

Магнітном'які матеріали на основі композиційних залізних порошків для роботи у змінних полях

А. В. Мініцький, кандидат технічних наук

О. О. Панасюк*, кандидат технічних наук

О. В. Власова*, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

В роботі досліджено вплив технологічних режимів виготовлення магнітном'яких матеріалів на основі залізного порошку, плакованого кобальт-фосфором, на магнітні та фізико-технологічні властивості. Показано, що основними факторами, які впливають на магнітні властивості матеріалів на основі залізних порошків, плакованих кобальт-фосфором, є температура спікання та час ізотермічної витримки. Встановлено несуттєвий вплив режимів спікання на величину магнітних втрат при суттєвому впливі складу композиту. Отримані результати досліджень можуть бути використані при створенні магнітном'яких композитів для роботи у змінних полях промислової частоти.

Розробка і використання магнітних матеріалів у змінних полях з низькими втратами енергії при перемагнічуванні є актуальним і на теперішній час [1]. Одним з нових напрямків при виготовленні магнітном'якого матеріалу є використання композиційних залізних порошків, вихідна складова яких покривається шаром легуючих компонентів, якими можуть бути органічні і неорганічні матеріали [2]. Для матеріалів, що працюють у змінних магнітних полях, найважливішими властивостями є початкова магнітна проникність і питомі магнітні втрати на перемагнічування [3]. Для вирішення таких суперечливих задач необхідно знаходити нові рішення і підходи при створенні магнітном'яких матеріалів, забезпечити водночас високу магнітну проникність, яка вимагає створення гомогенної і грубозернистої структури з мінімальним вмістом домішок, а також низькі магнітні втрати. Для цього необхідно підвищувати питомий електричний опір за рахунок легування іншими матеріалами, що є дуже складним завданням.

Відомо, що питомі магнітні втрати можуть бути обмежені кількома шляхами. Наприклад, в матеріали на основі залізних порошків вводять легуючі добавки (фосфор, кремній, алюміній, бор), використовують лускаті порошки і шаруваті вироби, проводять поверхневе оксидування частинок вихідного матеріалу для утворення ізолюючої плівки [4]. Плакування залізного порошку легуючими компонентами є одним з варіантів підвищення питомого електричного опору, що забезпечує зниження втрат на вихрові струми. При цьому більшість досліджень, що стосуються розробки плакованих порошків, пов'язана з використанням органічних матеріалів, які суттєво знижують електропровідність матеріалу на основі залізного порошку, за рахунок чого знижуються втрати на перемагнічування [5]. Проте, легування залізного порошку діелектричними

Нові технологічні процеси і матеріали

складовими призводить до зниження магнітної індукції і проникності, через що матеріал стає не придатним для використання в якості деталей магнітопроводів. Тому, в даній роботі пропонується використовувати феромагнітний матеріал для плакування залізного порошку, який дозволить водночас підвищити питомий електричний опір і забезпечити високі магнітні властивості матеріалу.

Метою даної роботи є розробка технологічних режимів виготовлення порошкових магнітних матеріалів на основі залізного порошку, плакованого кобальтом, для створення магнітопроводів, що здатні працювати в змінних полях промислової частоти.

Було досліджено магнітні та фізико-механічні характеристики матеріалів на основі залізного порошку плакованого кобальтом. Плакування проводили методом хіміко-термічного відновлення кобальту з CoCl_2 , що дозволило отримати залізні порошки, покриті кобальтом з товщиною шару 12, 15 і 18 мкм. Попередні дослідження технологічних та магнітних властивостей отриманих порошків показали, що найбільш прийнятними, з погляду використання їх у змінних полях, є порошки з товщиною покриття 15 мкм [6].

Із розроблених порошків були виготовлені дослідні зразки розміром 35x25x5 мм. Зразки виготовляли за схемою двократного пресування під тиском 700 МПа, з проміжним відпалом при 800 °С протягом 1 год. Після другого пресування зразки спікали у вакуумі при різних режимах (табл. 1). За стандартними методиками вимірювань були визначені магнітні характеристики в постійних та змінних полях [7].

Таблиця 1

Вплив режимів спікання на щільність та магнітні властивості матеріалів спечених у вакуумі

Склад	Індукція, Тл	Максимальна магнітна проникність	Щільність, г/см ³	Втрати P _{1/50} , Вт/кг
Температура 1100 °С, 1 год				
Fe	1,327	2800	7,17	38,66
Fe-Co	1,033	670	6,83	21,9
Температура 1100 °С, 2 год				
Fe	1,322	2806	7,09	38,76
Fe-Co	1,048	729	6,78	21,44
Температура 1200 °С, 1 год				
Fe	1,35	2720	7,15	41,24
Fe-Co	1,06	685	6,8	21,2
Температура 1200 °С, 2 год				
Fe	1,315	3000	7,16	36,64
Fe-Co	1,29	1050	6,72	20,92
Температура 1200 °С, 3 год				
Fe	1,364	3604	7,23	36,24
Fe-Co	1,533	1337	7,29	19,92

Результати вимірювань показують, що підвищення температури спікання до 1200 °С суттєво впливає на щільність та магнітні властивості отриманих матеріалів. Разом з цим не спостерігається помітного впливу часу витримки в межах 1 і 2 години

при 1100 і 1200 °С. Підвищення витримки до 3 годин призводить до суттєвого росту щільності, зростанню магнітної індукції в 1,5 рази і магнітної проникності в 2 рази. Одночасно з цим показано незначний вплив режимів спікання на величину магнітних втрат при суттєвому впливі складу композиту (табл. 1).

Для пояснення отриманих значень магнітних характеристик було проведено дослідження мікроструктури. Встановлено, що при температурі 1100 °С і нижче, та часі витримки 1 год. уповільнюється процес дифузії кобальту в твердий розчин, про що свідчить наявність окремих часток заліза після спікання, що зберігають покриття кобальту (рис. 1).

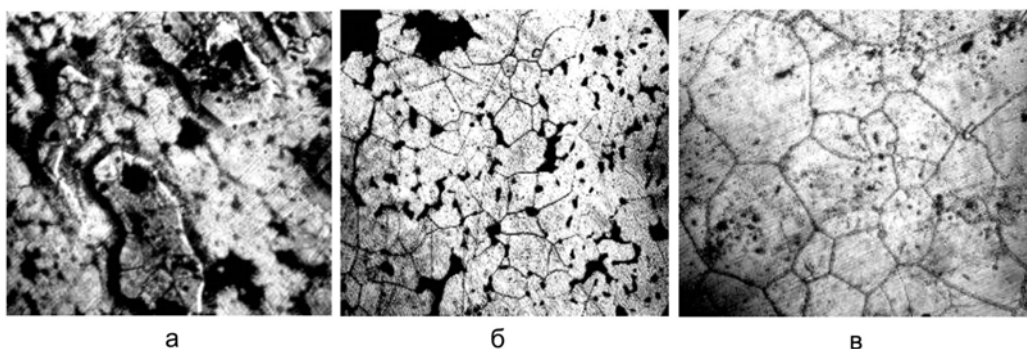


Рис. 1. Мікроструктура зразка з Co-P покриттям після спікання у вакуумі за різних режимів: а – 1100 °С, 1 година, б – 1200 °С, 2 години, в – 1200 °С, 3 години.

Підвищення температури спікання до 1200 °С і часу витримки до 2 і 3 годин дозволяє здійснити деяку гомогенізацію матеріалу і приводить до більш рівномірного розподілення кобальту в твердому розчині. Це підтверджують результати мікрорентгеноспектрального аналізу, які вказують на певну нерівномірність розподілення кобальту в твердому розчині при 1200 °С і витримці 1 годину. Так, при загальному вмісті кобальту в основі біля 12 – 15 % (мас. частка) вміст його на поверхні часток дещо вищий і складає приблизно 25 % (рис. 2). При підвищенні витримки до 3 годин спостерігається гомогенізація структури, при якій проходить рівномірне розподілення кобальту в залізі (рис. 3).

Плакування залізного порошку кобальтом призводить до суттєвого підвищення електричного опору матеріалу (рис. 4). При цьому спостерігається зворотна залежність питомого електричного опору від температури спікання та часу витримки. Це пов'язано з наявністю в структурі матеріалу покриття, яке зберігається біля вихідної частинки залізного порошку.

Отримані покриття дозволяють підвищити електричний опір матеріалу в 2 рази і знизити магнітні втрати на вихорцеві струми від 36 – 40 Вт/кг до 19 – 21 Вт/кг.

Дослідження фізико-механічних характеристик показали, що плакування залізного порошку зумовлює деяке підвищення твердості матеріалів і зниження міцності на згин. При цьому зі збільшенням температури і часу витримки спостерігається пропорційне зростання як твердості так і міцності (табл. 2, рис. 5).

Результати випробувань матеріалів на міцність при згині, показали, що плакування залізного порошку кобальтом призводить до зниження міцності матеріалів. При цьому із збільшенням температури і часу витримки спостерігається зростання міцності як для зразків із чистого залізного порошку, так і для плакованого кобальтом.

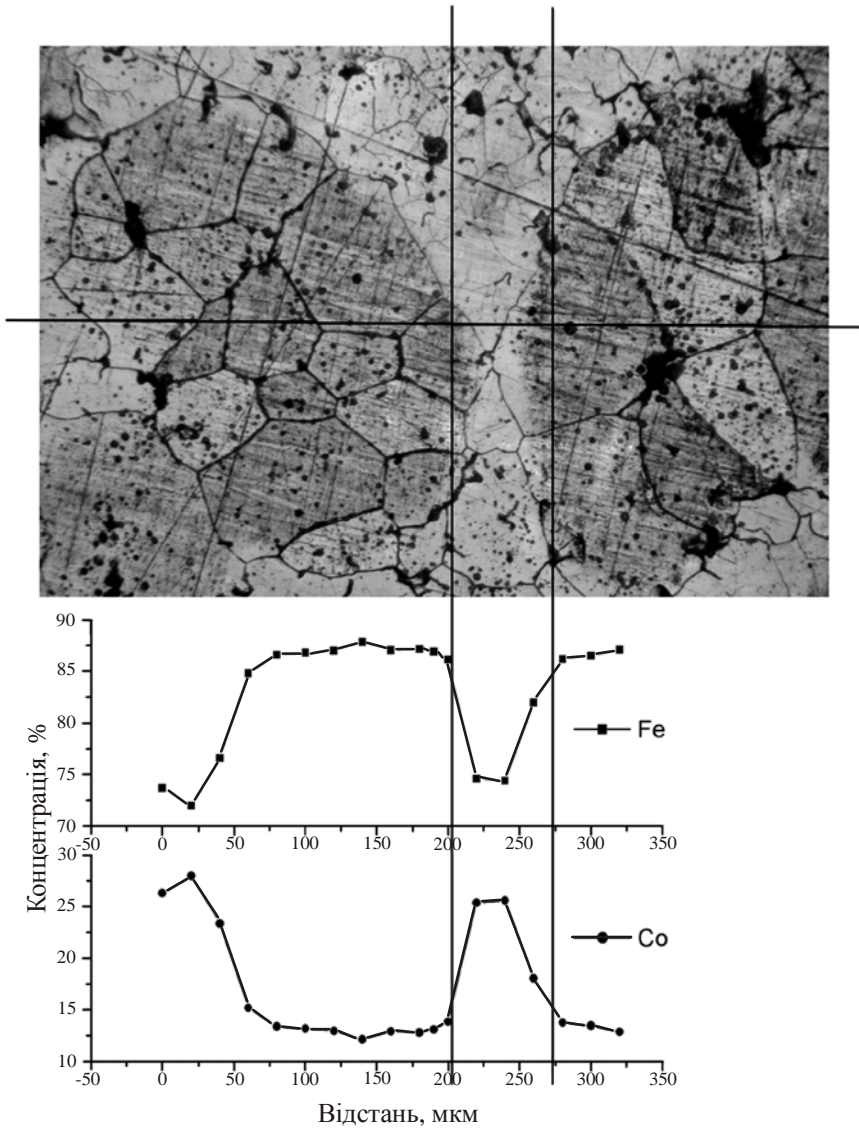
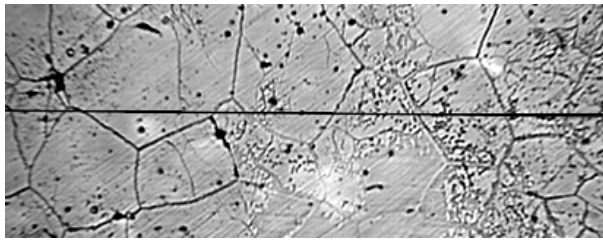


Рис. 2. Розподіл заліза та кобальту матеріалу на основі заліза, покритого кобальтом, після спікання у вакуумі при температурі 1200 °С, 1 годину. ● – кобальт, ■ – залізо.

Таблиця 2

Залежність твердості спечених зразків на основі заліза від технологічних режимів виготовлення

Склад	Твердість HRB			
	1100 °С, 1 година	1100 °С, 2 години	1200 °С, 1 година	1200 °С, 2 години
Fe	60,6	58,3	63,25	65,6
Fe-Co	63,7	65,5	65,0	68,0



а

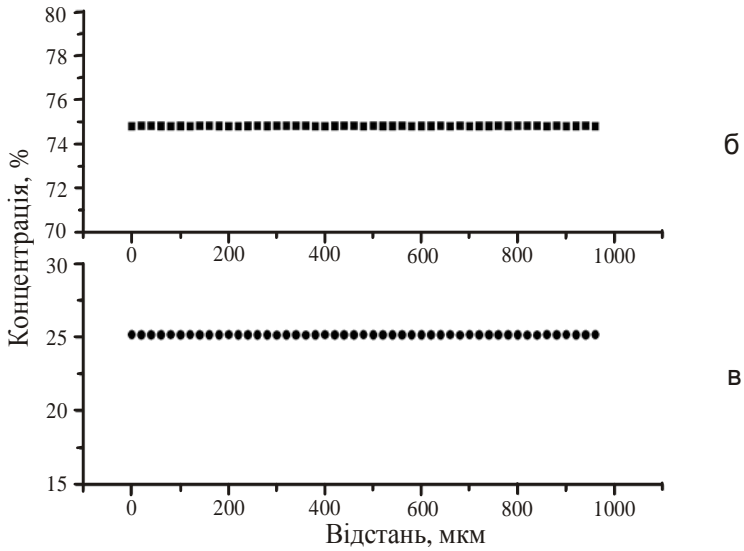


Рис. 3. Мікроструктура (а) та розподіл кобальту (б) і заліза (в) матеріалу на основі заліза, покритого кобальтом, після спікання у вакуумі при температурі 1200 °С, 3 години.
 ■ – кобальт, ● – залізо.

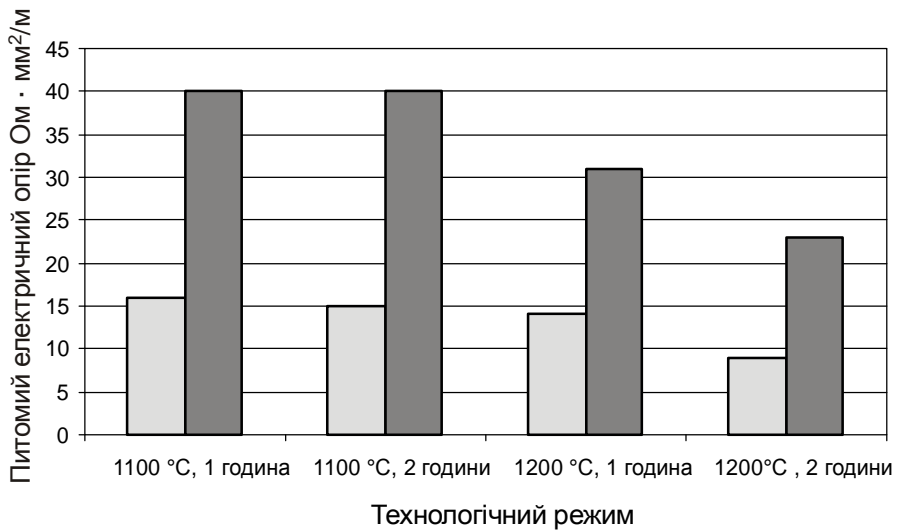


Рис. 4. Вплив режимів спікання на питомий електричний опір матеріалів. □ – Fe, ■ – Fe-Co.

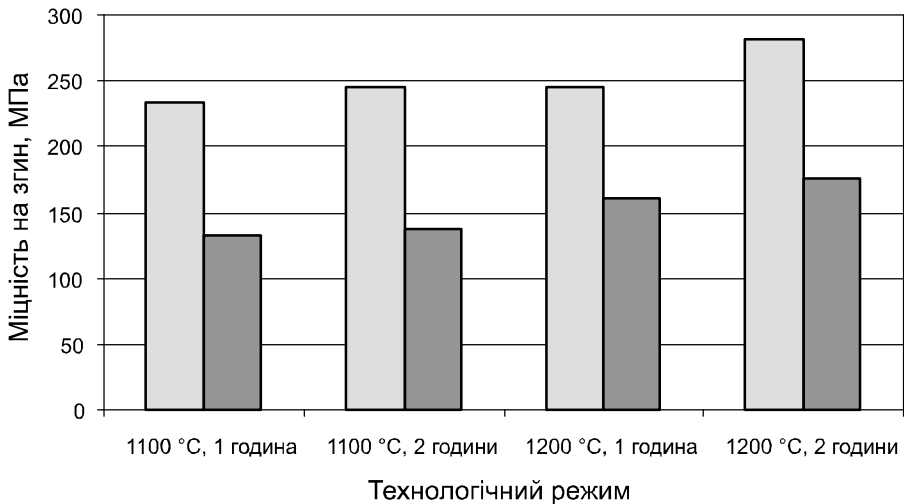


Рис. 5. Вплив режимів спікання на міцність матеріалів. □ – Fe, ■ – Fe-Co.

Висновки Встановлено, що основними факторами, які впливають на магнітні властивості матеріалів на основі залізних порошків, плакованих кобальтом, є температура спікання та час ізотермічної витримки. При цьому, найбільший вплив на зміну характеристик має час витримки при температурі 1200 °C. Одночасно з цим показано несуттєвий вплив режимів спікання на величину магнітних втрат при суттєвому впливі складу композиту. Створення покриття на частинках залізного порошку дозволяє підвищити електричний опір матеріалу в 2 – 3 рази і знизити магнітні втрати на вихрові струми від 36 – 40 Вт/кг до 19 – 21 Вт/кг.

Результати проведених досліджень можуть бути використані при створенні магнітном'яких композитів для роботи у змінних полях промислової частоти.

Література

1. Мініцький А.В., Мініцька Н.В., Власова О.В. Основні тенденції розвитку порошкових магнітном'яких матеріалів. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наукових праць. – 2010. – № 9. – С. 3 – 18.
2. Shimada Y. Development of high performance sintered soft magnetic material. // Powder Metall. – 2006. – 53, № 8. – P. 686 – 695.
3. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. – М.: Высшая школа, 1991. – 422 с.
4. Тульчинский Л.Н., Панасюк О.А. Порошковые магнитомягкие материалы. // Порошковая металлургия. – 1995. – № 7/8. – С. 53 – 67.
5. David E. Gay. High performance microencapsulated powders for various P/M applications. // The international journal of powder metallurgy. – 1996. – 36, № 1. – P. 13 – 25.
6. Панасюк О.О., Мініцький А.В., Власова О.В. Магнітні та фізико-технологічні властивості залізного порошку з кобальт-фосфорним покриттям. // Металознавство та обробка металів. – 2009. – № 3. – С. 48 – 52.
7. Бозорт Р. Ферромагнетизм. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. – 784 с.

Одержано 14.12.11

А. В. Миницький, О. О. Панасюк, О. В. Власова

Магнитномягкие материалы на основе композиционных железных порошков для работы в переменных полях

Резюме

В работе исследовано влияние технологических режимов изготовления магнитномягких материалов на основе железного порошка, плакированного кобальт-фосфором на магнитные и физико-технологические свойства. Показано, что основными факторами, которые влияют на магнитные свойства таких материалов, является температура спекания и время изотермической выдержки. Установлено незначительное влияние режимов спекания на величину магнитных потерь при существенном влиянии состава композита. Полученные результаты исследований могут быть использованы при создании магнитномягких композитов для работы в переменных полях промышленной частоты.

A. V. Minitsky, O. O. Panasyuk, O. V. Vlasova

Soft magnetic materials on basis of composite ferrous powders for operation in varied fields

Summary

Influence of the technological modes of making of non-retentive materials on the basis of ferrous powder plated by cobalt-phosphorus on their magnetic and physical-technological properties is studied. It is shown that basic factors which influence on magnetic properties of such materials is a temperature of sintering and time of isothermal soaking. Unimportant influence of the modes of sintering on the magnetic losses at substantial influence of composition of composite is determined. The obtained results could be used at creation of non-retentive composite for work in the variable fields of industrial frequency.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2012 р.

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн. з урахуванням ПДВ.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк УДКСУ в м. Києві, р/р 31252272210215, МФО 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "МОМ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника просимо надсилати до редакції, вказавши номер і дату платіжного документа.