

**УДК 620.22**

## **ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ РЗМ-Fe-Co-B**

Потапов Максим Викторович

*Магистр 1 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>, кандидат технических наук, начальник лаборатории «Специальные металлические материалы и магниты» НИЦ Курчатowski институт – ВИАМ<sup>(2)</sup>*

Термоциклическая обработка (ТЦО) привлекает значительное внимание исследователей многих стран благодаря новым технологическим возможностям, традиционные методы термической обработки при постоянной температуре уже получили широкое распространение в современном производстве [1-6]. Однако в работах по термоциклической обработке магнитов в большинстве случаев используются экономнолегированные материалы на основе системы Fe-Co-B, в составе которых отсутствуют дорогостоящие и малодоступные, но при этом достаточно перспективные редкоземельные металлы [7-10]. Именно поэтому задача определения влияния параметров термоциклической обработки на магнитные характеристики, такие как остаточная намагниченность и коэрцитивная сила, а также самой возможности целесообразного применения данного метода термической обработки для магнитов системы РЗМ-Fe-Co-B является значимой. Ввиду того, что эксплуатационные свойства магнитотвердых материалов в значительной степени зависят от параметров применяемой термической обработки, в настоящее время данное исследование является актуальным. Более того, оно соответствует «Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года» Приложение №2 «Приоритетные направления развития промышленности редких и редкоземельных металлов [11].

При проведении работы в качестве исследовательских образцов использовались призмы из сплава системы РЗМ-Fe-Co-B, где массовая доля РЗМ составляет ~30% с габаритными размерами 17,5 x 10 x 9 мм, изготовленные методом порошковой металлургии и спрессованные в поперечном магнитном поле.

Термоциклическую обработку проводили в печи электросопротивления с максимальной температурой нагрева 1600°C и вакуумным давлением  $9 \cdot 10^{-3}$  Па. Механическую обработку магнитов проводили на плоскошлифовальном станке (частота вращения шлифовального круга – 1500 об/мин). Металлографическое исследование проводили при помощи инвертированного микроскопа при различных увеличениях.

Контроль величины остаточной индукции, коэрцитивной силы по намагниченности, коэрцитивной силы по индукции и максимального энергетического произведения проводили с помощью гистерезисографа.

Анализ полученных результатов позволил выявить влияние режимов термоциклической обработки на структуру и свойства магнитов.

Выявлена корреляция между режимами термоциклической обработки, температурой обработки и магнитными свойствами исследуемых образцов.

На основании полученных результатов определены режимы ТЦО, позволяющие получать наиболее высокий уровень магнитных свойств по сравнению с традиционной термической обработкой.

### Литература

1. Пискорский В. П., Сычев И. В., Валеев Р. А. Влияние термообработки на свойства магнитов Nd-Fe-Al-Ti-B // ГИАБ. 2007. №12. С. 133-137.
2. 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.
3. M. Basoglu, E. Yanmaz Effects of Sintering Temperature on Microstructure and Magnetic Properties of Nd-Fe-B Magnets, Journal of Superconductivity and Novel Magnetism volume 26, pages 1703-1705 (2013).
4. Song-E Park, Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Seok Namkung, and Tae-Suk Jang Effect of sintering conditions on the magnetic and microstructural properties of Nd-Fe-B sintered magnets doped with DyF<sub>3</sub>; powders, J Appl Phys. 2012 Apr 1; 111(7): 07A707-07A707-3.
5. ZHENG Huajun, HUANG Jianguo, MA Chun-an, Effect of Annealing on the Magnetism of the Sintered NdFeB Magnet, Transactions of Materials and Heat Treatment 25(5): 69-72.
6. Eva Afrilinda, Dagus Resmana Djuanda, Shinta Virdhian, Martin Doloksari-bu, Moch Iqbal Zaelana Muttahar, and Sri Bimo Pratomo Morphology of NdFeB-Type Permanent Magnet Coercivity Enhancement by Heat Treatment Process, Indones. J. Chem., 2021, 21 (3), 626 – 634.
7. Патент РФ 2238985. Способ термической обработки магнитотвёрдых сплавов на основе системы железо-хром-кобальт / Миляев А.И., Ковнеристый Ю.К., Ефименко С.П., Хайкина Г.Н. Заявл. 21.06.2003. Оpubл. 27.10.2004.
8. Патент РФ 2305710. Способ термической обработки магнитотвёрдых сплавов на основе железа / Ковнеристый Ю.К., Миляев А.И., Юсупов В.С., Миляев И.М. Заявл. 13.02.2006. Оpubл. 10.09.2007.
9. Соколова Т.В., Задиранов А.Н. Влияние термической обработки на магнитные свойства аморфного сплава на основе кобальта // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2016. №2, С. 26-31.
10. Jin Woo Kim, Sun Yong Song, Young Do Kim Effect of cyclic sintering process for Nd-Fe-B magnet on microstructure and magnetic properties, Journal of Alloys and Compounds, Volume 540, 5 november 2012, Pages 141-144.
11. Распоряжение от 06.06.2020 № 1512-р «Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года». <http://static.government.ru/media/files/Qw77Aau6IOSEIuQqYnvR4tGMCy6rv6Qm.pdf>.