

УДК 620.179.14

ЭВОЛЮЦИЯ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУСЛОЙНОГО
ФЕРРОМАГНЕТИКА, СОСТАВЛЕННОГО ИЗ КОМПОНЕНТОВ
С МАГНИТОСТРИКЦИЕЙ РАЗНЫХ ЗНАКОВ,
ПРИ УПРУГОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Э. С. ГОРКУНОВ, Ю. В. СУБАЧЕВ, А. М. ПОВОЛОЦКАЯ,
С. М. ЗАДВОРКИН
ФГБУН «ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ УРО РАН»
Екатеринбург, Россия

Изделия и элементы конструкций из композиционных материалов (КМ), имеющие в своем составе компоненты с различными физико-механическими свойствами, находят широкое применение. Однако проблема диагностики деталей машин и элементов металлоконструкций, изготовленных из таких материалов, до сих пор не решена, в том числе из-за неполного понимания роли магнитоупругого эффекта в формировании магнитных свойств КМ, а также вклада каждого компонента в его магнитные характеристики. Различия в механических свойствах составляющих КМ под действием приложенной нагрузки приводят к различному напряженному состоянию каждого из компонентов. Когда составляющие КМ представляют собой, к примеру, сплавы на основе железа (стали), возможна такая ситуация, что при одной и той же деформации магнитострикции компонентов будут иметь противоположные знаки. В такой постановке задачи вклад отдельных компонентов в магнитные свойства КМ в литературе рассмотрен не был.

В работе представлены результаты исследования закономерностей поведения ряда магнитных характеристик, в том числе магнитострикции, материалов армко-железа, магнитострикция которого в ненагруженном состоянии положительна, и никеля, магнитострикция которого отрицательна, а также модельного двухслойного материала, составленного из них, при упругом деформировании одноосным растяжением (сжатием).

На рис. 1 представлены зависимости магнитных характеристик (коэрцитивной силы, остаточной индукции и максимальной магнитной проницаемости), измеренных в условиях замкнутой магнитной цепи, от величины приложенных напряжений для образцов из армко-железа, никеля и составного образца Fe-Ni. Под действием сжимающих напряжений магнитная проницаемость армко-железа существенно снижается, а магнитная проницаемость никеля увеличивается. Вследствие этого, в составном двухслойном образце происходит перераспределение магнитного потока, преимущественно в сторону составляющей из никеля, поэтому именно она вносит основной вклад в магнитные свойства двухслойного образца. Под действием растягивающих напряжений магнитные характеристики состав-

ного образца принимают промежуточные значения между значениями магнитных характеристик материалов слоев и более близкие по величине к значениям, полученным для Ni. На характер поведения кривых $H_c(\sigma)$, $B_r(\sigma)$, $\mu_{\max}(\sigma)$ составного образца при растяжении оказывают влияние оба составляющих слоя: вклад Fe обусловлен высокой магнитной проницаемостью, на порядок превышающей магнитную проницаемость Ni, а вклад никеля объясняется тем, что его поперечное сечение в составном образце превышает сечение армко-железа в 4 раза.

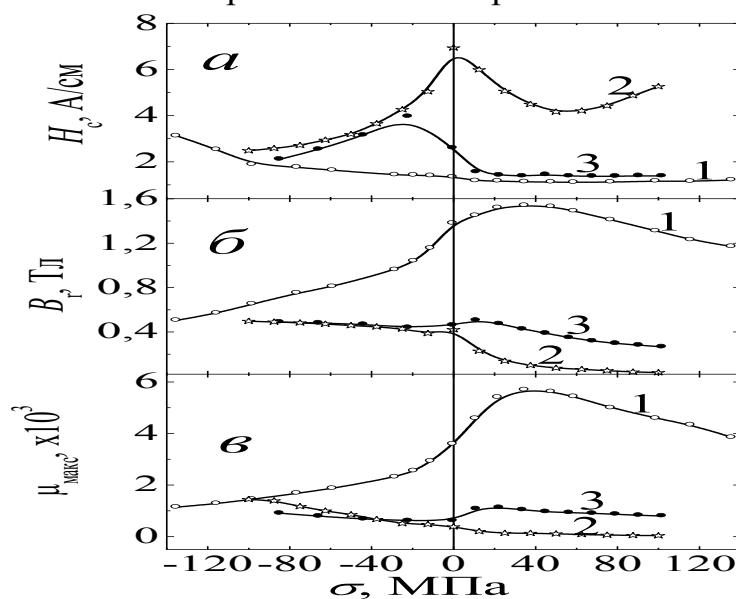


Рис. 1. Зависимости от приложенных напряжений значений коэрцитивной силы (а), остаточной индукции (б) и максимальной магнитной проницаемости (в), измеренные в условиях замкнутой магнитной цепи. Кривые 1 – для образца из армко-железа, кривые 2 – для образца из Ni, кривые 3 – для составного образца

Установлен характер изменения магнитострикции составного образца Fe-Ni при увеличении приложенных растягивающих и сжимающих напряжений. Отмечено, что на деформационное поведение полевых зависимостей магнитострикции составного образца, измеренных со стороны одной составляющей, существенное влияние оказывает вторая, удаленная от измерительного устройства составляющая. В частности, это влияние проявляется в наличии в слабых полях особенностей в виде нехарактерных положительных или отрицательных участков при максимальных растягивающих и сжимающих напряжениях при измерениях магнитострикции составного образца, соответственно, со стороны никеля и армко-железа (см. рис. 2 и 3).

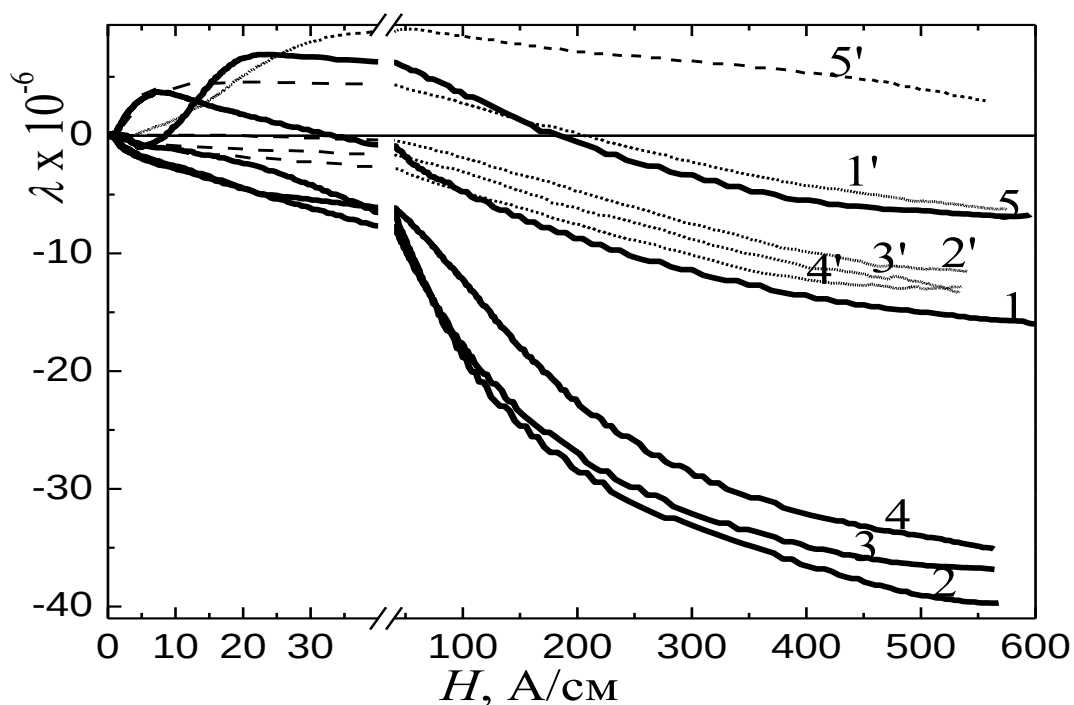


Рис. 2. Полевые зависимости магнитострикции при различных значениях приложенных напряжений. Кривые 1 - 5 – для двуслойного образца, измерения со стороны слоя из Fe, кривая 1 – $\sigma = 0$; 2 – 34; 3 – 57; 4 – 102; 5 – 85 МПа. Кривые 1' – 5' – для образца из армко-железа, кривая 1' – $\sigma = 0$; 2' – 35; 3' – 59; 4' – 99; 5' – 135 МПа

На рис. 4 приведены зависимости от приложенных напряжений относительных значений коэрцитивной силы и среднеквадратичных значений напряжений магнитных шумов Баркгаузена U , измеренных на составном образце с использованием накладных преобразователей вдоль и поперек оси приложения нагрузки как со стороны слоя из Ni, так и со стороны слоя из армко-железа. Как видно из рис. 4, к напряжениям сжатия наиболее чувствительна коэрцитивная сила, измеренная приставным датчиком со стороны материала с отрицательной магнитострикцией, а к растягивающим одноосным напряжениям – коэрцитивная сила, измеренная со стороны компонента с положительной магнитострикцией. В то же время значения U , измеренные как вдоль, так и поперек направления нагружения, при расположении датчика со стороны составляющей из Ni, имеют достаточно высокую чувствительность во всем интервале приложенных напряжений, а значит, для оценки напряженного состояния двуслойного материала, составляющие которого обладают магнитострикцией разных знаков, предпочтительнее использовать данный параметр в качестве информативного, при этом расположение датчика должно быть со стороны слоя, обладающего отрицательной магнитострикцией.

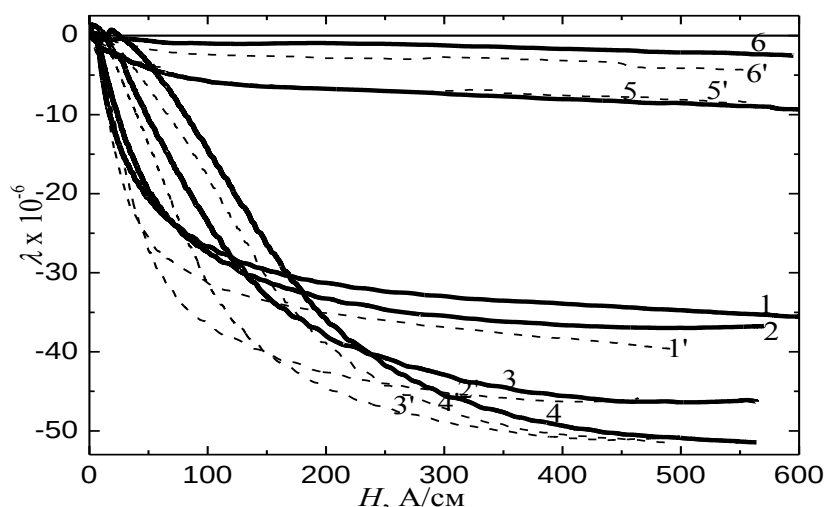


Рис. 3. Полевые зависимости магнитострикции при различных значениях приложенных напряжений. Кривые 1 - 6 – для двуслойного образца, измерения со стороны слоя из Ni, кривая 1 – $\sigma = 0$; 2 – 23; 3 – 68; 4 – 102; 5 – 44; 6 – 85 МПа. Кривые 1' – 6' – для образца из Ni, кривая 1' – $\sigma = 0$; 2' – 25; 3' – 62; 4' – 100; 5' – 50; 6' – 88 МПа

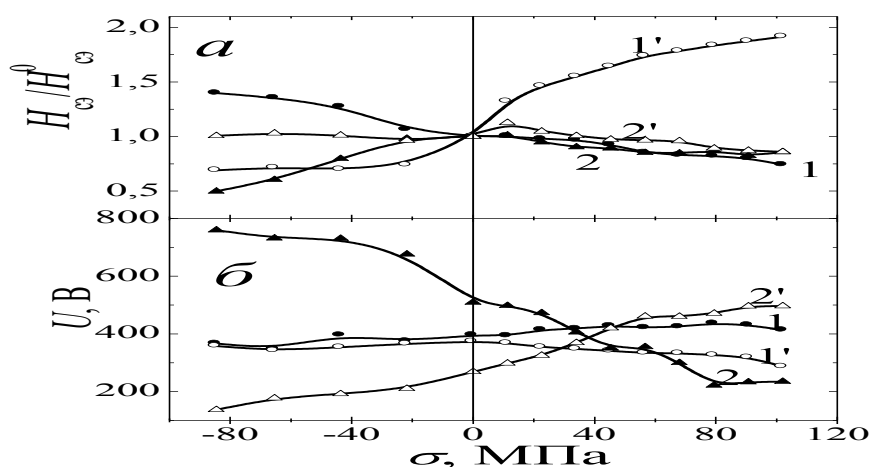


Рис. 4. Зависимости $H_{сз}/H_{сз}^0(\sigma)$ (а) и U (б) от величины приложенных напряжений, полученные в полужамкнутой магнитной цепи, для составного образца. Кривые 1, 2 – измерения вдоль направления оси приложения нагрузки, 1', 2' – поперек. Кривые 1, 1' – измерения со стороны армко-железа, кривые 2, 2' – со стороны никеля

При выполнении настоящей работы было использовано оборудование ЦКП “Пластометрия” при ИМАШ УрО РАН.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы УрО_25П (проекты №№ 12-П-1-1027 и 12-Т-1-1010), междисциплинарного проекта № 12-М-123-2045, гранта РФФИ № 13-01-00732.

E-mail: us@imach.uran.ru