

## Стандартные образцы как средство метрологического обеспечения контроля качества магнитотвердых материалов

Волегова Е. А., Сердюков С. В., Цай И. С., Маслова Т. И., Волегов А. С.

Уральский научно-исследовательский институт метрологии – филиал  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева»,  
г. Екатеринбург, Россия, e-mail: volegovaea@uniim.ru

**Аннотация:** в докладе рассматриваются вопросы метрологического обеспечения средств измерений магнитных свойств магнитотвердых материалов – гистерезисграфов с замкнутой магнитной цепью, посредством применения стандартных образцов утвержденного типа.

**Ключевые слова:** стандартные образцы, магнитотвердые материалы, остаточная индукция, коэрцитивная сила, максимальное энергетическое произведение, государственный первичный эталон

Магнитотвердые материалы (МТМ) и изделия из них – постоянные магниты (ПМ) – представляют собой источники магнитного поля, не требующие постоянного подвода энергии. Применяются в изделиях, в которых происходит превращение механической энергии в электрическую, создаются определенные конфигурации магнитных полей и др. [1,2]. МТМ характеризуются широкой петлей магнитного гистерезиса. Количество запасенной магнитной энергии пропорционально максимальному энергетическому произведению  $(BH)_{\max}$ . Эта величина является одной из основных при определении марки постоянных магнитов.

Для контроля качества ферромагнитных материалов по ГОСТ 17809 [3], ГОСТ 24063 [4], ГОСТ 24897 [5], ГОСТ 21559 [6], ГОСТ Р 52956 [7] необходимо проводить измерения магнитных гистерезисных свойств магнитов в замкнутой магнитной цепи. Поверка магнитоизмерительных установок такого типа до недавнего времени осуществлялась поэлементной проверкой блоков, входящих в состав. Такая поверка не могла в полной мере позволить определить корректность полученных результатов ввиду неполной информации от производителя о способе изготовления измерительных преобразователей и др. Для контроля точности измерений магнитных характеристик в связи с указанными сложностями необходимы стандартные образцы (СО) утвержденного типа, разработка которых стала возможна после совершенствования эталона ГЭТ 198-2017 [8].

В 2018 году проведены испытания восьми новых типов СО магнитных свойств МТМ на основе сплавов SmCo и NdFeB (ГСО 11148-2018/ГСО 11151-2018 [9] и ГСО 11059-2018/ГСО 11062-2018) [10]. СО используются при проведении испытаний в целях утверждения типа, поверки гистерезисграфов, аттестации методик измерений, контроля точности результатов измерений. Прослеживаемость аттестованных значений к единице магнитных величин реализуется посредством прямых измерений на ГЭТ 198-2017 [11].

Для обеспечения высокой точности измерений во всем диапазоне измерений характеристик постоянных магнитов необходимы СО магнитных свойств различных типов магнитных материалов. В настоящее время УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» выполняет работу по испытаниям в целях утверждения типа СО магнитных свойств МТМ на основе сплава ЮНДК, что позволит дальнейшее совершенствование системы метрологического обеспечения в области измерений свойств МТМ.

Ввиду эксплуатации ПМ в переменных магнитных полях, это приводит к возникновению вихревых токов в ПМ и элементах магнитных систем с электрической проводимостью и разогреву этих элементов в соответствии с законом Джоуля-Ленца [12]. Изменение температуры приводит к изменению магнитных свойств ПМ как в связи с изменением фундаментальных констант [13], так и с влиянием тепловых флуктуаций [14,15].

Для разработки устройств, работающих при повышенных температурах, необходимо знание предельных петель магнитного гистерезиса ПМ в широком диапазоне температур, что требует дальнейшего совершенствования ГЭТ 198-2017.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Permanent magnet applications / Coey J.M.D. [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2002. Vol. 248. Issue 3. P. 441-456. [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(02\)00335-9](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(02)00335-9)
2. Король В.И., Ланкин И.М., Ланкин М.В. Применение постоянных магнитов в разных отраслях // Вестник молодежной науки России. 2020. № 5.
3. ГОСТ 17809-72 Материалы магнитотвердые литые. Марки. М. : Издательство стандартов, 2001. С. 5.
4. ГОСТ 24063-80 Ферриты магнитотвердые. Марки и основные параметры. М. : Издательство стандартов, 1986. С. 12.
5. ГОСТ 24897-81 Материалы магнитотвердые деформируемые. Марки. М. : Издательство стандартов, 1981. С. 9.
6. ГОСТ 21559-76 Материалы магнитотвердые спеченные. Марки. М. : Издательство стандартов, 1976. С. 16.
7. ГОСТ Р 52956-2008 Материалы магнитотвердые спеченные на основе сплава неодим-железо-бор. Классификация. Основные параметры. М. : Стандартинформ, 2008. С. 7.
8. Волегова Е. А., Малыгин М. А., Маслова Т. И., Волегов А. С. Государственный первичный эталон единиц мощности магнитных потерь, магнитной индукции постоянного магнитного поля в диапазоне от 0,1 до 2,5 Тл и магнитного потока в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $3 \cdot 10^{-2}$  Вб ГЭТ 198-2017 // Измерительная техника. 2018. № 3. С. 7–10. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2018-3-7-10>
9. ГСО 11148-2018/ГСО 11151-2018 Стандартные образцы магнитных свойств магнитотвердых материалов на основе сплава SmCo (набор MC SmCo) // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2018. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/493144> (дата обращения: 28.07.2022).
10. ГСО 11059-2018/ГСО 11062-2018 Стандартные образцы магнитных свойств магнитотвердых материалов на основе сплава NdFeB (набор MC NdFeB) // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. 2022. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/1395632> (дата обращения: 26.07.2022).
11. Разработка стандартных образцов магнитных свойств магнитотвердых материалов на основе сплава NdFeB / Е.А. Волегова [и др.] // Стандартные образцы. 2019. Т. 15. № 1. С. 21–27. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2019-15-1-21-27>
12. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов. В 5 т. Т. 3. Электричество. М.: Физматлит, 2009. 656 с.
13. Кудреватых Н.В., Волегов А.С. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений: учеб. пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. 198 с.
14. Magnetic viscosity of L10 structured Mn-Ga and Mn-Al alloys / Volegov A.S. [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2017, pp. 750–756. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.06.087>
15. Effect of intergrain exchange interaction on magnetic viscosity of nanocrystalline isotropic NdFeB magnets / Voleгова Е.А. [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1389/1/012121>