

06 Исследование влияния режимов измельчения порошков гексаферрита стронция в вибрационной мельнице на свойства магнитов на их основе

© В.Г. Костишин,¹ В.Г. Андреев,² Д.Н. Читанов,¹ А.В. Тимофеев,¹ А.Ю. Адамцов,¹ А.А. Алексеев¹

¹ Национальный исследовательский технологический университет „МИСиС“, 119049 Москва, Россия

² Кузнецкий институт информационных и управленческих технологий, 442530 Кузнецк, Россия
e-mail: drvgkostishyn@mail.ru

(Поступило в Редакцию 28 января 2015 г.)

Исследовано влияние длительности сухого измельчения в вибрационной мельнице порошков гексаферрита стронция, произведенных на ОАО „Олкон“, на степень дезагрегации порошков и свойства изделий на их основе. Показано, что увеличение частоты вибрации вибромельницы с 25 до 50 Hz при сохранении амплитуды вибрации в пределах 3–4 mm, позволило примерно в 5 раз снизить время измельчения, обеспечивающее полноту дезагрегации порошков. Увеличение энергии удара шаров с увеличением частоты вибрации повышает активность порошков за счет создания микроискажений кристаллической решетки. Повышение степени дезагрегации порошка приводит при спекании к формированию плотной мелкозернистой микроструктуры, обеспечивающей возрастание максимального энергетического произведения $(BH)_{\max}$ магнитов на 15–20%.

Введение

Стронциевые ферритовые магниты находят широкое применение в различных устройствах электрооборудования и радиоэлектроники благодаря целому ряду преимуществ перед металлическими магнитами на основе сплавов „Альнико“, прежде всего высоким значением электросопротивления и коэрцитивной силы в сочетании с относительно низкой стоимостью, малым удельным весом и простотой технологии изготовления [1]. Уровень магнитных параметров гексаферрита стронция, достигаемый на промышленных образцах, значительно ниже их теоретических значений. Одним из главных факторов, определяющих уровень магнитных свойств, является плотность магнитов. Низкая плотность магнитов во многом обусловлена недостаточной степенью дезагрегации порошков при их измельчении. Агрегаты формируются в процессе синтеза ферритовых порошков, и их прочность во многом определяется процессами припекания частиц во время синтеза. Размеры агрегатов на порядок превышают размеры частиц, и их разрушение при измельчении порошков часто затруднено из-за их высокой прочности.

Крупные межагрегатные поры, как правило, не исчезают при спекании сырых заготовок магнитов, что является основной причиной их пористости. Длительное многочасовое измельчение порошков с целью их дезагрегации приводит к снижению производительности мельниц. Поэтому весьма актуальны исследования по повышению степени дезагрегации в сочетании с малым временем измельчения.

В настоящей работе рассмотрена возможность управления процессами дезагрегации порошков гексаферрита

стронция в процессе сухого измельчения в вибрационной мельнице.

Образцы и методы исследования

Исследования проводились на промышленных порошках гексаферрита стронция производства ОАО „Олкон“, являющихся полуфабрикатом при получении ферритовых магнитов. Дезинтеграция порошков гексаферрита стронция осуществлялась в процессе сухого измельчения в вибрационной мельнице М-200 со стальными шарами диаметром 20 mm при двух частотах вибрации корпуса мельницы 25 и 50 Hz. Амплитуда вибрации при этом не изменялась и составляла 3–4 mm. Для приготовления суспензии перед мокрым прессованием проводилось перемешивание измельченного порошка в аттриторе „Бекас“ в течение 30 min. Удельная поверхность порошков S_{sp} измерялась на газовом хроматографе ЛХМ-8МД. Распределение частиц и агрегатов по размерам изучалось на седиментографе фирмы Sedema.

Мокрое прессование заготовок выполнялось на гидравлическом прессе 06-ФФГ в магнитном поле 700 kA/m при давлении 200 МПа. Пресс-заготовки после сушки на воздухе в течение 3 деу спекали в туннельной печи „Ель“ при температуре 1200–1220°C. Микроструктура образцов изучалась на оптическом микроскопе „Эпипал“ с фотонасадкой ФН-II. Коэрцитивная сила по намагниченности H_c , остаточная магнитная индукция B_r и максимальное энергетическое произведение $(BH)_{\max}$ измерялись на гистерезисографе ЭМ8-10.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены распределение частиц по размерам исходного порошка и микроструктура спеченного на его основе феррита. Неоднородное распределение частиц по размерам исходного порошка, обусловленное наличием агрегатов, является причиной аномального роста зерен, характерного для вторичной рекристаллизации [2].

В настоящей работе показано, что получению высокоплотных изделий с требуемым уровнем механических и электромагнитных параметров препятствует агрегированность частиц ферритизованного порошка, так как крупные каналные поры между агрегатами не удаляются на операциях прессования и спекания. Размеры агрегатов на порядок превышают размеры первичных частиц, что подтверждается данными на рис. 1, где малый

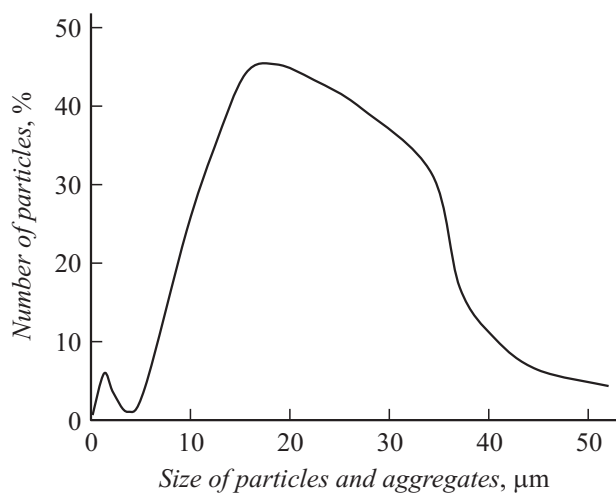


Рис. 1. Распределение частиц исходного порошка гексаферрита стронция по размерам.

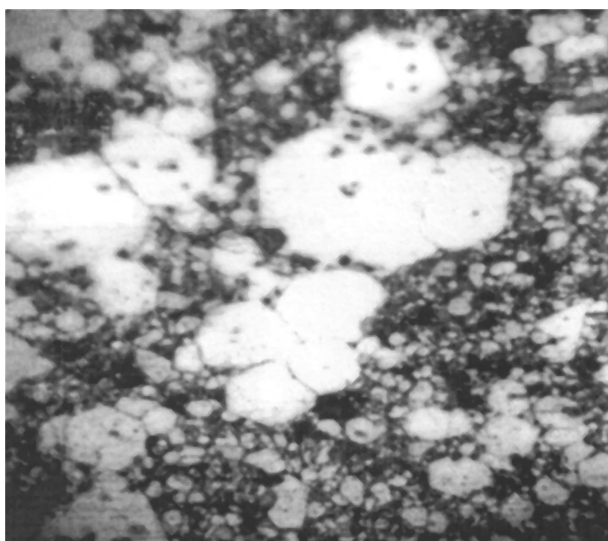


Рис. 2. Микроструктура феррита, спеченного из исходного порошка гексаферрита стронция.

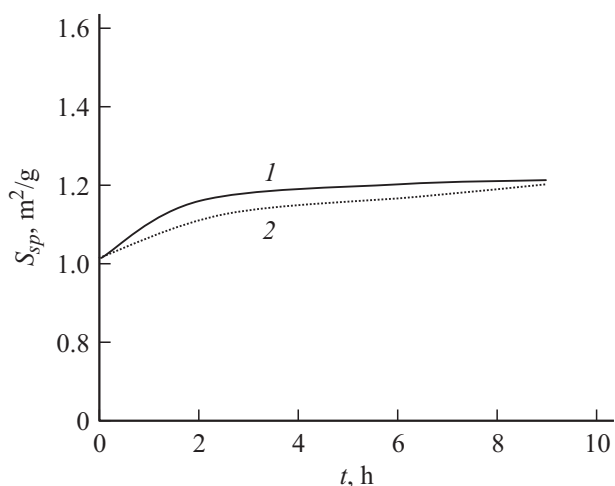


Рис. 3. Влияние длительности дополнительного измельчения в вибромельнице на удельную поверхность порошков гексаферрита стронция: 1 — частота вибрации 50 Hz, 2 — частота вибрации 25 Hz.

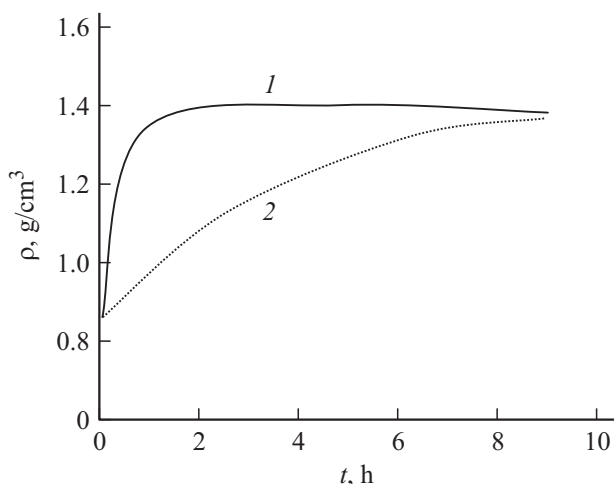


Рис. 4. Влияние длительности дополнительного измельчения в вибромельнице на насыпную плотность порошков гексаферрита стронция: 1 — частота вибрации 50 Hz, 2 — частота вибрации 25 Hz.

пик кривой соответствует среднему размеру первичных частиц около $2\ \mu\text{m}$, а 2-й пик — среднему размеру агрегатов около $20\ \mu\text{m}$. Рекристаллизация внутри агрегата протекает значительно раньше, чем вне его. Спеченные заготовки сохраняют сквозную межагрегатную пористость, тогда как пористость внутри агрегата мала. Авторы работы [1] считают, что разрушение агрегатов зависит от их прочности и, как правило, обеспечивается длительным измельчением ферритизованного порошка. При этом уменьшаются не размеры первичных частиц, а размеры агрегатов, что приводит к повышению однородности частиц по размерам.

Из данных, приведенных на рис. 3 видно, что измельчение порошков гексаферрита стронция в вибромельнице незначительно влияет на величину удельной

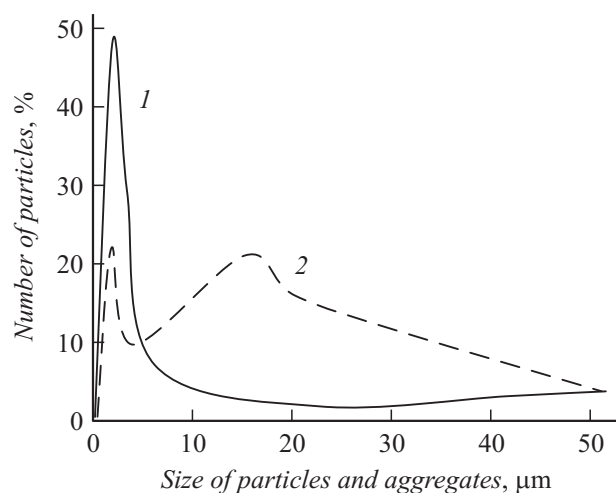


Рис. 5. Распределение частиц порошка гексаферрита стронция по размерам после дополнительного измельчения в 1 h в вибромельнице: 1 — частота вибрации 50 Hz, 2 — частота вибрации 25 Hz.

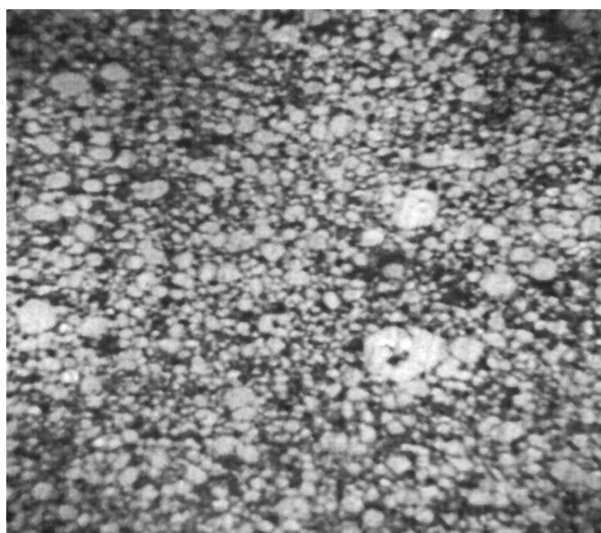


Рис. 6. Микроструктура магнита гексаферрита стронция при дополнительном измельчении порошка 1 h в вибромельнице с частотой вибрации 50 Hz.

поверхности порошков. В то же время увеличивается насыпная плотность порошков (рис. 4), что подтверждает их дезагрегацию, причем увеличение частоты вибрации вибромельницы значительно ускоряет дезагрегацию. Если при частоте вибрации мельницы 25 Hz требуется почти 8 h измельчения то при частоте 50 Hz достаточно 1 h измельчения. Это можно объяснить возрастанием энергии вибрирующих шаров и силы их соударения. Известно [3], что энергия колеблющихся частиц пропорциональна произведению амплитуды на квадрат частоты колебания. Следовательно увеличение частоты вибрации мельницы с 25 до 50 Hz в 4 раза увеличивает силу взаимного соударения металлических шаров.

Свойства стронциевых ферритов, полученных по разным режимам дополнительного измельчения в вибромельнице М-200

Характеристика порошков	ρ , g/cm ³	B_r , Т	H_c , kA/m	$(BH)_{max}$, kJ/m ³
Исходный	4.71	0.328	223	27
Дополнительное измельчение 1 h при частоте 25 Hz	4.78	0.331	224	28
Дополнительное измельчение 1 h при частоте 50 Hz	4.86	0.338	225	32

На рис. 5 приведены кривые распределения частиц по размерам после измельчения в вибрационной мельнице. Из данных видно, что измельчение порошка в течение 1 h при частоте вибрации 50 Hz позволяет исключить пик, обусловленный наличием агрегатов. Микроструктура магнитов, полученных из этого порошка, приведенная на рис. 6, отличается однородностью зерен.

Результаты измерений магнитных свойств исследованных образцов, спеченных при 1220°C, приведены в таблице. Как видно из данных, дополнительное измельчение порошков позволяет повысить плотность и магнитные свойства стронциевых ферритов.

Заключение

Показано, что дополнительное измельчение порошка гексаферрита стронция в вибромельнице позволяет повысить качество порошков путем снижения степени их агрегации, причем увеличение частоты вибрации вибромельницы значительно ускоряет дезагрегацию. Если при частоте вибрации мельницы 25 Hz требуется почти 8 h измельчения, то при частоте 50 Hz достаточно 1 h измельчения, что объясняется возрастанием энергии вибрирующих шаров и силы их соударения. Исследования показали, что дополнительное измельчение порошков позволяет повысить плотность и магнитные свойства стронциевых ферритов.

Работа выполнена в рамках задания № 11.2502.2014/К от 17.07.2014 г. на выполнение научно-исследовательской работы в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (тема № 3219022).

Список литературы

- [1] Анциферов В.Н., Летюк Л.М., Андреев В.Г. Проблемы порошкового материаловедения. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. С. 183.
- [2] Горелик С.С., Бабич Э.А., Летюк Л.М. Формирование микроструктуры и свойств ферритов в процессе рекристаллизации. М.: Металлургия, 1984. С. 108.
- [3] Блехман И.И. Вибрационная механика. М.: Машиностроение, 1994. 398 с.