

## Некоторые закономерности необратимого перемагничивания поликристаллических ферромагнетиков

В.Н. Костин



*Экспериментально и теоретически установлена справедливость рэлеевской (квадратичной) зависимости для кривых возврата поликристаллических ферромагнетиков, начинающихся в полях меньше релаксационной коэрцитивной силы. Установлено, что коэффициент Рэлея, характеризующий интенсивность необратимого перемагничивания, практически не зависит от исходного значения магнитного поля и монотонно убывает с ростом по модулю исходной намагниченности, причем зависимость коэффициента Рэлея от исходного значения намагниченности является общей для различных поликристаллических ферромагнетиков. Установленные закономерности должны учитываться при анализе взаимосвязи комплексов магнитных свойств и параметров кристаллографической структуры материалов.*

В отличие от обратимого перемагничивания, процессы необратимого перемагничивания изотропных поликристаллических ферромагнетиков изучены недостаточно. До настоящего времени не было систематических исследований ни вклада этих процессов в общее изменение намагниченности, ни их зависимости от исходного магнитного состояния и структуры ферромагнетиков.

Проведенными экспериментальными и теоретическими исследованиями установлена справедливость рэлеевской зависимости для кривых возврата поликристаллических ферромагнетиков, начинающихся в полях меньше релаксационной коэрцитивной силы. Установлено, что связанные с перемагничиванием по кривым возврата релаксационная намагниченность и остаточная намагниченность, получающаяся после уменьшения до нуля коэрцитивного поля, имеют одинаковую структурную чувствительность и для них справедливы выражения:

$$M_{H_r} = \chi_a H_r + \frac{b_0}{2} H_r^2 \quad (1)$$

$$M_{H_c} = \chi_a H_c + \frac{b_0}{2} H_c^2 \quad (2)$$

где  $\chi_a$  - начальная магнитная восприимчивость;  $b_0$  - коэффициент Рэлея вблизи размагниченного состояния. В выражениях (1) и (2) первое слагаемое характеризует интенсивность обратимых

процессов перемагничивания, а второе – необратимых.

Сопоставление несимметричных петель гистерезиса, начинающихся при различных исходных значениях поля и намагниченности, показало, что коэффициент Рэлея практически не зависит от исходного значения магнитного поля и монотонно убывает с ростом по модулю исходной намагниченности, а зависимость является общей для различных поликристаллических ферромагнетиков (рис.1).

В рамках модельных представлений о необратимом смещении 180-градусных доменных границ в многодоменном ферромагнетике получено следующее выражение для коэффициента Рэлея:

$$b = AM_s \frac{S_u}{\Delta H_{\text{крит}}^{\text{max}}} \quad (3)$$

где  $A$  - константа, зависящая от объемной плотности и величины препятствий движению доменных границ;  $M_s$  - намагниченность насыщения;  $\Delta H_{\text{крит}}^{\text{max}}$  - суммарная площадь доменных границ в исходном магнитном состоянии;  $S_u$  - изменение магнитного поля, равное максимальному значению критических полей доменных границ в материале и коррелирующее с величиной коэрцитивной силы материала. В отличие от известного выражения Прейзаха выражение (3) позволяет объяснить монотонный спад вели-

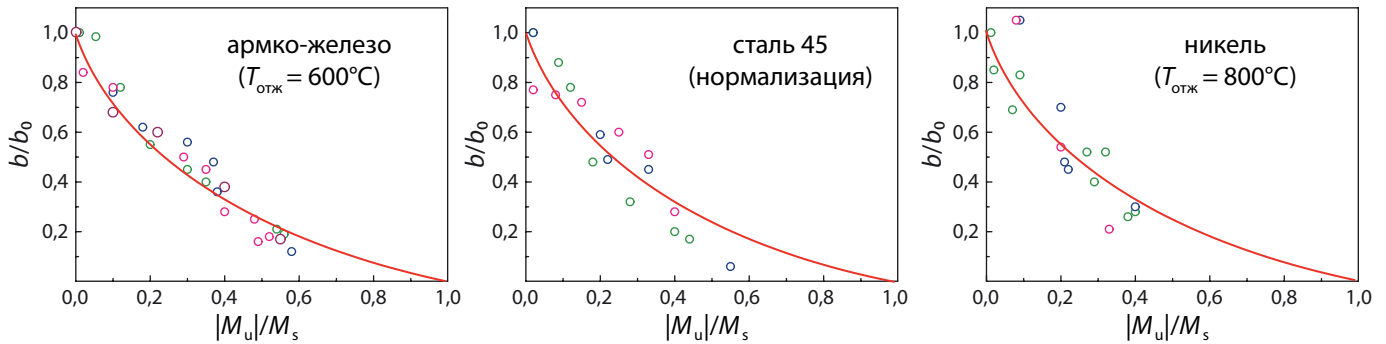


Рис. 1

Зависимость относительной величины коэффициента Рэлея различных материалов от исходного магнитного состояния:  $\circ$  – на кривой намагничивания;  $\circ$  –  $H_u = 0, M_u \neq 0$ ;  $\circ$  – на нисходящей ветви предельной петли гистерезиса при  $H_u < H_c$ ;  $\circ$  – на нисходящей ветви предельной петли при  $H_u > H_c$

чины коэффициента Рэлея при увеличении по модулю исходной намагниченности, поскольку при этом монотонно уменьшается суммарная площадь доменных границ.

Получена качественная оценка влияния плотности дефектов кристаллического строения, меняющейся под действием деформации и отжига, на входящие в (1) параметры доменной структуры и величину коэффициента Рэлея.

Из статистической теории концентрации магнитных фаз получено, что для структуры с плоскопараллельными 180-градусными доменными границами, если поле направлено под углом к легкой оси, зависимость коэффициента Рэлея от намагниченности определяется выражением:

$$\frac{b}{b_0} = \frac{1}{\text{ch}^2\left(E \frac{M_u}{M_s} \cos \alpha\right)} \quad (4)$$

где  $b_0$  - величина коэффициента Рэлея при нулевой исходной намагниченности;  $E$  - константа, зависящая от структуры ферромагнетика.

Если в поликристалле преобладают 180-градусные соседства, как, например, в отожженном железе, и оси легкого намагничивания отде-

льных кристаллитов равномерно распределены по всем направлениям, тогда:

$$\left(\frac{b}{b_0}\right)_{\text{поликр}} = 0,318 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\text{ch}^2\left(E \frac{M_u}{M_s} \cos \alpha\right)} d\alpha \quad (5)$$

При  $E = 4,5$  зависимость (5) хорошо согласуется с экспериментальными зависимостями коэффициента Рэлея от исходного магнитного состояния.

Установленные закономерности должны учитываться при анализе взаимосвязей магнитных свойств с характеристиками кристаллографической структуры материалов. Результаты исследования структурной чувствительности параметров необратимого перемагничивания уже используются для оптимизации существующих и для разработки новых, более чувствительных и достоверных методов магнитного структурного анализа.

Более подробно с представленными результатами и выводами можно ознакомиться в публикации<sup>[1]</sup>.

<sup>1</sup> Костин В.Н. О некоторых закономерностях необратимого изменения намагниченности поликристаллических ферромагнетиков. Дефектоскопия. № 1 (2004). С. 29-38.