

А.В. Мініцький

Розробка композиційних порошкових матеріалів електротехнічного призначення

НТУУ «КПІ», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, тел. 4549904, e-mail: minitsky@i.ua

Робота присвячена розробці порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі композиційних залізних порошоків для роботи в постійних та змінних полях промислової частоти. На основі результатів досліджень обґрунтовано і експериментально підтверджена ефективність використання для одержання спечених магнітно-м'яких матеріалів з підвищеним рівнем магнітних характеристик порошоків заліза плакованих нікель-фосфором, оловом та фосфором.

Ключові слова: магнітно-м'які матеріали, плакований порошок.

Стаття постуила до редакції 10.02.2014; прийнята до друку 15.09.2014.

Вступ

Електротехніка, автомобільна промисловість, побутова техніка для виготовлення різного типу сердечників, магнітопроводів, реле та інш. виробів використовують прокат електротехнічних і низьковуглецевих сталей. Виробництво таких деталей характеризується низьким коефіцієнтом використання металу (0,3 - 0,7), підвищеною трудомісткістю і низькою технологічністю [1]. Проте, використання безвідходної технології порошкової металургії для виготовлення магнітно-м'яких виробів обмежується високими значеннями магнітних втрат при роботі у змінних полях [2]. В останні роки для вирішення проблеми використання порошкових магнітно-м'яких матеріалів у змінних полях з'явилися нові напрямки по отриманню спеціальних композиційних матеріалів (SMC), в яких частинки вихідного порошку покриваються оболонкою (прошарком) легуючого компоненту, що може бути металом, неметалом, органічним або неорганічним матеріалом [3].

Технологічні режими виготовлення порошкових магнітно-м'яких матеріалів є одними з важливих факторів, що впливають на магнітні характеристики отриманих виробів. Від технології виготовлення залежить щільність та структура кінцевих матеріалів. Наявність закритих та відкритих пор суттєво зменшує магнітну індукцію і проникність, через те, що на поверхні пор виникає розмагнічуюче поле, яке призводить до зниження проходження магнітного потоку в суцільно пресованих магнітних матеріалах та погіршення магнітних властивостей. Спостерігається значна залежність магнітних

властивостей від структурного стану матеріалу. Методи порошкової металургії дозволяють отримувати практично безпористі матеріали шляхом гарячого пресування та гарячої штамповки, однак при цьому утворюється дрібнозеренна структура. Для зняття структурної незавершеності, що вноситься пластичною деформацією, потребується рекристалізаційний відпал, для того щоб отримати матеріал з однорідною та крупнозереною структурою.

Традиційно відомі порошкові магнітно-м'які матеріали на основі залізного порошку, легованого кремнієм, фосфором, алюмінієм, бором знаходять обмежене застосування через високі магнітні втрати, що виникають у суцільнопресованих магнітопроводах [4]. Тому подальший напрямок розвитку порошкових матеріалів може бути пов'язаний із удосконаленням процесів підготовки і одержання плакованих композиційних порошоків із заданими структурою і фізико – технологічними характеристиками та методів отримання із них магнітно-м'яких матеріалів з високими магнітними властивостями.

В зв'язку з цим стає цікавим і перспективним отримання порошкових виробів із шаруватими структурами шляхом створення макрошарів з металевих та неметалевих компонентів або мікрошарів на частинках залізного порошку чи його сплавів шляхом їх плакування. Уявляється можливим шляхом конструювання шарувато-градієнтних магнітопроводів, управляти не тільки магнітними властивостями, але й електроопором, що необхідно для зниження магнітних втрат на вихореві струми, що є важливою умовою роботи суцільно пресованих порошкових виробів в змінних полях [5].

Метою даної роботи є розробка порошкового магнітно-м'якого матеріалу на основі композиційного залізного порошку плакованого оловом, нікелем та фосфором, для створення магнітопроводів для роботи в постійних та змінних полях.

I. Методика експерименту

Комплексне дослідження умов отримання, магнітних і фізико-механічних властивостей дозволяє одержати повну інформацію про експериментальні матеріали і ефективно використовувати ці дані при вирішенні практичних питань по виготовленню магнітопроводів і магнітних систем. Крім необхідної механічної міцності і технологічності до виробів з порошкових магнітно-м'яких композиційних матеріалів пред'являється ряд специфічних вимог: високі значення індукції насичення B_s і магнітної проникності μ ; низькі значення коерцитивної сили H_c , втрат на гістерезис P_r і на вихореві струми P_v . Ці параметри, у свою чергу, залежать від складу і виду

легуючих елементів у матеріалі на основі залізного порошку, його структурно-фазового стану і технології виготовлення, що і обумовлює значення магнітних властивостей розроблювальних матеріалів у постійних і змінних полях промислової частоти.

Отримання плакованих порошків проводилось методом хімічного осадження на залізний порошок фосфору, нікель-фосфору і олову із розчинів солей з використанням різних відновлювачей та комплексоутворювачів. Процес нанесення покриття шляхом хімічного відновлення забезпечує можливість отримання рівного по товщині і якості покриття на усіх ділянках рельєфної поверхні за умови доступу до неї розчину (рисунок 1). При цьому встановлено, що при плакуванні залізного порошку нікель-фосфором з лужного середовища забезпечується одержання залізо-нікель-фосфорних порошків з меншим, у порівнянні з кислим середовищем, вмістом нікелю і фосфору, що особливо помітно після відпалювання порошків.

При виготовленні порошкових магнітно-м'яких матеріалів необхідно враховувати деякі особливості формування порошкових сумішей та плакованих

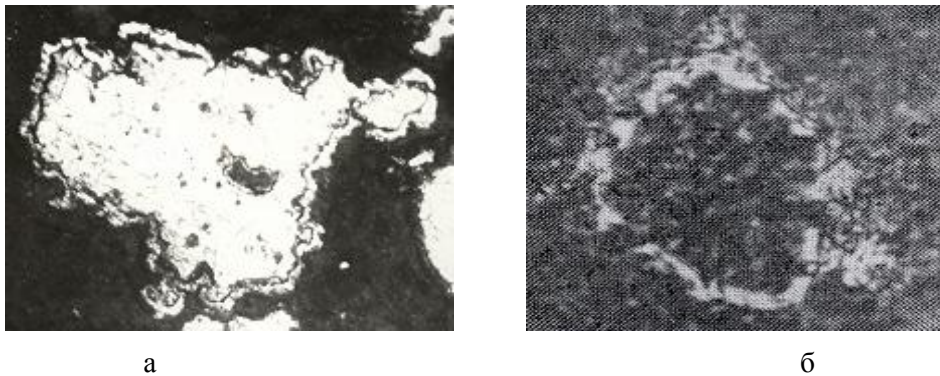


Рис. 1. Мікроструктура залізних порошків плакованих Sn (а) і Ni-P (б) x 360.

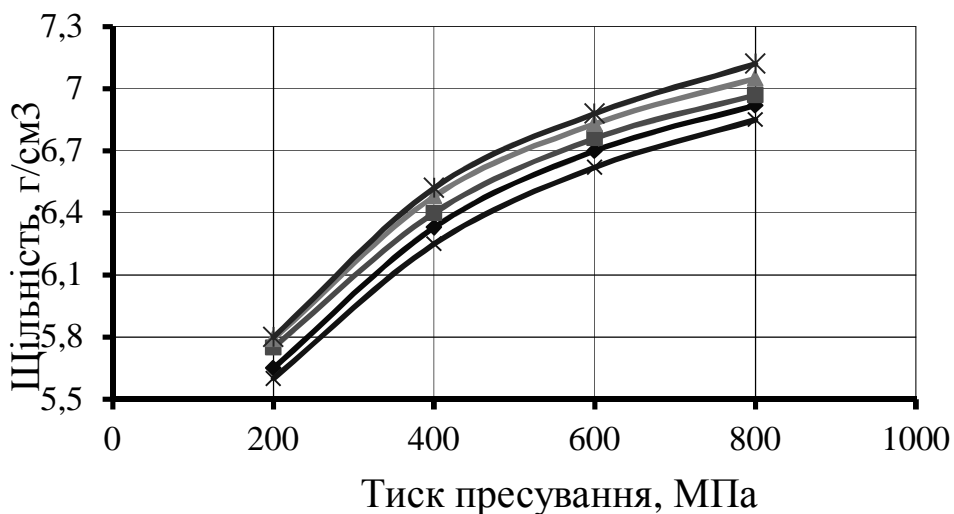


Рис. 2. Залежність щільності зразків із плакованого залізного порошку ПЖРВ3.200.28 від тиску пресування: 1 – ПЖРВ3.200.28 плакований оловом; 2 – ПЖРВ3.200.28 плакований нікель-фосфором (щел); 3 – ПЖРВ3.200.28 плакований нікель-фосфором (кисл); 4 – ПЖРВ3.200.28 вихідний; 5 – ПЖРВ3.200.28 з фосфором.

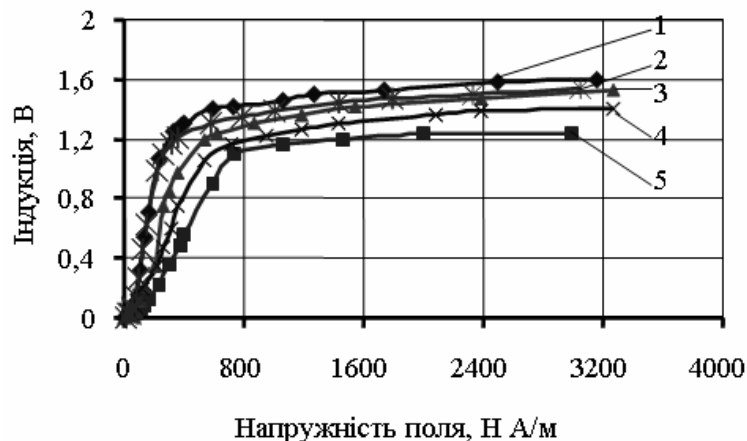


Рис. 3. Криві намагнічування зразків із плакованого залізного порошку у постійному магнітному полі: 1 – зразки із заліза плакованого фосфором; 2 – зразки із заліза плакованого оловом; 3 – зразки із заліза; 4 – зразки із заліза плакованого нікель-фосфором (лужне середовище); 5 – зразки із заліза плакованого нікель-фосфором (кисле середовище).

Таблиця

Вплив плакування порошків на щільність зразків та їх магнітні властивості у постійному і змінному полі

Склад покриття на частинках залізного порошку	Щільність γ г/см ³	Електричний опір, Ом·м	Постійне поле		Зміне поле	
			B_{2500} , Тл	μ_{max}	B_{2500} , Тл	$P_{1,0/50}$, Вт/кг
Плакування Р	7,28	17	1,52	3700	1,27	25,4
Плакування Ni-P (лужний метод)	7,26	17	1,35	1280	1,15	17,5
Плакування Ni-P (кислотний метод)	7,14	16	1,22	1300	1,09	13,6
Плакування Sn	7,28	15	1,45	3800	1,25	14,9
Залізо ПЖРВ3.200.28	7,25	11	1,4	3200	1,22	38

порошків на основі заліза.

Спочатку було визначено ущільнюваність залізного порошку ПЖРВ3.200.28 плакованого фосфором, нікель-фосфором та оловом при кімнатній температурі (рисунок 2). Як видно з рисунку 2, плакування вітчизняного залізного порошку металами дозволяє підвищити його ущільнюваність на 0,1 - 0,2 г/см³, що відбувається за рахунок того, що більш пластичні плівки покриття сприяють кращій деформації частинок порошку при пресуванні на всьому діапазоні тисків. Зниження ущільнюваності відбувається лише при застосуванні фосфору, що обумовлено крихкістю останнього.

Магнітні властивості магнітно-м'яких матеріалів суттєво залежать від режимів спікання і високотемпературних відпалів, у процесі яких формується кінцева структура порошкового матеріалу. Наявність домішок С, О₂ погіршує магнітні властивості виробів, знижуючи магнітну індукцію і проникність та збільшуючи коерцитивну силу і питомі магнітні втрати. Тому всі технологічні операції відпалювання і термічної обробки в роботі проводили в вакуумі, що дозволяє захистити матеріал при температурі 1250 °С протягом 2 годин.

Криві намагнічування зразків кільцевої форми розміром 35x25x5 мм у постійних полях визначали на вимірювальній інформаційній системі В-5045

балістичним методом. На рисунку 3 приведені криві намагнічування в постійному полі зразків, отриманих із залізних порошків, плакованих фосфором, нікель-фосфором та оловом.

Для вивчення магнітних характеристик зразків у змінних полях використовували ватметрову схему вимірювання за допомогою ферометра Ф5 при синусоїдальному режимі магнітної індукції. За допомогою ферометра знімалися дані для динамічної основної кривої намагнічування і визначалися питомі магнітні втрати в матеріалі при частоті 50 Гц (таблиця 1).

II. Результати та обговорення

Як видно з даних представлених на рис. 3 і в табл. 1, плакування залізного порошку фосфором дозволяє на 15 % підвищити магнітну проникність і на 30 – 33 % зменшити магнітні втрати. Найбільш суттєве зниження магнітних втрат (до 60 %) досягається при використанні залізного порошку плакованого оловом та нікель-фосфором із кислого середовища.

Підвищення магнітних властивостей матеріалів із плакованих порошків пов'язане з утворенням гомогенних твердих розчинів плакуючих добавок в

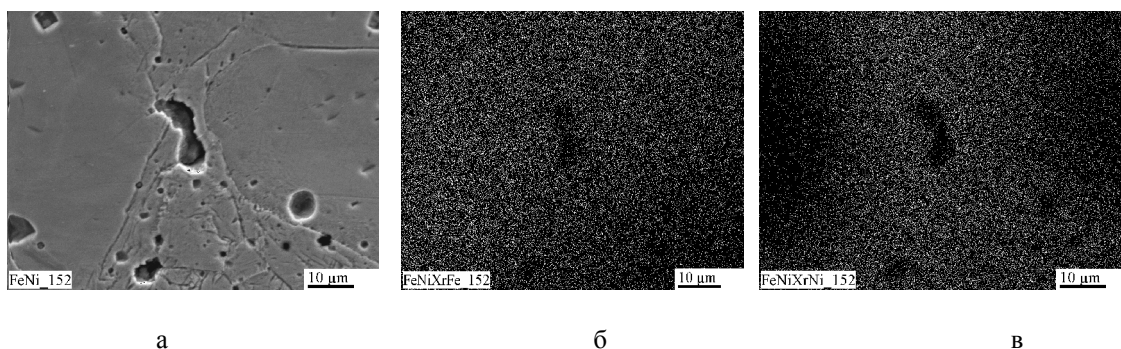


Рис. 4. Мікрорентгеноспектральний аналіз зразків із залізного порошку плакованого нікель-фосфором: а – в електронних променях; б – в характеристичних промінях заліза; в – в характеристичних промінях нікелю.

залізі, що підтверджується результатами металографічного та рентгенофазового аналізів спечених матеріалів.

У разі підвищення температури спікання спостерігається перерозподіл покриття: частина атомів металу, що покриває залізну частинку, дифундує у глибину частинки, тому товщина покриття частинок зменшується. Це підтверджують і проведені дослідження мікроструктури зразків на рентгенівському мікроаналізаторі “Superprob-733” при збільшенні в 1500 і вище (рисунок 4).

Як показав мікрорентгеноспектральний аналіз, у випадку плакування заліза нікель-фосфором відбувається дифузія елементів покриття частинок у глибину зерен заліза, що приводить до їх насичення нікель-фосфором. Це в свою чергу приводить до зміни фізико-механічних та магнітних властивостей матеріалу. Оскільки магнітні властивості матеріалу є структурно залежними характеристиками, збагачена легуючим компонентом при поверхнева частина зерен є зоною підвищеного електричного опору, що впливає на загальні магнітні втрати зразка. Вимірювання електричного опору зразків із плакованих порошків показало, що їх електричний опір зростає на 35 – 40 % у порівнянні із зразками з чистого заліза (таблиця).

Таким чином, плакування залізного порошку металевими компонентами дозволяє отримати структуру яка відрізняється від структури отриманої при звичайному механічному змішуванні легуючої добавки із залізним порошком. Це дозволяє стверджувати, що матеріали отримані із плакованих залізних порошків є більш перспективними з точки зору їх подальшого застосування для магнітно-

м’яких матеріалів, що працюють у змінних полях.

Висновки

1. Показано, що плакування залізного порошку вітчизняного виробництва металевими компонентами дозволяє підвищити його ущільнюваність на 0,1 - 0,2 г/см³, що відбувається за рахунок того, що більш пластичні плівки покриття сприяють кращій деформації частинок порошку при пресуванні на всьому діапазоні тисків.
2. Дослідження магнітних властивостей порошкових матеріалів із плакованих порошків показало, що плакування залізного порошку фосфором, оловом, нікель-фосфором дозволяє знизити магнітні втрати матеріалу до 15 – 20 Вт/кг при індукції 1 Тл, що в 2 - 3 рази нижче ніж у матеріалів із залізного порошку. Зменшення магнітних втрат відбувається за рахунок утворення твердих розчинів, що приводить до збільшення на 35 - 40% електричного опору матеріалів.
3. Результати проведених досліджень можуть бути використані при створенні магнітно-м’яких композитів для роботи у змінних полях промислової частоти.

Мініцький А.В. - кандидат технічних наук, доцент кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії інженерно-фізичного факультету НТУУ «КПІ», старший науковий співробітник.

- [1] D.D. Myshyn, Mahnytnye materyaly (Vysshaya shkola, Moskva, 1981).
- [2] L.N.,Tul'chynskyy, O.A. Panasyuk, Poroshkovaya metalurhiya, 7(8), 53 (1995).
- [3] B. Sustarsic, A. Sirc, D. Milyavec, Conference Proceedings PM Functional Materials 4, 629 (2004).
- [4] Y. Shimada et al., Powder Metall 53(8), 686 (2006).
- [5] A.V. Minits'kyu, Rozrobka ta vlastyosti poroshkovykh mahnitno-m'yakyykh materialiv na osnovi kompozysinykh zaliznykh poroshkiv dlya detaley elektrotekhnichnoho pryznachennya. Avtoreferat dysertatsiyi na zdobuttya naukovoho stupenya kandydata tekhnichnykh nauk (2007).