

Я. С. ШУР и Д. Д. МИШИН

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА НАЧАЛЬНУЮ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 11 II 1952)

I. Экспериментальное установление зависимости магнитных свойств ферромагнетиков в области слабых магнитных полей от упругих напряжений имеет важное значение как для современной теории технического намагничивания, так и при практическом использовании магнитных материалов. Однако этот вопрос до сих пор изучен крайне слабо. Имеющиеся экспериментальные результаты были получены попутно в работах, посвященных выяснению других вопросов. Специальные систематические исследования этой зависимости не проводились.

В свете современной теории технической кривой намагничивания зависимость начальной магнитной восприимчивости от слабых напряжений была теоретически исследована С. В. Вонсовским⁽¹⁾. Им было показано, что в зависимости от исходной магнитной текстуры ход кривых начальная восприимчивость — напряжения ($\chi_a(\sigma)$) может быть самым различным*.

Целью наших исследований явилось экспериментальное изучение зависимости магнитных свойств в слабых полях от слабых упругих напряжений на ряде ферромагнитных материалов при различных магнитоструктурных состояниях, внутренних напряжениях и кристаллографических направлениях, установление закономерностей этой зависимости и их сравнение с теорией Вонсовского.

II. Исследование производилось на шести различных магнитомягких материалах с различными по величине и по знаку константами анизотропии и магнитострикции и с различными значениями намагниченности насыщения: железо, никель, 66-пермаллой (66% Ni, 34% Fe), динамная сталь (1% Si), трансформаторная горяче-катаная сталь (3,7 — 4,2% Si) и трансформаторная холодно-катаная сталь ХВП. Образцы для исследования были изготовлены в форме полосок $0,3 \times 1,5 \times 150$ мм, проволок диаметром 0,5 мм, длиной 150 мм и трубочек диаметром 1 мм, длиной 150 мм с толщиной стенок 0,1 мм.

Для получения различных структурных состояний эти образцы подвергались различному наклепу и отжигам при различных условиях. Для создания различных магнитно-структурных состояний образцы 66-пермаллоя и ХВП подвергались термомагнитным обработ-

* По Вонсовскому, в общем случае начальная восприимчивость зависит от первых и вторых степеней напряжений. Согласно же теории Акулова, ход кривой $\chi_a(\sigma)$ определяется знаком магнитострикции в слабых полях и не зависит от исходной магнитной текстуры, благодаря чему эта зависимость получается всегда монотонной⁽²⁻³⁾.

кам⁽⁴⁾. Для исследования кристаллографической анизотропии была использована кристаллографически текстурированная холодно-катаная трансформаторная сталь ХВП. Измерения намагнитченности производились на высокочувствительном вертикальном аstaticком магнетометре⁽⁵⁾. Для установления степени магнитной текстурированности

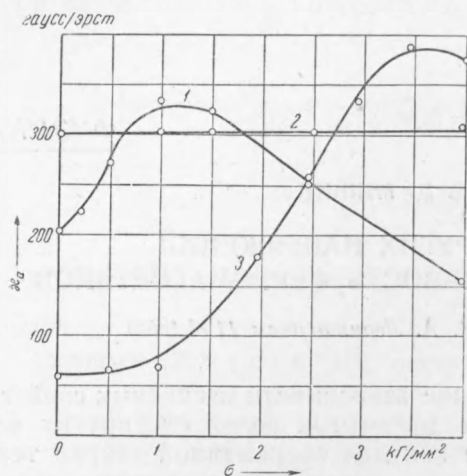


Рис. 1. Зависимость начальной восприимчивости 66-пермаллоя от упругих напряжений: 1 — после отжига без магнитного поля, 2 — после отжига в продольном магнитном поле, 3 — после отжига в поперечном магнитном поле

в сторону больших восприимчивостей, тангенс угла наклона этой прямой возрастает с уменьшением внутренних напряжений.

б) В случае никеля начальная восприимчивость монотонно, но не линейно уменьшается с увеличением упругих растяжений, причем крутизна кривых $\chi_a(\sigma)$ увеличивается с уменьшением внутренних напряжений.

в) В случае трансформаторной стали и 66-пермаллоя χ_a сначала, с увеличением упругих напряжений, растет, затем, достигнув максимума, падает. Положение максимума и величина его зависят от величины внутренних напряжений. При уменьшении внутренних напряжений максимум на кривой $\chi_a(\sigma)$ смещается в сторону меньших упругих растяжений. Абсолютная величина максимума с уменьшением внутренних напряжений возрастает.

г) Во всех случаях при больших внутренних напряжениях начальная восприимчивость не зависит от малых упругих напряжений.

2. Исследование влияния магнитной текстуры, созданной термомагнитной обработкой, на зависимость $\chi_a(\sigma)$, проведенное на 66-пермаллое, показало, что:

а) При изотропном распределении магнитных фаз начальная восприимчивость с увеличением упругих напряжений сначала растет, затем, после достижения максимума, падает (рис. 1, 1).

измерялись кривые магнитоstriction. При этих измерениях магнитоstrictionный прибор⁽⁶⁾ вставлялся в одну из намагничивающих катушек магнетометра, это позволило производить одновременное измерение намагнитченности и магнитоstrictionки образца.

Нагрузка и разгрузка образца производились плавно при помощи специального гидравлического приспособления.

III. Основные результаты данных измерений следующие.

1. Исследование влияния внутренних напряжений на зависимость $\chi_a(\sigma)$ показало, что:

а) В случае железа зависимость начальной восприимчивости от упругих напряжений $\chi_a(\sigma)$ линейная, причем при уменьшении внутренних напряжений происходит смещение прямой $\chi_a(\sigma)$

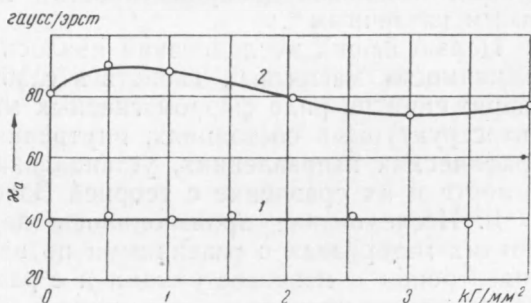


Рис. 2. Зависимость начальной восприимчивости "тетрагонального" образца холоднокатаной трансформаторной стали (ХВП) от упругих напряжений: 1 — после отжига без магнитного поля, 2 — после отжига в продольном магнитном поле

б) В случае резко выраженной магнитной текстуры, при которой направление легкого намагничивания совпадает с осью образца, начальная восприимчивость не зависит от упругого растяжения (рис. 1, 2),

в) В случае резко выраженной магнитной текстуры, при которой направление трудного намагничивания совпадает с осью образца, кривая

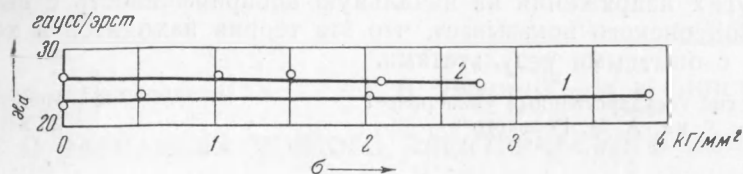


Рис. 3. То же, что на рис. 2, для «тригонального» образца

$\chi_a(\sigma)$ имеет максимум, причем в данном случае абсолютная величина $(\chi_a(\sigma))_{\max}$ больше, чем в случае изотропного состояния. Величина упругого растяжения, при котором кривая $\chi_a(\sigma)$ достигает максимума, также больше, чем в случае изотропного распределения магнитных фаз (рис. 1, 3).

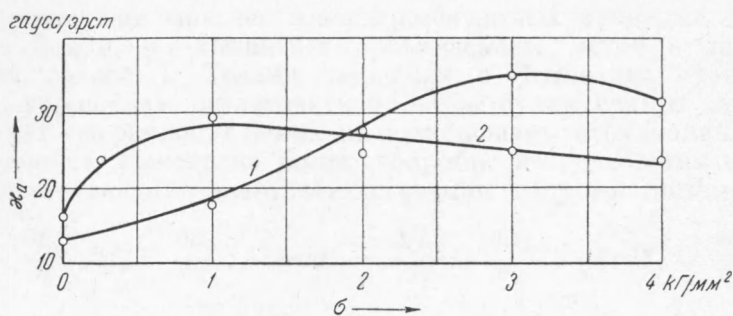


Рис. 4. То же, что на рис. 2, для «дигонального» образца

3. Исследование влияния кристаллографической текстуры на зависимость $\chi_a(\sigma)$, проведенное на кристаллографически текстурированной трансформаторной стали (ХВП), показало, что:

а) В «тетрагональном» направлении (преимущественная ориентация тетрагональных осей кристаллитов близка к оси образца) начальная восприимчивость не зависит от упругих напряжений (рис. 2, 1).

б) В «тригональном» направлении (преимущественная ориентация тригональных осей кристаллов близка к оси образца) начальная восприимчивость не зависит от упругих напряжений (рис. 3, 1).

в) В «дигональном» направлении (преимущественная ориентация дигональных осей кристаллитов близка к оси образца) начальная восприимчивость сначала растет с увеличением упругого растяжения, затем, после достижения максимума, падает (рис. 4, 1).

4. Исследование влияния термомагнитной обработки на зависимость $\chi_a(\sigma)$ на образцах кристаллографически текстурированной трансформаторной стали (ХВП) показало, что:

а) Термомагнитная обработка резко увеличивает начальную восприимчивость только в «тетрагональном» направлении (рис. 2, 2); в «дигональном» и «тригональном» направлениях начальную восприимчивость эта обработка изменяет незначительно (рис. 4, 2; рис. 1, 2).

б) После термомагнитной обработки начальная восприимчивость в «тетрагональном» (рис. 3, 2) и «дигональном» (рис. 4, 2) образцах почти не зависит от упругих напряжений.

в) Возникновение отрицательной магнитострикции после термомагнитной обработки трансформаторной стали происходит лишь в кристаллах, направление тетрагональных осей которых совпадает с направлением магнитного поля, накладываемого при охлаждении.

Сопоставление полученных нами экспериментальных данных о влиянии упругих напряжений на начальную восприимчивость с выводами теории Вонсовского показывает, что эта теория находится в хорошем согласии с опытными результатами.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
26 XII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Вонсовский, ЖЭТФ, 17, 1094 (1947). ² Н. Акулов, А. Гельфенбейн, Н. Бычков, ЖЭТФ, 5, 53 (1933). ³ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм. М.—Л., 1939. ⁴ С. В. Вонсовский, Я. С. Шур, Ферромагнетизм, М.—Л., 1948. ⁵ Я. С. Шур, В. И. Дрожжина, ЖЭТФ, 17, 607 (1947); Я. С. Шур, А. С. Хохлов, ЖЭТФ, 17, 7 (1947).