

УДК 620.22

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЖИДКОФАЗНОГО СПЕКАНИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТОТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ РЗМ-ЖЕЛЕЗО-КОБАЛЬТ-БОР

Потапов Максим Викторович

*Магистр 2 года*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.С. Помельникова<sup>(1)</sup>, Р.А. Валеев<sup>(2)</sup>,*

*Доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»<sup>(1)</sup>, начальник лаборатории «Специальные металлические материалы и магниты» НИЦ*

*Курчатовский институт – ВИАМ<sup>(2)</sup>*

Спекание является неотъемлемым процессом для создания монолитного изделия методами порошковой металлургии и широко распространено, поскольку варьирование его параметров позволяет достичь определенного комплекса механических и физико-химических свойств. Исследование и создание порошковых магнитотвердых материалов, в том числе системы РЗМ-Fe-Co-B, также непременно включает в себя данную операцию. Однако в работах, посвященных созданию высокоэнергетических постоянных магнитов, в наибольшей степени описана следующая за спеканием термическая обработка, такая как отжиг либо термоциклическая обработка (ТЦО), а также полученные после неё магнитные свойства [1-3], но задача определения влияния параметров процесса спекания на соответствующие характеристики, такие как остаточная магнитная индукция, коэрцитивная сила по индукции и намагниченности, остается значимой. В настоящее время работы, посвященные разработке новых процессов получения постоянных магнитов, в особенности имеющие в составе редкоземельные металлы, и оптимизации параметров обработки, представляют значительный интерес и актуальность [4,5].

Для проведения исследований в качестве образцов использовались спеченные призмы с габаритными размерами 17,9 x 8,2 x 8,6 мм, изготовленные методами порошковой металлургии.

Прессование производилось на ручном прессе в магнитном поле, создаваемом при помощи электромагнита для фиксации доменной структуры перед спеканием.

Спекание проводили в печи электросопротивления в диапазоне температур 1000-1200°C и вакуумным давлением вблизи  $10^{-5}$  Па.

Для контроля величины остаточной индукции, коэрцитивной силы по намагниченности, коэрцитивной силы по индукции и максимального энергетического произведения использовали гистерезисограф, для измерения потокосцепления - катушку Гельмгольца с использованием микровеберметра.

Исследование фазового состава и параметров решетки в образцах магнитного сплава проведено методом РФА. Параметры кристаллической решетки определены полнопрофильным методом Паули.

Анализ полученных результатов позволил выявить влияние режимов жидкофазного спекания на фазовый состав и магнитные свойства магнитотвердого материала данной системы.

Выявлена корреляция между режимами спекания и магнитными характеристиками, такими как потокосцепление, остаточная индукция, коэрцитивная

сила по намагниченности, коэрцитивная сила по остаточной индукции, максимальное энергетическое произведение, а также построены петли гистерезиса в качестве графической составляющей результатов.

Выполнен фазовый анализ, направленный на исследование периодов кристаллической решётки и выявление зависимости степени тетрагональности основной магнитной фазы от температуры спекания.

На основании полученных результатов определены параметры спекания, позволяющие достигнуть оптимального комплекса магнитных характеристик для изделий из магнитотвердого сплава системы РЗМ-Fe-Co-B данного состава.

## **Литература**

1. Королев Д.В., Валеев Р.А., Моргунов Р.Б., Пискорский В.П. Влияние термической обработки спеченных магнитов Pr-Dy-Fe-Co-B на их коэрцитивную силу // Труды ВИАМ. 2022. №12 (118), С. 39-48.
2. Влияние низкотемпературного отжига на коэрцитивную силу спеченных постоянных магнитов Nd-Fe-B / Скуратовский Ю.Е., Добрынин Н.А., Моргунов А.С., Шакин А.В., and Савченко А.Г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), Т 12, №12, 2007, С. 199-208.
3. A. G. Popov, T. Z. Puzanova, V. S. Gaviko, D. Yu.Vasilenko, and V. P. Vyatkin, "Formation of a High-Coercive State in Sintered Nd-Fe-B-Ga Magnets by Thermocycling" *Physics of Metals and Metallography*, 101, 538–546 (2006).
4. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3-33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
5. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы - материалы современных и будущих высоких технологий // *Труды ВИАМ*. 2013. № 2. С1. 01. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.03.2025).