрім того, на межі поділу Fe – СФЗ відбувається взаємодія між складовими з утворенням проміжних структур і, як наслідок, зменшення градієнту властивостей, що приводить до покращення зчеплення між зернами заліза. Останнє зумовлює підвищення механічних характеристик.



1 – межа міцності на розтягування $\sigma_{в}$; 2 – ударна в'язкість $\alpha_{к}$;
3 – відносьне подовження після розриву δ ; 4 – межа міцності на згин $\sigma_{зг}$

Рис. 4. Вплив пористості на механічні властивості матеріалів на основі порошку заліза [1]

В той же час, збільшення в матеріалі твердої (тим самим більш крихкої) складової СФЗ сприяє зменшенню механічних характеристик матеріалу у цілому, що і спостерігається у нашому випадку (табл. 1).

Вивчення міцності на розрив показало, що вона слабо залежить від пористості і вмісту СФЗ. Деяка не монотонність залежності може бути зумовлена конкуренцією впливу пористості і вмісту СФЗ. Слабка залежність міцності на розрив від вмісту в композиції СФЗ може свідчити, що переважний вплив на руйнування сплавів Fe – СФЗ має міцність на межі поділу фаз, площа якої у нашому випадку суттєво залежить від вмісту СФЗ і може бути оцінена питомою поверхнею вихідного порошку заліза.

Вивчення властивостей досліджуваних матеріалів отриманих пресуванням з наступним спіканням у вакуумі показало, що вони вище ніж у матеріалів спечених у середовищі водні. На

нашу думку останнє може бути зумовлене, що отримані матеріали незалежно від їх складу мають пористість, яка не перевищує 1,5 % (рис. 2, табл. 1) і мають структуру з рівномірно розподіленими фазовими складовими. При цьому фаза СФЗ утворює рівномірне мереживо, всередині якого розміщені зерна заліза. Таку структуру можна ототожнити з “сотовою”.

Міцність на згин та на розрив має найбільші значення при вмісті 15 % СФЗ. Збільшення вмісту СФЗ приводить до деякого зниження цих характеристик. Останнє узгоджується з викладеними вище міркуваннями, що на характеристики міцності переважний вплив має якість (міцність) контакту на межі фаз. Збільшення кількості твердої (крихкої) складової приводить до деякого зниження характеристик міцності.

Властивості матеріалів отриманих просочуванням пористих каркасів з порошку заліза розплавом самофлюсівного сплаву подібні до властивостей матеріалів отриманих спіканням у вакуумі (табл. 1). Але у деяких випадках, при рівних інших умовах (вмісті СФЗ), вони дещо вищі. Зважаючи на подібну структуру отриманих таким чином матеріалів останнє може бути пояснене більш якісним рафінуванням поверхні між зернами і, тим самим, збільшенням її міцності. Останнє узгоджується з даними робіт [12] про можливість рафінування матеріалів за рахунок направленої руху розплаву, як це має місце при просочуванні.

Висновки

Проведені дослідження показали, що використання самофлюсівних сплавів на основі заліза дозволяє отримувати композиційні матеріали за їх участю методами порошкової металургії з високими показниками щільності, механічних властивостей та заданою структурою. Змінюючи умови отримання матеріалів, можна створювати їх з наперед заданими властивостями за рахунок зміни кількісного складу матеріалу та регулювання його структури, яка повинна бути каркасною. Встановлено, що найбільш високі механічні характеристики мають матеріали отримані методом просочення пористих каркасів з заліза розплавом самофлюсівного сплаву. У цьому випадку поряд з утворенням каркасної структури відбувається підвищення міцності між фазовими складовими за рахунок рафінування поверхні на межі фаз під час просочування.

Література

1. Степанчук А.Н. Технология порошковой металлургии / А.Н. Степанчук, И.И. Билык, П.А. Бойко // К.: “Вища школа”, 1989. – 415 с.
2. Степанчук А.М. Використання самофлюсівних сплавів при створенні композиційних матеріалів та покриттів [Електор. ресурс] / А.Н. Степанчук, О.А. Демиденко, Л.О. Бірюкович, М.Б. Шевчук // Матеріали міжнародної конференції “Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра”, – Київ: НТУУ “КПІ”, 2013. – 0 С. 454–465
3. Степанчук А.М. Матеріали для напилювання покриттів [текст] навч. посіб. / А.М. Степанчук, І.І. Білик. – К.: Центр учбової літератури, 2016. – 226 с.
4. Дубовий О.М. Технологія напилювання покриттів: Підручник. / О.М. Дубовий, А.М. Степанчук. – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.
5. Степанчук А.Н. Исследование процесса самофлюсования сплавов на основе железа / А.Н. Степанчук, А.А. Нечипоренко, П.И. Лобода // Журнал “Адгезия расплавов и пайка материалов”, 1992. вып. 27. – С. 93–95.
6. Конструкційні порошкові матеріали на основі заліза за участю самофлюсівних сплавів / А.М. Степанчук, О.А. Демиденко, А.В. Демиденко, К.В. Шаповал // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2012. – №1. – С. 51 – 60.
7. Демиденко О.А. Вплив методу компактування на структуру та властивості порошкових матеріалів на основі заліза та самофлюсівних сплавів / О.А. Демиденко, А.М. Степанчук, К.В. Шаповал // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах - 3», – К.: 20 – 21 листопада 2012. – С. 29 – 34

8. Степанчук А.М. Отримання зносостійких композиційних матеріалів за участю самофлюсівних сплавів просочуванням /А.Н. Степанчук, М.Б.Шевчук//Наукові вісті ТУУ"КПІ". – 2013. – №5. – С 87 – 92.
9. Радомысельский И.Д. Конструкционные порошковые материалы. /И.Д. Радомысельский , Г.Г. Сердюк , И.И Щербань. – К.: Техника, 1985. – 152с.
10. Майборода В.С. Основи механіки руйнування/В.С. Майборода,М.М. Бобіна, Т.В. Лоскутова , Н.В. Мініцька. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 124 с.
11. Трефилов В.И. Физические основы прочности и пластичности тугоплавких металлов. / В.И. Трефилов, Ю.В. Мильман, С.А. Фирстов . – К. : Наукова думка, 1975. – 315 с.
12. Лобода П.И. Механизм первичной очистки от примесей при зонной плавке порошковых борсодержащих материалов / П.И. Лобода, В.Я. Шлюко, В.В. Ковыляев// Порошковая металлургия,2001. – № 3–4. – С. 109 – 124.
13. Лобода П.І. Спрямовано закристалізовані бориди. /П.І. Лобода. – К. : Праймдрук, 2012.– 395 с.