

## Остаточная намагниченность

**Остаточная намагниченность**, намагниченность  $M_r$ , сохраняющаяся в магнетике после намагничивания его до насыщения и последующего снижения напряжённости внешнего магнитного поля до нуля. Остаточная намагниченность – одна из основных характеристик магнитного гистерезиса, обусловлена задержкой в изменении намагниченности при уменьшении поля после предыдущего намагничивания образца, вследствие влияния магнитной анизотропии и структурных неоднородностей образца, т. е. является структурно чувствительной характеристикой.

При переходе из состояния максимальной намагниченности в состояние остаточной намагниченности в поликристаллическом ферромагнетике вектора магнитных моментов поворачиваются от направления поля к направлению ближайшей оси лёгкого намагничивания. Этот поворот, в свою очередь, изменяет соотношение внутренних магнитных полей и приводит к смещению доменных стенок, дополнительно снижая намагниченность образца.

При увеличении намагничивающего поля остаточная намагниченность возрастает до максимального значения  $M_{r\max}$  при магнитном насыщении образца. При исследовании процессов перемагничивания также используется остаточная намагниченность  $M_d$ , сохраняющаяся в образце после снятия размагничивающего поля.

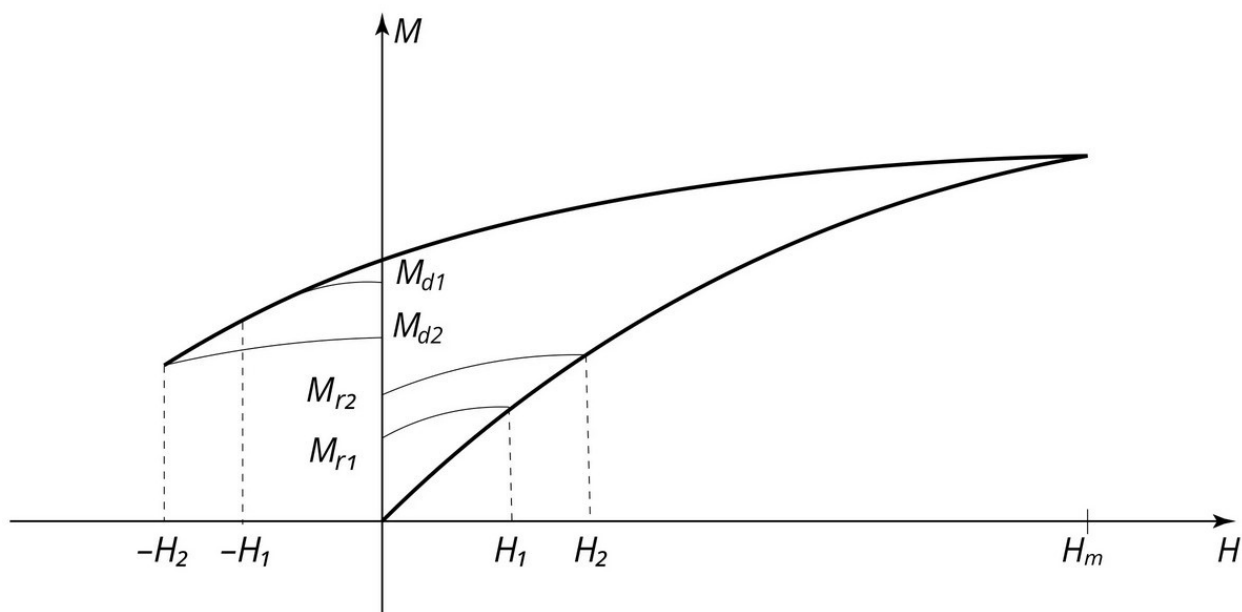
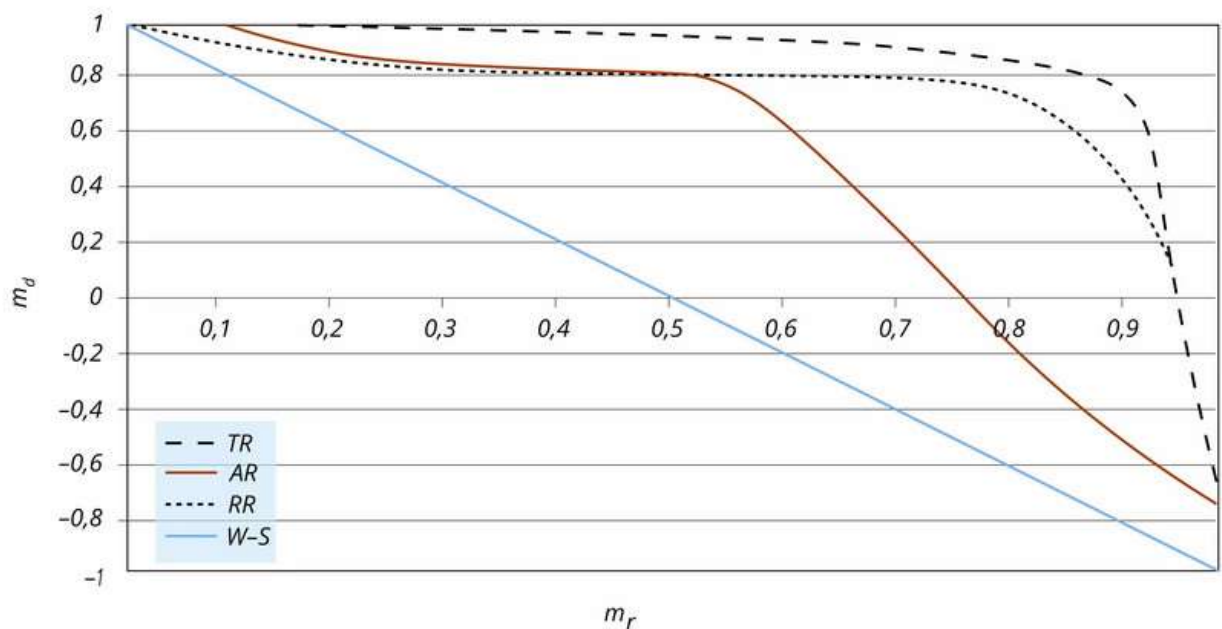


Рис. 1. Схема измерения графиков Хенкеля.

Соотношение остаточных намагниченностей при намагничивании  $M_r(H)$  и перемагничивании  $M_d(H)$  позволяет провести анализ взаимодействий в исследуемом магнетике. Для анализа магнитостатического взаимодействия

между однодоменными частицами О. Хенкель предложил использовать интегральные графики зависимостей соотношений  $M_r$  и  $M_d$  от напряжённости магнитного поля  $H$ . Схема измерения графика Хенкеля представлена на рис. 1. Зависимости  $M_r(H)$  и  $M_d(H)$  измеряются аналогичным образом, но отправной точкой для измерений служат различные начальные состояния образца. Для измерений  $M_r(H)$  к образцу, который находится в терморазмагниченном состоянии (точка А на рис. 1), прикладываются последовательно увеличивающиеся магнитные поля  $H_1, H_2$ , и т. д. Каждый раз при достижении определённого значения  $H_i$  напряжённость магнитного поля снижается до нуля и регистрируется соответствующее значение остаточной намагниченности  $M_{ri}(H_i)$ , после чего магнитное поле увеличивается до следующего значения  $H_{i+1}$  и описанная процедура повторяется. Данные измерения выполняются до тех пор, пока образец не достигает состояния технического насыщения (точка В на рис. 1). Для измерений  $M_d(H)$  начальным состоянием является намагниченное до технического насыщения состояние, и к образцу прикладывается обратное по отношению к начальному направлению внешнее магнитное поле. На рис. 2 представлены графики Хенкеля для ансамбля невзаимодействующих однодоменных частиц (прямая WS) и для образца  $SmCo_5$  после различных способов размагничивания, которые демонстрируют зависимость от способа размагничивания материала. Отклонение графиков от прямой линии (WS) указывает на наличие магнитостатического взаимодействия.



Графики Хенкеля для ансамбля невзаимодействующих однодоменных частиц (WS) и для образца  $SmCo_5$  после различных способов размагничивания: размагничивание знакопеременным полем с убывающей амплитудой (AR), термическое размагничивание (TR), размагничивание обратным полем –  $H_c^M$  (коэрцитивная сила по намагниченности) (RR).

По осям отложены нормированные намагниченности:  $m_r = M_r/M_{r \max}$  и  $m_d = M_d/M_{r \max}$ .

Рис. 2. Графики Хенкеля в зависимости от способа размагничивания материалов.

Остаточная намагниченность существенно уменьшится, если магнитный поток при измерении будет разомкнут. В этом случае на образец действует внутреннее размагничивающее поле, которое создаётся магнитными зарядами, образующимися на торцах образца, и которое направлено противоположно вектору намагниченности.

Остаточная намагниченность уменьшается при колебаниях температуры, механических сотрясениях и вибрациях. Наиболее устойчива остаточная намагниченность в магнитотвёрдых материалах, благодаря чему они находят широкое практическое применение, например, в постоянных магнитах.

Лилеев Алексей Сергеевич

#### Библиография:

- Henkel O. Remanenzverhalten und Wechselwirkungen in hartmagnetischen Teilchenkollektiven // *Physica Status Solidi*. – 1964. – Vol. 7, № 3. – P. 919–929.
- Вонсовский С. В. Магнетизм : магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримagnetетиков. – Москва : Наука, 1971.
- Викторов В. Н. Интерпретация процессов перемagnetичивания в магнитотвёрдых материалах с помощью графиков Хенкеля / В. Н. Викторов, А. С. Лилеев // *Приборы*. – 2006. – № 2 (68). – С. 36–40.