



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Донской государственный
технический университет»
(ДГТУ)

344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Приемная ректора т. 8(863) 273-85-25
Общий отдел т. 8(863) 273-85-11
Факс т. 8(863) 232-79-53

E-mail: reception@donstu.ru

ОКПО 02069102 ОГРН 1026103727847

ИНН/КПП 6165033136/616501001

19.11.2024. № 55.8-42-50

На № 48С-74 от 25.10.2024

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИР и ИД

ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»

Ефременко И.Н.

_____ 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» на диссертационную работу **Бельтюковой Марии Александровны «Формирование структуры и свойств концентрационно-неоднородного порошкового сплава системы Fe-Cr-Co-Mo с добавками Sm, Zr, Cu для точного приборостроения»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы выполненного исследования

Создание новых магнитных гистерезисных материалов с повышенными потребительскими характеристиками магнитных и прочностных свойств, температурной стабильностью, обладающих при этом высокой обрабатываемостью и низкой стоимостью, является одной из важнейших задач современного приборостроения. Получение таких материалов открывает новые возможности для прецизионного приборостроения, а именно: миниатюризации динамически настраиваемых гироскопов (ДНГ) с сохранением их мощности, повышения точности изготовления без снижения ресурса работы и роста стоимости приборов. Для решения вопросов разработки и получения сплавов в работе используется технология порошковой металлургии (ПМ), основывающаяся на моделировании процессов спекания.

Применение технологии ПМ позволило получить материал, имеющий в основе магнитотвердый порошковый сплав системы Fe-Cr-Co-Mo, легированный редкоземельным магнитом системы Sm-Co марки KC25ДЦ. При разработке магнитного сплава для материала роторов ДНГ, помимо высоких гистерезисных и

прочностных свойств, важным является температурная стабильность магнитных характеристик. Эти требования предполагают установление взаимосвязи между количеством вводимой добавки редкоземельного сплава КС25ДЦ, параметрами термической (ТО), термомагнитной обработки (ТМО) и совокупностью числа характеристик сплава, определяющих его качество.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований в диссертационной работе Бельтюковой М.А. решены такие актуальные задачи, как: разработка гомогенизационной модели сплава Fe-Cr-Co-Mo-Si-Sm, позволяющей прогнозировать концентрационную неоднородность и режимы спекания; установлена концентрация добавки сплава КС25ДЦ, способствующая формированию анизотропной микроструктуры и достижению повышенных магнитных и механических свойств сплава; определены оптимальные параметры прессования, спекания и режимы ТО и ТМО для сплава с добавкой КС25ДЦ; установлены зависимости основных характеристик порошковых сплавов, определяющих качество готовых изделий; также проведены испытания в составе ДНГ. Результатом проведенных исследований явилась разработка порошкового магнитотвердого сплава, содержащего две системы легирования Fe-Cr-Co-Mo и Sm-Co с анизотропной структурой, содержащей α_1 и α_2 фазы с включениями фазы (Sm, Co, Fe, Zr, Cu), применяемого в качестве материала для изготовления ротора гистерезисного двигателя ДНГ.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором выполнен литературный обзор, в котором проведен сравнительный анализ существующих магнитотвердых материалов. Показаны преимущества и недостатки сплавов систем Fe-Cr-Co и Sm-Co, раскрыты вопросы механизма и кинетики высококоэрцитивного состояния сплавов этих систем, показана роль легирующих элементов и приведены технологические методы получения порошковых магнитотвердых материалов (МТМ). Изучены вопросы прогнозирования концентрационной неоднородности порошковых МТМ.

В диссертации описаны методы изготовления образцов и методики исследования свойств и структуры магнитов, а также приведено описание оборудования для проведения экспериментов.

В работе выполнено определение концентрационной неоднородности (V) и построение гомогенизационной модели сплава 22X15K4MC с добавкой 0,5% Sm после различных режимов спекания, позволяющей численно прогнозировать влияние режимов спекания на уровень V. Установлен закон распределения концентраций основных элементов сплава. Исследовано влияние концентрационной неоднородности V после спекания на уровень магнитных свойств. В результате комплексных исследований определен оптимальный технологический режим спекания, обеспечивающий получение повышенных магнитных свойств (вывод 1).

Автором показано влияние добавки КС25ДЦ на плотность, твердость, магнитные и механические характеристики магнитотвердого сплава 22Х15К4МС. Описана эволюция структуры и свойств в процессе фазовых превращений в сплаве с добавкой КС25ДЦ. Установлен характер распределения самарий-содержащей добавки в структуре сплава 22Х15К4МС. Изучен фазовый состав сплава с различной концентрацией добавки, а также кинетика фазовых превращений и температурная стабильность магнитных свойств. Показано влияние концентрационной неоднородности на магнитные свойства при старении (выводы 2 - 4). Определена концентрация добавки, способствующая достижению максимальных магнитных свойств.

Приведены результаты испытаний исходного сплава и сплава с добавкой КС25ДЦ в качестве материала ротора гистерезисного двигателя, полученного методом ПМ, в составе ДНГ (вывод 5).

На основании выполненных исследований сформулированы основные выводы, отражающие достижение поставленной цели. Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается использованием современных апробированных и стандартизированных методов и методик анализа материалов, существенным объемом экспериментальных данных, корректностью обработки, согласованностью и воспроизводимостью результатов экспериментальных исследований, соответствием между расчетными и экспериментальными данными, которые не противоречат аналогичным результатам других авторов и известным положениям технических и фундаментальных наук.

Научная новизна работы

состоит в следующем: установлен асимптотически логарифмически нормальный закон распределения концентраций Cr, Co, Mo в сплаве 22Х15К4МСЧ с 0,5% Sm в интервале температур спекания 1250-1380 °С, позволяющий получать сплав с заданным уровнем концентрационной неоднородности для прецизионного приборостроения.

Разработана модель гомогенизации, позволяющая численно оценивать и прогнозировать уровень концентрационной неоднородности при варьировании температуры в интервале 1250-1380 °С, времени спекания 1-8 ч сплава системы Fe-Cr-Co-Mo с добавкой 0,5% Sm.

Предложен механизм трансформации морфологии (формы и размеров) фаз в процессе старения, заключающийся в спинодальном распаде α твердого раствора на твердые растворы α_1 и α_2 и ориентации зерен добавки КС25ДЦ вдоль направления приложения магнитного поля, приводящего к возникновению магнитной анизотропии. Показано, что в сплавах, содержащих менее 2,9% КС25ДЦ, эффект от добавки на микроструктуру недостаточен, а с добавкой более 4,4% эффект избыточен, что связано с влиянием двух конкурирующих факторов: малого количества и низкой анизотропии поля фаз, образовавшихся при

концентрации КС25ДЦ менее 2,9% и пористости, оказывающей отрицательное влияние на магнитные и механические свойства при концентрации добавки выше 4,4% КС25ДЦ.

Значимость результатов для науки

Значимость результатов, полученных автором диссертации, заключается в установлении закономерностей формирования структуры и свойств порошкового магнитотвердого сплава на основе системы Fe-Cr-Co-Mo, легированного редкоземельным магнитом системы Sm-Co. Полученный сплав, используемый в качестве материала деталей гистерезисных двигателей, позволяет обеспечивать заданные магнитные, механические и структурные свойства магнитотвердых порошковых материалов. Важными с научной точки зрения являются также результаты, позволяющие установить и систематизировать критерии качества порошковых МТМ и прогнозировать на их основе влияние режимов спекания, ТО и ТМО на плотность и пористость, концентрационную неоднородность, а также магнитные и механические характеристики сплавов.

Практическая значимость работы

В результате проведенных исследований получена модель гомогенизации сплава системы Fe-Cr-Co-Mo с добавкой 0,5% Sm, позволяющая прогнозировать режимы спекания и концентрационную неоднородность сплавов. Установлены значения коэффициентов вариации концентрации, обеспечивающие уровень магнитных свойств, необходимый для практического применения в приборостроении.

Экспериментально установлен химический состав сплава, сочетающего в себе две взаимодействующие системы Fe-Cr-Co-Mo и Sm-Co, позволяющий получать повышенные коэрцитивную силу до 55,6 кА/м, остаточную магнитную индукцию до 1,33 Тл, максимальную магнитную энергию до 41 кДж/м³ и коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса до 0,87.

Получены новые технологические схемы создания активной части ротора ДНГ из сплава 22Х15К4МСЧ с добавкой КС25ДЦ, позволяющие повысить момент вращения двигателя, включающие прессование, спекание, ТО и ТМО, механическую обработку (заявка на патент 2023107329, протокол измерений 69/64-2-п ПАО ПНППК).

Результаты исследования могут быть использованы в порошковой металлургии при назначении структурных и технологических параметров получения порошковых МТМ, а также в промышленном прецизионном приборостроении, в частности в изделиях ДНГ.

Оценка содержания диссертации и автореферата

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация и автореферат диссертации написаны

понятным научным языком, изложены грамотно, в логической последовательности. Автореферат диссертации и публикации в полной мере отражают содержание диссертации.

Основные результаты по теме диссертационной работы изложены в 10 публикациях, из них 4 статей в журналах, рекомендуемых ВАК, и 3 статьи в журналах, индексируемых в базе Scopus и WoS.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности

По своей цели, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне диссертационная работа соответствует формуле паспорта специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы, пунктам 2, 5, 6

«Исследование и моделирование физико-химических процессов получения полуфабрикатов и изделий из порошковых, композиционных материалов с металлической, углеродной, керамической матрицей и армирующими компонентами различной неорганической природы, разработка оборудования и технологий»;

«Изучение структуры и свойств порошковых, композиционных материалов, покрытий и модифицированных слоев на полуфабрикатах и изделиях, исследование процессов направленной кристаллизации изделий из порошковых и композиционных материалов, разработка технологий и оборудования»;

«Разработка и совершенствование технологических процессов производства, контроля и сертификации полуфабрикатов и изделий различного назначения из порошковых и композиционных материалов, а также материалов и изделий с покрытиями и модифицированными слоями».

Замечания

1. Чем обоснован выбор диапазона концентраций вводимой добавки КС25ДЦ в сплаве 22Х15К4МС?
2. Требуется пояснения, чем вызвано изменение параметра кристаллической решетки гребневых сплавов в зависимости от термической обработки (таблица 4.9).
3. В четвертой главе на стр. 126 автор приводит механические свойства сплава 22Х15К4МС с добавкой КС25ДЦ после старения по режиму №2. Целесообразно было бы представить методику оценки зернистости, конкретизировать показатель и провести оценку разностерности.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Бельтюковой М.А. «Формирование структуры и свойств концентрационно-неоднородного порошкового сплава системы Fe-Cr-Co-Mo с добавками Sm, Zr, Cu для точного приборостроения» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, содержит новые научно обоснованные технологические рекомендации, модель

гомогенизации сплава системы Fe-Cr-Co-Mo с массовой долей добавки 0,5% Sm и технологию получения порошкового магнитотвердого сплава с добавкой редкоземельного магнита КС25ДЦ, обладающего повышенным уровнем магнитных и физико-механических свойств. Результаты могут служить основой для исследований и разработок в области порошковой металлургии при создании порошковых магнитотвердых материалов и практического использования в промышленном прецизионном приборостроении, в частности в изделиях ДНГ.

Представленная работа по форме и содержанию отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 28.05.2024 № 27-О, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Бельтюкова Мария Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Отзыв составлен заведующим кафедрой «Материаловедение и технологии металлов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» кандидатом технических наук, доцентом, Егоровым Максимом Сергеевичем.

Отзыв на диссертационную работу Бельтюковой М.А. «Формирование структуры и свойств концентрационно-неоднородного порошкового сплава системы Fe-Cr-Co-Mo с добавками Sm, Zr, Cu для точного приборостроения» рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Материаловедение и технологии металлов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» протокол № 4 от «07» ноября 2024 г.

Заведующий кафедрой

«Материаловедение и технология металлов»

ФГБОУ ВО «Донской государственный

технический университет»

канд. техн. наук, доцент.

М.С. Егоров

Егоров Максим Сергеевич, кандидат технических наук, специальность 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы, заведующий кафедрой «Материаловедение и технологии металлов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Адрес: 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

Телефон: +7 (863) 273-85-61

E-mail: aquavdonsk@mail.ru

