

СТРИКЦИЯ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО ПЕРЕХОДА И МАГНИТНЫЙ ПАРАМЕТР ГРЮНАЙЗЕНА α -Mn

*А.Н. Васильев, В.Д. Бучельников, Р.Ш. Георгиус, А.С. Илюшин,
Ю.И. Савченко*

Исследованы температурные зависимости эффективности электромагнитного возбуждения упругих волн и скоростей поперечного и продольного звуков в поликристалле α -Mn. Определены спонтанная стрикция антиферромагнитного перехода (магнитобъем) $W \approx 8 \cdot 10^{-4}$ и магнитный параметр Грюнайзена в антиферромагнитной фазе $\Gamma_M = -47$.

Марганец α -модификации известен как неколлинеарный четырехподрешеточный антиферромагнетик с температурой Нееля $T_N = 95$ К. Магнитная структура α -Mn изучена достаточно подробно ¹, в то же время ряд важных магнитоупругих параметров этого металла не был определен. В настоящей работе исследованы температурные зависимости модулей упругости и эффективности электромагнитного возбуждения звука в α -Mn. Значения модулей сжатия E и сдвига G в интервале 4-300 К вычислялись из температурного хода скоростей продольного S_l и поперечного S_t звука с использованием данных по температурной зависимости плотности металла ρ ².

Фазовые скорости упругих волн измерялись бесконтактным методом путем электромагнитного возбуждения стоячих звуковых колебаний в плоскопараллельной пластине металла. Генерация звука происходила за счет индукционного взаимодействия переменного тока, наводимого электромагнитной волной в скин-слое металла, с постоянным магнитным полем. В условиях антисимметричного возбуждения - образец размещался в параллельных друг другу возбуждающей и приемной катушках индуктивности - резонансные особенности поверхностного импеданса наблюдались при совпадении полуцелого числа длин звука с толщиной пластины. По частотам резонансных особенностей рассчитывались скорости упругих волн, амплитуды и добротности акустических резонансов несли информацию об эффективности электромагнитно-акустического преобразования и о затухании звука. Измерения проводились на поликристаллическом образце в магнитном поле до 8 Тл на частотах $10^6 - 10^7$ Гц.

На рис. 1 показаны температурные зависимости амплитуд акустических резонансов поперечного A_t и продольного A_l звуков в α -Mn. Резкое уменьшение сигналов вблизи T_N , как это следует из измерений добротностей резонансов, обязано возрастанию затухания звука при фазовом переходе.

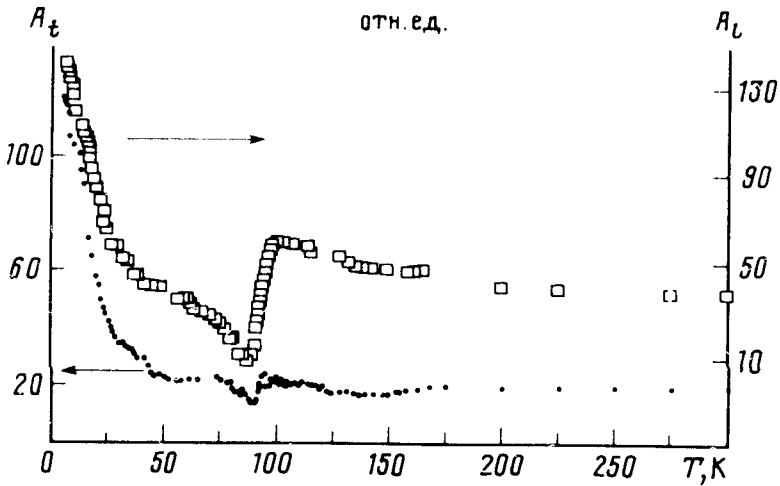


Рис. 1. Температурные зависимости амплитуд акустических резонансов поперечного A_t и продольного A_l звуков в α -Mn

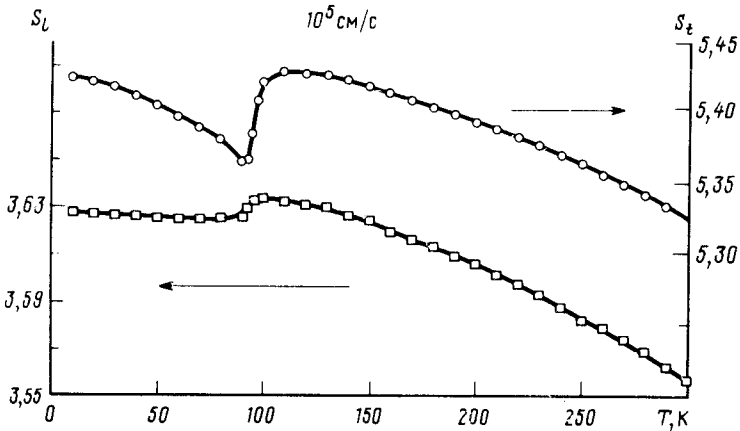


Рис. 2. Температурные зависимости скоростей поперечного S_t и продольного S_l звуков в α -Mn

Отметим, что ранее в металлах с гигантской магнитострикцией Tb и Dy³, в точках Нееля наблюдалось резкое увеличение амплитуд акустических резонансов, то есть рост сигналов за счет увеличения эффективности трансформации перекрывал его уменьшение за счет затухания. Уже из этого факта следует качественный вывод о малости констант магнитоупругой связи в α -Mn.

Интересной особенностью представленных зависимостей является аномальное возрастание эффективности ЭМАП при низких температурах. Из проведенных нами дополнительных измерений магнитных и транспортных свойств образца следует, что такое поведение не объясняется в рамках индукционного механизма ЭМАП и связано с появлением магнитоупругого механизма генерации звука⁴. Поскольку в α -Mn не происходит каких-либо магнитных превращений ниже точки Нееля, можно предположить, что этот эффект обязан переходу в магнитное

состояние окиси марганца Mn_3O_4 , температура Кюри которой $T_C = 42,5$ К. На появление паразитного ферромагнетизма при этой температуре указывалось также в ⁵.

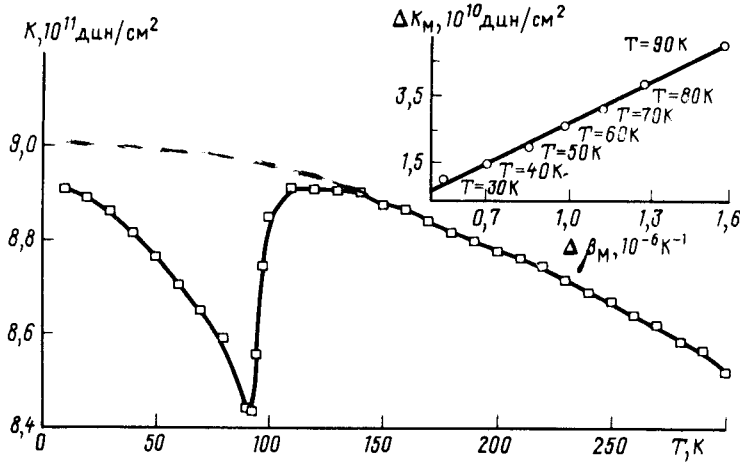


Рис. 3. Температурная зависимость модуля всестороннего сжатия K в α -Mn, пунктиром показана экстраполяция из парамагнитной фазы. На вставке показаны магнитные вклады в модуль всестороннего сжатия ΔK_M и коэффициент теплового расширения $\Delta \beta_M$

Температурные зависимости скоростей продольного S_l и поперечного S_t звука показаны на рис. 2. Скачок модуля сжатия $\Delta E/E = 2 \cdot \Delta S_l/S_l$ в точке Нееля составил $2,6 \cdot 10^{-2}$, модуля сдвига $\Delta G/G = 2 \cdot \Delta S_t/S_t - 6 \cdot 10^{-3}$. Из этих данных может быть рассчитан температурный ход модуля всестороннего сжатия ⁵:

$$K = E - 4/3 \cdot G. \quad (1)$$

Скачок K при T_N составил $5,1 \cdot 10^{-2}$.

Можно показать¹⁾, что скачок модуля всестороннего сжатия в точке Нееля пропорционален квадрату изотропной магнитострикции γ и обратно пропорционален постоянной однородного обмена b . Используя для оценки выражение для обменной постоянной в виде ⁷ $b = 3NkT_N/80M^4$, где N - плотность атомов, k - постоянная Больцмана, M - намагниченность подрешетки, получим, что спонтанная стрикция перехода (магнитообъем) в α -Mn $W = \gamma M^2/K_N = 8 \cdot 10^{-4}$, где K_N - модуль всестороннего сжатия в точке Нееля. Эта величина хорошо согласуется с данными, полученными из температурного хода коэффициента теплового расширения β ².

Из температурного хода K в антиферромагнитной фазе с использованием данных по температурной зависимости β ² рассчитан магнитный параметр Грюнайзена в α -Mn. Для определения магнитного вклада $\Delta K_M(T)$ в модуль всестороннего сжатия, зависимость $K(T)$ экстраполировалась, как показано на рис. 3, из парамагнитной фазы в область низких температур и из нее вычиталась экспериментальная зависимость $K(T)$ в антиферромагнитной фазе. Отношение $\Delta K_M(T)/\Delta \beta_M(T)$, где $\beta_M(T)$, - магнитный вклад в коэффициент теплового расширения, оказалось постоянным при $T < T_N$ (см. вставку на рис. 3), что, в соответствии с разработанной Фосеттом ⁹ процедурой, позволило определить

¹⁾Расчету особенностей поведения упругих модулей и эффективности электромагнитно-акустического преобразования в области антиферромагнитного перехода предполагается посвятить отдельное сообщение.

магнитный параметр Грюнайзена $\alpha - \text{Mn}$ в антиферромагнитной фазе

$$\Gamma_M = (-T_N \cdot K_N)^{-1} \cdot (\Delta K_M(T/T_N)/\Delta\beta_M(T/T_N)) = -47. \quad (2)$$

Полученное нами значение Γ_M в $\alpha - \text{Mn}$ имеет тот же порядок величины, что и магнитные параметры Грюнайзена в хроме ⁸ и в сплавах $\gamma - \text{Mn}$ с медью, существенно превышая в то же время Γ_M в других $3d$ переходных металлах ⁹.

Литература

1. *Yamada T., Kunitomi N. Nakai Y.* J. Phys. Soc. Jap., 1970, 28, 615.
2. *Petrenko N.S. Popov V.P., Finkel V.A.* Phys. Lett. A, 1974, 47, 471.
3. *Андреанов А.В., Бучельников В.Д., Васильев А.Н. и др.* ЖЭТФ, 1990, 97,
4. *Васильев А.Н., Гайдуков Ю.П.* УФН, 1983, 141, 431.
5. *Yamada T., Tazawa S.* J. Phys. Soc. Jap., 1970, 28, 609.
6. *Шутилов В.А.* Основы физики ультразвука. Л.: ЛГУ, 1980.
7. *Вонсовский С.В.* Магнетизм. Наука, 1971.
8. *Fawcett E.* J. Phys.: Cond. Matt., 1989, 203.
9. *Fawcett E.* Phys. B, 1989, 159, 12.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
14 августа 1990 г.