

АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПОЛЯ НА ЯДРАХ Fe^{57} В УПРУГОНАПРЯЖЕННОМ ИНВАРНОМ СПЛАВЕ

Е.М. Сахаров, Р.Н. Кузьмин

Обнаружено обратимое изменение сверхтонкой структуры мессбауэровского спектра инварного сплава Fe_3Pt под действием одноосных упругих растягивающих напряжений.

Инварные сплавы обладают различными аномальными свойствами, к числу которых относится и заметное влияние упругих напряжений на намагниченность. Существует предположение, что упругие напряжения за счет сильного изменения обменного взаимодействия оказывают добавочное коррелирующее действие на спины внутри областей самопроизвольной намагниченности, изменяя суммарную намагниченность. Свидетельством большой "крутизны" результирующего обменного интеграла считается аномальная зависимость в инварах температуры Кюри T_C от внешних упругих напряжений. Однако причина такой сильной зависимости еще остается недостаточно ясной [1]. Особенно сильно инварные свойства проявляются у сплава, близкого к составу Fe_3Pt . Поэтому на нем было проведено исследование влияния одноосных упругих растягивающих напряжений σ на эффективные поля, величина которых находится в прямой связи с намагниченностью.

Предварительно нами были исследованы сплавы, закаленные с различных температур с целью определения влияния степени дальнего порядка S на мессбауэровские спектры. Оказалось, что мессбауэровские спектры меняют форму последовательно от одиночной линии (закалка с $1000^\circ C$) до суммы синглета и спектра со сверхтонкой структурой СТС (закалка с более низких температур $T_{зак}$). Мессбауэровский спектр образца с $S = 0,9$ ($650^\circ C$) представляет секстет с соотношением интенсивностей линий, близким к типичному для ферромагнитных фольг. Согласно [2], сплав Fe_3Pt упорядочивается по типу Cu_3Au с ферромагнитной ориентацией атомных спинов как в упорядоченном, так и в неупорядоченном состояниях.

На рис. 1 и рис. 2 приведены мессбауэровские спектры образцов (720 и $755^\circ C$), к которым были приложены наибольшие в наших измерениях σ_{max} , не превышающие пределов упругости. В спектре образца ($720^\circ C$) кроме изменения соотношения интенсивностей линий СТС из-за частичной переориентации областей самопроизвольной намагниченности по направлению действия σ (магнитострикция сплава Fe_3Pt — положительна [1]), было зафиксировано увеличение среднего поля $\langle H_{\Pi} \rangle$ на ядрах Fe^{57} $\langle \Delta H_{\Pi} \rangle / \langle H_{\Pi} \rangle = (8,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-2}$ (рис. 1, Б), что почти на три порядка величины больше, чем у чистого Fe [3]. Для другого образца ($755^\circ C$) (рис. 2, Б) при σ_{max} существенно возросла доля ферромагнитной "фазы", улучшилось разрешение спектра, и, одновременно, уменьшилась доля парамагнитной "фазы", т.е. произошло увеличение площади спектра СТС за счет уменьшения площади синглета. Как и для первого образца, возросло $\langle H_{\Pi} \rangle$, что видно из сопоставления рис. 2, Б и рис. 2, Г. Отмеченные эффекты закономерно уменьша-

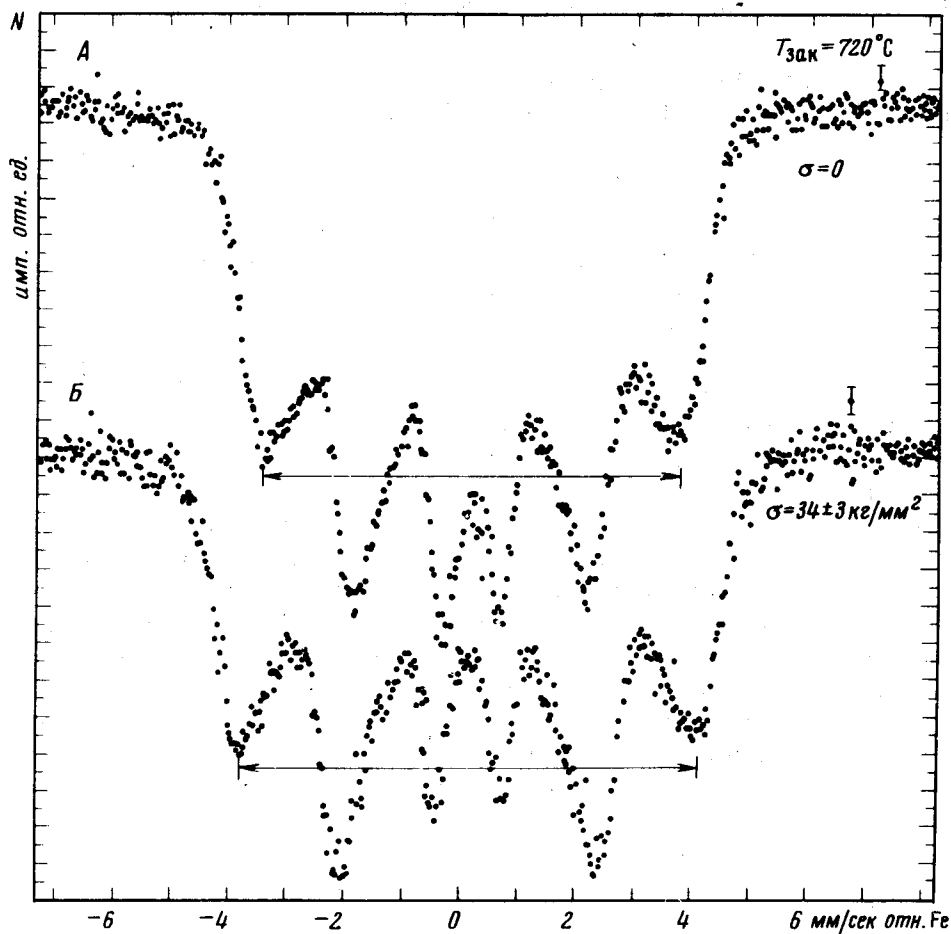


Рис. 1. Изменение величины эффективного поля $\langle H_{\Pi} \rangle$ на ядрах Fe^{57} в образце сплава Fe_3Pt (закалка от 720°C) $S = 0,6 \pm 0,1$ под действием одноосного растягивающего напряжения: А — $\sigma = 0$; $\langle H_{\Pi} \rangle = 227 \pm 1 \text{ кэ}$; В — $\sigma = 34 \pm 3 \text{ кг/мм}^2$; $\langle H_{\Pi} \rangle = 250 \pm 1 \text{ кэ}$

ются для $\sigma_i < \sigma_{max}$ и при снятых напряжениях ($\sigma = 0$) мессбауэровские спектры полностью возвращались к исходным (рис. 1, А и рис. 2, А). Для одинаковых σ увеличение $\langle H_{\Pi} \rangle$ заметно меньше у наиболее упорядоченного в наших измерениях образца (650°C). Мессбауэровские спектры при σ_{max} по своим параметрам (величина $\langle H_{\Pi} \rangle$, доля ферромагнитной "фазы") соответствуют мессбауэровским спектрам более упорядоченных образцов $\sigma = 0$.

Обнаруженное влияние σ на изменение формы мессбауэровского спектра может быть объяснено с позиции суперпарамагнетизма, существование которого в нашем случае обосновывается полным соответствием (при $\sigma = 0$) спектров образцов с различной температурой закалки мессбауэровским спектрам при суперпарамагнитном поведении однодоменных частиц [4, 5].

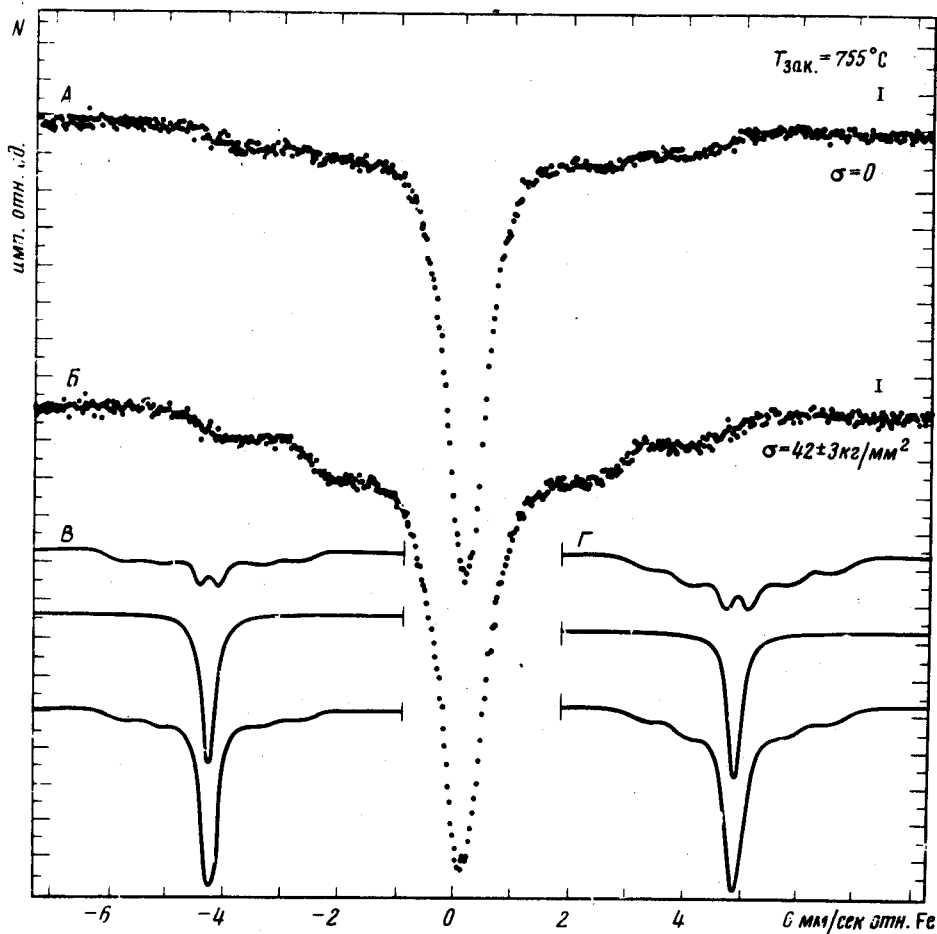


Рис. 2. Изменение мессбауэровского спектра образца сплава Fe_3Pt (закалка от $755^\circ C$) $S = 0$ под действием одноосного растягивающего напряжения: $A - \sigma = 0$; $B - \sigma = 42 \pm 3 \text{ кг/мм}^2$; B и Γ . Для наглядности спектры A и B , соответственно, разложены (масштаб 2 : 1) на составляющие: "ферромагнитную" — верхняя кривая, "парамагнитную" — средняя кривая, и дана их сумма — нижняя кривая. Одноосное растягивающее напряжение изменяет отношение площадей "ферромагнитной" и "парамагнитной" составляющих с 0,85, когда $\sigma = 0$, до 1,45, когда $\sigma = 42 \pm 3 \text{ кг/мм}^2$

Суперпарамагнитное поведение определяется временем релаксации τ , для которого, без учета слабого взаимодействия между областями, можно записать

$$\tau = \tau_0 \exp(KV/T), \quad (1)$$

где τ_0 — период ларморовской прецессии в эффективном поле анизотропии; K — максимальная плотность эффективной энергии анизотропии; V — объем однодоменной области с однородным вращением суммарного магнитного момента; T — температура в энергетических единицах. Таким образом, τ определяет динамическое поведение $\langle H_{II} \rangle$ на ядрах Fe^{57} , что проявляется в форме мессбауэровских спектров.

Из (1) следует, что τ очень сильно зависит от K , V , T . В наших измерениях σ изменяют параметр K ($T = \text{const}$) на величину магнитоупругой анизотропии, пропорциональную σ , что приводит к увеличению τ и проявлению аномального изменения эффективного поля на ядрах Fe^{57} в упругонапряженном инварном сплаве. Следует отметить, что σ не могут изменить характер окружения атомов в образце, а значит и влиять на концентрационные неоднородности.

Таким образом, можно полагать, что температура и скорость заковки инварного сплава Fe_3Pt определяют количество нарушений регулярности кристаллической решетки сплава (дислокационные петли, вакансии, границы зерен, поры и пр.), тем самым влияя на размеры V и дисперсность областей, в которых регулярность решетки не нарушена. Дефекты решетки, различные возможные немагнитные примеси нарушают обменное взаимодействие между областями, в которых магнитные моменты атомов образуют определенную структуру. При достаточно высоких температурах и скоростях заковки размеры областей могут быть меньше критических $\sim 10^{-6}$ см, определяющих однодоменное состояние, и появляется возможность их суперпарамагнитного поведения. Обычно наблюдаемое изменение T_C в зависимости от термообработки является лишь следствием изменения температуры перехода (блокировки) T_6 из ферромагнитного состояния в суперпарамагнитное, а вариации V и K из (1), в том числе и под действием σ , влияют на T_6 и, соответственно, на величину "эффективной" T_C . Величина магнитострикции, вероятно, также зависит от релаксационных процессов, хотя бы потому, что при малых τ волна магнитострикционной деформации не будет успевать за вращением вектора суммарной намагниченности.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
8 июня 1976 г.

Литература

- [1] К.П.Белов. Упругие тепловые и электрические явления в ферромагнетиках. М., 2 изд., 1957 г.
- [2] А.З.Меньшиков, Ю.А.Дорофеев, В.А.Казанцев, С.К.Сидоров. ФММ, 38, 505, 1974.
- [3] R.C.Mercader, T.E.Granshow. J. Phys. F: Metal. Phys., 5, 124, 1975.
- [4] M.Natta, L. Billard. Solid State Comm., 13, 47, 1973.
- [5] В.А.Макаров. Proc. МКМ, 3, 154, 1973.