

Обратимая магнитная проницаемость упруго деформированных железа и никеля

А.Н. Сташков, Е.А. Шапова, А.П. Ничипурук, А.В. Столбовский

Актуальность работы продиктована необходимостью разработки новых и совершенствования существующих неразрушающих методов контроля механических напряжений. В 2014 году в работе [1] впервые было установлено, что если образец в виде проволоки из стали СтЗкп пластически растянуть, а затем измерить полевые зависимости обратимой (дифференциальной) магнитной проницаемости, то вместо единственного максимума наблюдаются два или три пика. Подобные результаты получились и при сжатии стального образца в упругой области деформаций. Появление дополнительных максимумов связано с возникновением магнитной текстуры в образцах из-за остаточных или приложенных сжимающих напряжений. Вероятно, что появление дополнительных максимумов на кривых связано со смещением преимущественно 90-градусных доменных границ. Из экспериментально измеренных кривых с «особенностями» (несколькими максимумами или перегибами) были определены значения полей максимумов и рассчитаны значения механических напряжений сжатия в стальных образцах. Данный подход является новым в неразрушающем контроле механических напряжений и ранее не использовался.

Сжимающие напряжения в стальных конструкциях (например, вертикальных опорах или стойках) могут приводить к авариям из-за резкой потери устойчивости при превышении нагрузок. Поэтому контроль сжимающих напряжений не менее важен, чем растягивающих. Возможен ли контроль растягивающих механических напряжений в ферромагнитных материалах с помощью описанных магнитных измерений? Чтобы ответить на данный вопрос, нами были проведены эксперименты на железе (чистота 99,9 %) и никеле (чистота 99,6 %). Как известно, никель, в отличие от железа, имеет отрицательную магнитострикцию во всем диапазоне намагничивающего поля. Поэтому, если в железе магнитная текстура типа «легкая плоскость», влияющая на процессы перемагничивания, возникает при его упругом сжатии, то в никеле такая текстура должна возникать при растяжении. При этом особенности в виде дополнительных максимумов (перегибов) на полевых зависимостях обратимой магнитной проницаемости, которые получают на сжатых сталях или железе, должны наблюдаться и на растянутом никеле. Действительно, было экспериментально установлено, что появление особенностей

в виде перегибов и дополнительных максимумов на полевых зависимостях обратимой магнитной проницаемости наблюдается при упругом растяжении никеля и сжатии технически чистого железа (рис. 1). От знаков магнитострикции ферромагнетика и приложенной нагрузки зависит появление дополнительных пиков на полевых зависимостях обратимой магнитной проницаемости из-за возникновения магнитной текстуры типа «легкая плоскость», которая перпендикулярна направлению приложенного напряжения.

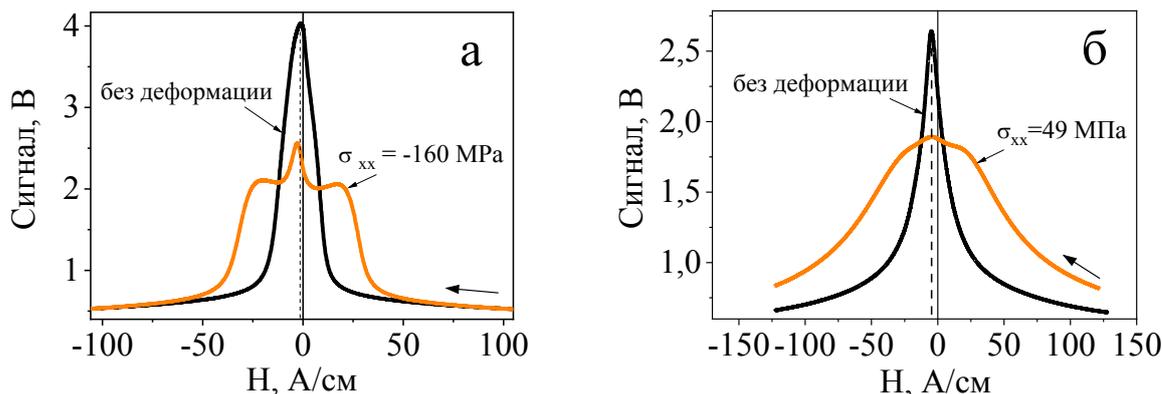


Рис. 1. Полевые зависимости сигнала индукционного преобразователя, пропорциональные обратимой магнитной проницаемости, для технически чистого железа (а) и никеля (б)

Количественно определить величину приложенных механических напряжений возможно после математической обработки экспериментальной кривой, представив ее в виде суммы трех кривых с единственными максимумами (рис. 2).

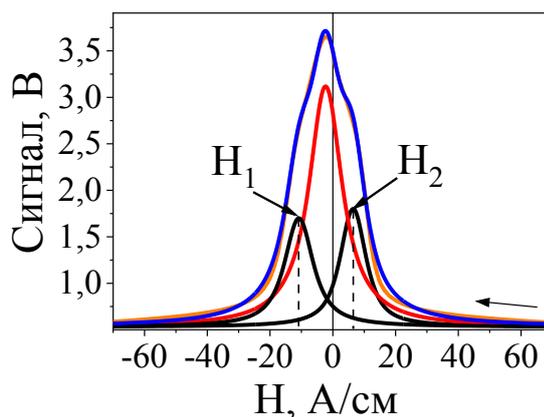


Рис. 2. Пример аппроксимации исходной экспериментальной кривой для упруго сжатого образца технически чистого железа (при действии упругих сжимающих напряжений 33 МПа)

По найденным значениям полей H_1 и H_2 из условия равенства магнитостатической и магнитоупругой энергий ферромагнетика, были рассчитаны

значения сжимающих (для железа) и растягивающих (для никеля) напряжений, которые совпали с приложенными напряжениями.

Результаты данного исследования могут быть применены для технической диагностики объектов из ферромагнитных материалов с разным знаком магнитострикции, в том числе никелевых покрытий на неферромагнитном основании.

Более подробно результаты работы приведены в [2].

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

Литература.

1. Nichipuruk AP, Rozenfel'd EV, Ogneva MS, Stashkov AN, Korolev AV. An experimental method for evaluating the critical fields of moving domain boundaries in plastically tension-deformed low-carbon wires. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014; 10: 18–26. <https://doi.org/10.1134/S1061830914100088>
2. Magnetic Incremental Permeability of Elastically Deformed Iron and Nickel / A.N. Stashkov, E.A. Schapova, A.P. Nichipuruk, A.V. Stolbovsky // Journal of nondestructive evaluation. –2024. –V.43, article number 8. Published 08 December 2023. <https://doi.org/10.1007/s10921-023-01023-y>