

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Устюхина Алексея Сергеевича «Синтез и исследование свойств порошковых магнитотвёрдых сплавов системы Fe–Cr–Co», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Актуальность исследования

Одной из насущных проблем любого производства является сокращение затрат. Соответственно, для оптимизации существующих и создания новых технологий требуется разработка процессов и материалов с улучшенными показателями экономичности. Решению данной задачи способствуют, в том числе, методы порошковой металлургии, обеспечивающие большой коэффициент использования исходного вещества и высокую точность изготовления деталей, что значительно уменьшает количество механической доработки, а также суммарных трудозатрат. С позиции используемых материалов весьма эффективной является замена редких дорогостоящих систем или отдельных компонентов на распространённые и, соответственно, более доступные вещества.

Рассматриваемые в работе Устюхина А.С, сплавы системы Fe–Cr–Co являются носителем целого комплекса высоких эксплуатационных свойств, востребованных потребителями, а именно: прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью. Вместе с тем, этим материалам присущи и хорошие магнитные гистерезисные характеристики. Уникальная совокупность свойств данной системы сочетается с невысокой стоимостью Fe–Cr–Co сплавов.

В настоящее время материалы системы железо-хром-кобальт уже нашли широкое применение. В первую очередь в конструкционных деталях и узлах, работающих, с одной стороны, в условиях высоких механических нагрузок, а с другой – в магнитной среде. В частности, из Fe–Cr–Co материалов изготавливаются роторы гистерезисных двигателей и магнитные кольца гироскопов. Востребованность данных сплавов отмечается в различных отраслях промышленности.

Всё это делает изучение и оптимизацию получения материалов Fe–Cr–Co весьма интересной задачей с научной и прикладной точек зрения.

При этом промышленное изготовление данных сплавов в настоящее время далеко от идеального. Применение порошковой металлургии, обладающей рядом несомненных достоинств, требует во многих случаях существенной доработки с точки зрения уменьшения остаточной пористости конечных материалов.

Таким образом, выбранное Устюхиным А.С. направление диссертационного исследования, посвященное определению физико-химических основ получения методом порошковой металлургии магнитотвёрдых материалов системы Fe–Cr–Co, является весьма актуальным.

Характеристика и научная новизна работы

В представленной диссертационной работе проведено комплексное экспериментальное изучение зависимости остаточной пористости сплава Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W от температуры спекания. В ходе исследований определено влияние скорости охлаждения при термомагнитной обработке на магнитные характеристики данных материалов. В процессе вакуумного спекания при различных температурах изучено одновременное влияние испарения хрома и остаточной пористости на магнитные гистерезисные свойства материалов системы Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W.

Разработана математическая модель, отображающая процесс нестационарной диффузии и испарения атомов хрома с открытой поверхности в течение спекания порошков состава Fe–Cr–Co. Определена аналитическая зависимость, являющаяся решением данной задачи. Созданы концентрационные профили хрома, с помощью которых возможна оптимизация спекания сплавов системы Fe–Cr–Co.

В практической части работы установлены температуры и время спекания в вакууме; показано положительное влияние стадии горячей прокатки на магнитные характеристики материалов состава Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W; зафиксировано увеличение коэрцитивной силы в сплавах с двойным легированием. Это позволило разработать способ получения плотного 97 – 98 % магнитотвёрдого материала Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W с повышенными магнитными гистерезисными характеристиками и реализовать его в промышленных условиях.

Значимость для науки

Все защищаемые автором диссертации положения являются новыми и имеют важное теоретическое и практическое значение, а именно:

– температурная зависимость остаточной пористости сплава Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W после спекания в интервале температур 1100 – 1420 °С;

– положительное влияние совместного легирования молибденом и вольфрамом системы Fe–26Cr–16Co, обуславливающее увеличение на 10 % коэрцитивной силы в данных материалах;

– закономерности изменения магнитных свойств, связанные с наличием остаточной пористости и испарениями хрома, а именно: увеличение магнитных характеристик на 10 – 15 % в ходе спекания при температурах 1200 – 1330 °С в результате роста относительной плотности от 94 до 98 %; снижение коэрцитивной силы, остаточной индукции и максимального энергетического произведения по причине испарения хрома в интервале нагрева 1330 – 1420 °С;

– надёжная повторяемость магнитных свойств спечённых при температурах 1300 – 1360 °С материалов системы Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W при изменении скорости охлаждения в ходе термомагнитной обработки от 40 до 180 °С\ч;

– математическая модель, отображающая процесс нестационарной диффузии и испарения хрома с открытой поверхности цилиндров сплавов состава Fe–26Cr–16Co, а также аналитическое решение данной задачи, демонстрирующее качественное совпадение с экспериментальными результатами распределения хрома по приповерхностной зоне материала;

– оптимальный режим синтеза магнитотвёрдых материалов Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W, заключающийся в спекании при температуре 1200 °С с последующей горячей прокаткой при 1150 °С.

Значимость для производства

Несомненным достоинством работы является большая практическая, внедренческая составляющая:

– для магнитотвёрдого сплава состава Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W установлены диапазон температур и продолжительность спекания в вакууме, обуславливающие формирование в данном материале магнитных свойств, соответствующих нормативному уровню;

– в ходе получения магнитотвёрдых материалов системы Fe–26Cr–16Co методом порошковой металлургии реализована стадия горячей прокатки, температура спекания вместе с этим понижена, что позволяет повысить остаточную индукцию и максимальное энергетическое произведение сплавов Fe–26Cr–16Co–2Mo–2W на 5 – 10 %;

– рассчитаны модельные концентрационные профили хрома, которые делают возможной оптимизацию режимов изготовления сплавов Fe–26Cr–16Co, что особенно актуально при производстве малогабаритных деталей.

Также экспериментальные результаты и предложенные оптимальные режимы получения материалов методом порошковой металлургии были опробованы на предприятии АО «Спецмагнит».

Степень обоснованности и достоверности научных результатов и выводов

В предложенной диссертации использованы современные методы исследования характеристик и свойств материалов. Экспериментальные измерения проведены на сертифицированных измерительных приборах с высокой воспроизводимостью опытных данных. Проведенные в работе эксперименты и обработка их результатов носят научный систематический характер, качественно и количественно согласуются с опубликованными данными других авторов в настоящей области исследования. Приведенные в тексте диссертации таблицы, рисунки, графические зависимости и выводы в полном объеме иллюстрируют и отражают основные результаты.

Рекомендации по использованию результатов работы

По результатам представленных исследований в схему получения магнитотвёрдых материалов системы Fe–26Cr–16Co методом порошковой металлургии рекомендуется включать стадию горячей прокатки при одновременном понижении температуры спекания с целью повышения плотности и магнитных гистерезисных характеристик выпускаемой продукции.

Замечания по диссертации

1. Нет объяснения или предположения, почему наблюдается положительное влияние совместного легирования порошкового сплава Fe–26Cr–16Co двумя процентами молибдена и вольфрама. Представлены результаты изучения систем с 2 % молибдена или 2 % вольфрама, но нет исследования сплавов с добавлением 4 % одного из данных элементов. Возможно, что увеличение содержание одного из металлов даст схожий (или даже лучший) результат.

2. Согласно результатам элементного анализа, в приповерхностном слое содержится большое количество оксидов (с. 87, таблица 4.2), однако на рентгенограмме, снятой с того же приповерхностного слоя (с. 85, рисунок 4.5) оксидная фаза не обнаружена. Так же не понятно, почему области сплава, обогащённые хромом, окисляются в большей степени, чем обеднённые этим элементом (с. 108, таблицы 6.4 и 6.5).
3. Нет метрологической проработки исследования. Не приведены погрешности определения измеряемых величин, в частности, плотности (с. 63), коэрцитивной силы (с. 69), количественного состава (с. 87; 108). При этом встречаются следующие фразы: «... не оказывает практически никакого влияния...» (с. 64). Многие графики приведены в первичном виде с прибора, а не сведены на одно поле, что затрудняет их сравнение.

Перечисленные выше замечания носят дискуссионный характер и не оказывают существенного влияния на научное содержание работы и не меняют положительной оценки диссертации Устюхина А.С.

Заключение

Считаю, что работа Устюхина А.С. выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне и представляет собой самостоятельное законченное исследование, в котором содержится решение важной научной и практической задачи: разработки способа получения высокоплотных порошковых магнитотвёрдых сплавов системы Fe–Cr–Co. Необходимо отметить практическую перспективу полученных соискателем результатов, заключающуюся в экономичном получении изделий их магнитотвёрдых материалов методом порошковой металлургии.

Автореферат полностью отражает содержание работы. Работа многократно апробирована на научных конференциях, основные результаты исследований опубликованы в научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемый ВАК при Минобрнауки. Печатные работы полно и адекватно отражают содержание диссертации.

Диссертация Устюхина А.С. соответствует научной специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и требованиям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Устюхина

Алексей Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Доцент кафедры Функциональных наносистем и высокотемпературных материалов
НИТУ «МИСиС», д.т.н
119049 Москва, Ленинский пр-т, д.4.,
НИТУ «МИСиС», каф. ФНСиВТМ;
тел. (499) 237-22-26;
avrore@gmail.com



Дзидзигури Элла Леонтьевна

Подпись Дзидзигури Э.Л. заверяю

ПОДПИСЬ 04.03.2020 ЗАВЕРЯЮ
Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ «МИСиС» М. Исаев

