

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПО МАГНИТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

© 2024 г. Алексей Николаевич Сташков^{1*}, Е. А. Шапова¹, А. П. Ничипурук¹,
Н. В. Гордеев^{1,2}, А. М. Матосян^{1,2}

¹ – Институт физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620108 Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

² – Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина, 620002 Екатеринбург, ул. Мира, 19

* - stashkov@imp.uran.ru

Представлены результаты исследований магнитных свойств технически чистого железа, углеродистых сталей и никеля, подвергнутых упругим и пластическим деформациям. Измерялись полевые зависимости дифференциальной и обратимой магнитной проницаемости как на отожженных недеформированных образцах, так и на упруго и пластически деформированных образцах. Установлено, что появление дополнительных максимумов на кривых связано с возникновением магнитной текстуры типа «легкая плоскость» в образцах из-за остаточных или приложенных напряжений (рис. 1а). Одним из основных условий возникновения такой магнитной текстуры являются разные по знаку магнитострикция и напряжения ($\lambda \cdot \sigma < 0$). Появление дополнительных максимумов на кривых связано со смещением преимущественно 90-градусных доменных границ, наиболее чувствительных к механическим напряжениям. Из экспериментально измеренных кривых были определены значения полей максимумов H_1 и H_2 (рис. 1б), а также рассчитаны значения механических напряжений сжатия в стальных образцах и растяжения в никеле:

$$\sigma_{xx} = -\alpha \frac{2\mu_0 H_{avg} M_S}{3\lambda_{100}}, \quad (1)$$

где M_S – намагниченность насыщения, λ_{100} – константа магнитострикции в направлении (100); σ_{xx} – компонента тензора механических напряжений, α – коэффициент, связанный с типом кристаллической решетки ферромагнетика (0,82 для железа и феррито-перлитных сталей); H_{avg} – среднеарифметическое полей H_1 и H_2 .

Данный подход является новым и позволяет применить его для неразрушающего контроля механических напряжений в конструкциях и деталях из ферромагнитных материалах. Более подробно результаты работы приведены в [1-5].

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», №122021000030-1).

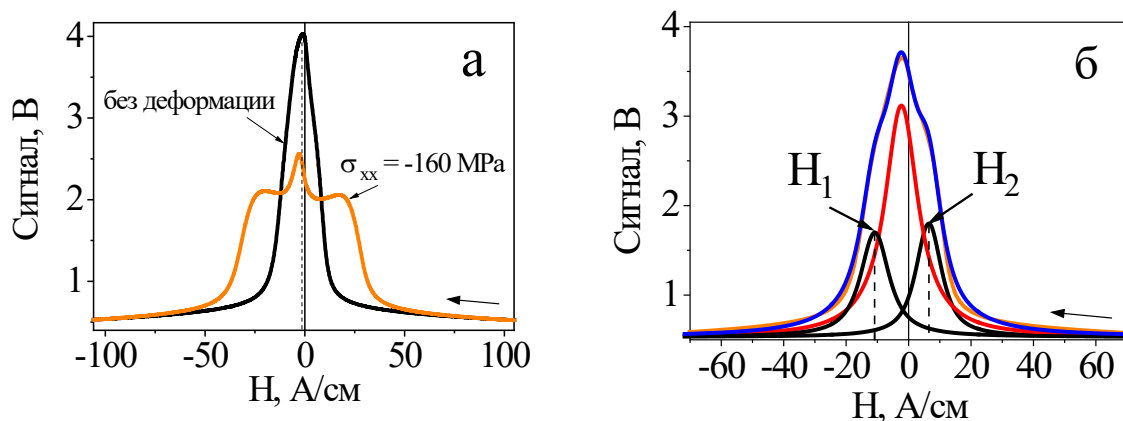


Рис. 1. Полевые зависимости сигнала индукционного преобразователя, пропорциональные обратной магнитной проницаемости, для технического чистого железа (а) и пример обработки экспериментальной кривой для нахождения полей H_1 и H_2 (б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Nichipuruk A.P., Rozenfel'd E.V., Ogneva M.S., Stashkov A.N., Korolev A.V. An experimental method for evaluating the critical fields of moving domain boundaries in plastically tension-deformed low-carbon wires // Russ. J. Nondestruct. Test. 2014. V. 10. P. 18–26. DOI: 10.1134/S1061830914100088.
2. Stashkov A.N., Schapova E.A., Nichipuruk A.P., Korolev A.V. Magnetic incremental permeability as indicator of compression stress in low-carbon steel // NDT & E International. 2021. V. 118. P. 102398–102402. DOI: 10.1016/j.ndteint.2020.102398.
3. Stashkov A.N., Schapova E.A., Afanasiev S.V., Stashkova L.A., Nichipuruk A.P. Estimation of residual stresses in plastically deformed eutectoid steel with different perlite morphology via magnetic parameters // J. Magn. Mater. 2022. V. 546. P. 168850–168856. DOI: 10.1016/j.jmmm.2021.168850.
4. Stashkov A.N., Schapova E.A., Nichipuruk A.P., Stolbovsky A.V. Magnetic Incremental Permeability of Elastically Deformed Iron and Nickel // Journal of nondestructive evaluation. 2024. V. 43. P. 8–15. DOI:10.1007/s10921-023-01023-y.
5. Nichipuruk A.P., Stashkov A.N., Kuleev V.G., Schapova E.A., Osipov A.A. A Procedure and Device for Calibration-Free Determination of Residual Compression Stresses in Low-Carbon Steels Deformed by Tension. // Russ. J. Nondestruct. Test. 2017. V. 11. P. 772–778. DOI:10.1134/S1061830917110055.