

K.G . Lopatko, Ye. G. Aftandilyants, Ya. V. Zaulichnyi, M. V. Karpets

Features nanoparticles formation at electrical discharge treatment of iron

Summary

The research results of chemical composition, structure and surface state of nanoparticles produced by electrical discharge treatment of iron are presented. It is shown that obtaining the gamma iron which exists at normal conditions is possible by electrical discharge treatment.

УДК 621.762

*Влив технологічних режимів виготовлення матеріалів на основі залізного порошку на їх магнітні властивості*

А. В. Мініцький, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Показано перспективність використання технології теплового пресування для виготовлення магнітно-м'яких матеріалів на основі залізного порошку легованого оловом. Встановлено, що плакування залізного порошку оловом і використання теплового пресування дозволяє відійти від традиційної технології отримання магнітно-м'яких матеріалів – подвійного пресування та спікання, при збереженні, або навіть підвищенні щільності зразків та їх магнітних характеристик.*

Відомо, що однією із перспективних сфер використання технології порошкової металургії є виробництво магнітних матеріалів на основі залізного порошку для виготовлення цілого ряду магнітно-м'яких виробів загального застосування: різного типу магнітопроводів, статорів і роторів електродвигунів малої потужності, сердечників тощо. [1].

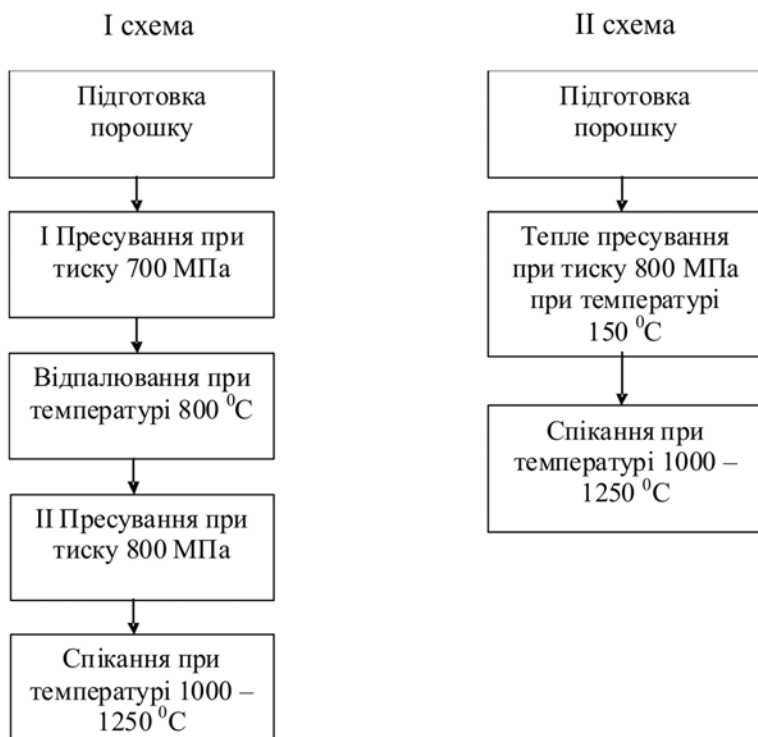
Магнітні властивості магнітно-м'яких матеріалів суттєво залежать від режимів пресування, спікання і високотемпературних відпалів, у процесі яких формується кінцева структура порошкового матеріалу. Наявність залишкових пор погіршує магнітні властивості виробів, знижуючи магнітну індукцію і проникність та збільшуючи коерцитивну силу і питомі магнітні втрати [2]. Тому при виборі технологічної схеми виготовлення зразків необхідно враховувати особливості кожної операції. Зазвичай, для виготовлення порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі залізного порошку, використовують технологію подвійного пресування з проміжним відпалюванням, та спіканням при температурах 1000 – 1300 °С в захисному середовищі. Така технологія забезпечує отримання матеріалу з високою щільністю, та відповідно, з високими магнітними властивостями.

Проте при легуванні залізного порошку легкоплавкими елементами є можливість застосування іншої технології, яка включає тепле пресування. Процес теплового пресування дозволяє одержати рівень щільності і механічних властивостей порівнянний зі зразками отриманими звичайним подвійним пресуванням і спіканням. Основними перевагами даного процесу є використання знижених тисків пресування й одержання зразків теоретичної або близької до неї щільності. При теплому пресуванні (250 °С і 450 °С) сумішей залізного порошку з припоєм з олова та олова-свинцю, внаслідок утворення рідкої фази, автори роботи [3] отримали високу механічну міцність сирих пресовок, що на 10 МПа перевищувала міцність зразків із залізного порошку з органічним мастилом.

Метою даної роботи є порівняння впливу різних технологічних схем виготовлення магнітно-м'яких матеріалів на основі залізного порошку легованого оловом, на їх магнітні властивості.

Підвищити магнітні властивості порошоків технічного заліза можна шляхом легування його оловом. При додаванні олова до заліза згідно діаграми фазової рівноваги утворюється феромагнітна фаза  $\text{FeSn}_2$  [4]. Внаслідок чого легування заліза оловом приводить не тільки до зміни питомого електричного опору, а і до збереження феромагнітних властивостей сплаву. До того ж, олово, маючи низьку температуру плавлення ( $T_{\text{пл}} = 232$  °С), є найбільш придатним з погляду використання в процесі теплового пресування, тому що легко втрачає міцність при нагріванні до невисокої температури.

Легування залізного порошку оловом проводили двома способами: механічне змішування порошоків залізу та олову у барабанному змішувачі протягом 3 годин та хімічне осадження на залізний порошок олова із розчину. Метод хімічного осадження (плакування) відносно недорогий, не потребує спеціального дорогого устаткування,



Технологічні схеми виготовлення порошкових магнітно-м'яких матеріалів.

## Нові технологічні процеси і матеріали

дозволяє одержувати якісне покриття, яке має гарне зчеплення з поверхнею матеріалу, що покривається. Товщина покриття на частинках залізного порошку при плакуванні складала близько 8 – 10 мкм, при вмісті олова у залізному порошку 1,5 % (мас. частка). Відповідну кількість порошку олова вводили у залізо при механічному змішуванні.

Для виготовлення зразків з високою щільністю, в даній роботі застосовано дві технологічні схеми, що представлені на рисунку. Як видно з рисунка друга схема має на дві технологічні операції менше, ніж перша. Тому було доцільно дослідити властивості матеріалів, отриманих за цими схемами та порівняти їх.

Оскільки однією з основних характеристик порошкових магнітно-м'яких матеріалів, що впливає на їх властивості, є щільність, було порівняно щільності зразків, отриманих за двома схемами. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність щільності матеріалу на основі заліза від технологічних режимів отримання

Склад матеріалу	Щільність до спікання, г/см <sup>3</sup>	Щільність після спікання, г/см <sup>3</sup>	
		T = 1100 °C	T = 1250 °C
ПЖРВЗ.200.28 *	6,90	7,18	7,25
ПЖРВЗ.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), суміш*	6,96	7,20	7,26
ПЖРВЗ.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), плакований порошок*	7,12	7,23	7,28
ПЖРВЗ.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), суміш**	7,05	7,23	7,28
ПЖРВЗ.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), плакований порошок **	7,21	7,28	7,35

\* – зразки отримані за першою схемою; \*\* – зразки отримані за другою схемою.

Аналізуючи дані, що представлені в табл. 1, можна зазначити, що технологія, яка включає операцію теплового пресування дозволяє отримати більш високу щільність як для плакованих порошків так і для суміші. Це пояснюється тим, що під час нагріву при теплому пресуванні, олово плавиться і збільшує щільність пресовки практично на всіх стадіях пресування. При низьких тисках воно забезпечує більш щільне укладання часточок, з підвищенням тиску тонкі шари олова на часточках руйнуються, відбувається механічне зчеплення. При ще більшому тиску часточки пластично деформуються, зв'язок між ними збільшується і утворюється твердий каркас часточок. На цій стадії відбувається додаткове ущільнення за рахунок заповнення відкритих пор рідким оловом. Таким чином, застосування теплового пресування для залізного порошку, плакованого оловом, є технологічно доцільним, що обумовлено високими значеннями щільності при зменшенні кількості операцій.

Той факт, що значення щільності зразків з плакованих порошків вищі, ніж зразків, виготовлених із механічної суміші, незалежно від технологічної схеми виготовлення, пояснюється тим, що плакування дозволяє отримати більш рівномірний розподіл легуючого елемента за об'ємом порошку. До того ж покриття залізних частинок оловом дозволяє одержати часточки порошку практично правильної сферичної форми, зменшуючи, тим самим, площу поверхневого натягу. Це позитивно впливає на процес

пресування, оскільки зменшення контактних зон між частками призводить до їхнього максимального перегрупування і, відповідно, до високої кінцевої щільності пресовки.

Дослідження магнітних властивостей матеріалів на основі залізних порошоків, що були виготовлені за двома технологічними схемами, було проведено у постійних і змінних магнітних полях на зразках кільцевої форми розміром 35x25x5 мм.

Магнітну індукцію та проникність у постійних полях, визначали на вимірювальній інформаційній системі В-5045 балістичним методом. Для вивчення магнітних характеристик зразків у змінних полях використовували ватметрову схему вимірювання за допомогою ферометра Ф5 при синусоїдальному режимі магнітної індукції. Знімалися дані для динамічної основної кривої намагнічування і визначалися питомі магнітні втрати в матеріалі при частоті 50 Гц (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив технології виготовлення спечених зразків на їх щільність та магнітні властивості

Склад матеріалу	Щільність $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Питомий електричний опір $\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м	Постійне магнітне поле		Змінне магнітне поле	
			$B_{2500}$ , Тл	$\mu_{max}$	$B_{2500}$ , Тл	$P_{1,0/50}$ , Вт/кг
Залізо ПЖРВ3.200.28	7,25	0,11	1,40	3200	1,22	38,0
ПЖРВ3.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), суміш*	7,26	0,14	1,42	3400	1,23	18,0
ПЖРВ3.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), плакований порошок*	7,28	0,16	1,45	3800	1,25	14,9
ПЖРВ3.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), суміш*	7,28	0,17	1,43	3550	1,22	14,0
ПЖРВ3.200.28 + Sn 1,5 % (мас. частка), плакований порошок **	7,35	0,14	1,46	3820	1,27	16,0

\* – зразки отримані за першою схемою; \*\* – зразки отримані за другою схемою

Як видно з табл. 2, легування залізного порошку оловом приводить до суттєвого зниження загальних магнітних втрат ( $P_{1,0/50}$ ) від 38 до 14 – 18 Вт/кг. Це пояснюється збільшенням питомого електричного опору, який в свою чергу, знижує втрати на вихорцеві струми, що є складовою загальних магнітних втрат.

Якщо порівнювати значення магнітної індукції ( $B_{2500}$ ) і максимальної магнітної проникності ( $\mu_{max}$ ), то перевагу мають зразки із плакованих порошоків, причому найбільші значення мають зразки, отримані за другою технологічною схемою. Це можна пояснити більш рівномірним розподіленням олова в об'ємі зразка і більш високими значеннями щільності матеріалу, що забезпечує повне проходження магнітного потоку через магнітопровід.

Таким чином, використання залізного порошку плакованого оловом при теплому пресуванні дозволяє відійти від традиційної технології отримання магнітно-м'яких матеріалів – подвійного пресування та спікання, при збереженні, або навіть підвищенні щільності та магнітних характеристик зразків. Застосування процесу теплового пресування для залізних порошоків, плакованих легкоплавкими металами, може бути

ефективно використано при виготовленні суцільнопресованих магнітопроводів, що працюють у змінних полях промислової частоти.

### Література

1. Lars – Olof Pannander, Alan Jack. Soft magnetic iron powder materials AC properties and their application in electrical machines // Euro PM 2003, Valencia, 22 – 23 october. – 2003. – P. 25 – 28.
2. Тульчинский Л.Н., Панасюк О.А. Порошковые магнитомягкие материалы // Порошк. металлургия. – 1995. – №7/8. – С. 53 – 67.
3. Sah S. K., Kaufman S. M. Liquid phase compacting // Mod. Dev. Powder Met. – 1981. – 12. – P. 613 – 629.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справ. Т. 2 / Под ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.

Одержано 03.12.10

**А. В. Миницкий**

### **Влияние технологических режимов изготовления материалов на основе железного порошка на их магнитные свойства**

#### **Резюме**

Показана перспективность использования технологии теплового прессования для изготовления магнитно-мягких материалов на основе железного порошка, легированного оловом. Установлено, что плакирование железного порошка оловом и использование теплового прессования позволяет отойти от традиционной технологии получения магнитно-мягких материалов – двойного прессования и спекания, при сохранении или даже повышении плотности образцов и их магнитных характеристик.

**A. V. Minitsky**

### **Influence of technological modes of manufacturing materials on the basis of iron powder on their magnetic properties**

#### **Summary**

Perspectives of use of technology of warm pressing for manufacturing soft magnetic materials on the basis of an iron powder alloyed by tin are shown. It is established that cladding of iron powder by tin and use of warm pressing allows to improve the traditional technology of manufacturing