

Г. Т. ДУБОВКА, Е. Г. ПОНЯТОВСКИЙ

**О ВЛИЯНИИ ДАВЛЕНИЯ НА МАГНИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ  
В Г. Ц. К.-СПЛАВАХ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО — НИКЕЛЬ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 20 XII 1971)

У сплавов Fe — Ni при 60—70 ат. % Fe (инварный диапазон) обнаруживаются аномалии многих физических свойств. При температурах ниже температуры магнитного упорядочения эти сплавы обладают близким к нулю коэффициентом линейного расширения, аномально высокой магнитострикцией и сжимаемостью. С аномалией магнитострикции и сжимаемости связана высокая чувствительность магнитных свойств, и в частности точек Кюри  $T_c$ , к давлению. Зависимость  $T_c$  от давления для отдельных сплавов Fe — Ni (в основном инварного диапазона) исследовалась в работах (1-4); наиболее полные данные для этого диапазона были приведены в статье (3).

В нашей работе излагаются результаты измерения смещения точек Кюри под действием давления для системы Fe — Ni в диапазоне концентраций 30—100% Ni. Сплавы готовились методом вакуумной плавки в индукционной печи из электролитического никеля и карбонильного железа. Слитки подвергались отжигу при 1100° С в течение 6 час. с последующей закалкой в воду. В качестве передающей давление среды для сплавов с  $270^\circ \text{K} < T_c < 700^\circ \text{K}$  использовалась силиконовая жидкость. Давление измерялось манганиновым манометром с точностью  $\pm 200$  бар. Остальные сплавы исследовались в условиях квазигидростатики, когда передающей давление средой являлось твердое вещество. Давление в этой аппаратуре определялось по калибровочным кривым с точностью  $\pm 500$  бар. Точки Кюри фиксировались с точностью  $\pm 3^\circ \text{C}$  методом дифференциального трансформатора на частоте  $f \approx 1500$  гц при величине поля  $H \approx 0,1$  э (1).

Во всем исследованном интервале давления (до 20 кбар) и концентраций температура Кюри линейно смещается с давлением

Состав, ат. % Ni	28	29	30	31	32	32,5	
$T_c, ^\circ \text{K}$	282	301	343	381	409	426	
$-\frac{dT_c}{dP}, \frac{^\circ \text{K}}{\text{кбар}}$	$7,5 \pm 0,1$	$6,8 \pm 0,1$	$5,8 \pm 0,05$	$5,2 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,1$	
Состав, ат. % Ni	34	35	36	42	47,5	53 *	100
$T_c, ^\circ \text{K}$	470	521	574	667	753	850	631
$-\frac{dT_c}{dP}, \frac{^\circ \text{K}}{\text{кбар}}$	$4,4 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,2$	$3,5 \pm 0,1$	$2,65 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,2$	1,6	$-0,3 \pm 0,1$

Результаты экспериментов приведены также на рис. 1 и 2. На рис. 1, кроме полученных нами данных, нанесено также значение  $dT_c/dP$  из работы (2), которое хорошо ложится на общую кривую. Для сплавов с  $T_c < 570^\circ \text{K}$  зависимость  $dT_c/dP$  от  $T_c$  может быть представлена в виде

$$-dT_c/dP = A/T_c, \quad (1)$$

где  $A = (2050 \pm 40)$  град<sup>2</sup>·кбар<sup>-1</sup>.

Этот участок кривой изображен на рис. 1 пунктиром.

\* Данные работы (2).

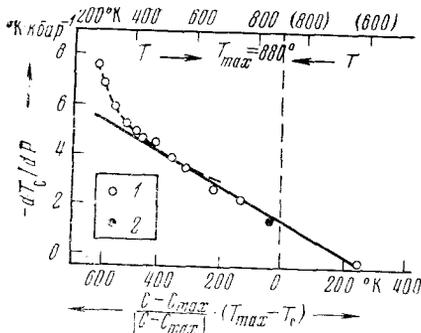


Рис. 1. Зависимость точки Кюри  $T_c$  от давления  $P$  и концентраций  $C$ : 1 — наши данные, 2 — данные (2)

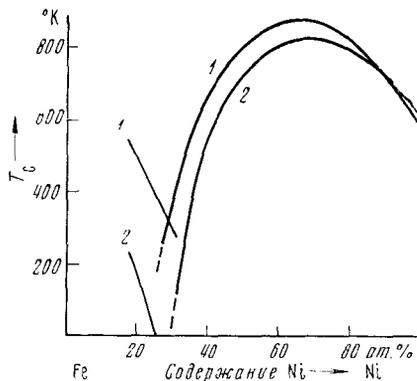


Рис. 2. Фазовые диаграммы сплавов Fe—Ni при давлениях 1 бар (1) и 50 кбар (2)

Для сплавов с  $T_c > 570^\circ \text{K}$  установлена линейная зависимость величины  $dT_c/dP$  от  $T_c$ , которую удобно представить в виде

$$-\frac{dT_c}{dP} = \frac{C - C_{\max}}{|C - C_{\max}|} (T_{\max} - T_c) A + B, \quad (2)$$

где  $C$  — содержание никеля, а  $T_{\max} = 885^\circ \text{K}$  и  $C_{\max} = 68 \text{ ат.}\% \text{ Ni}$  — координаты максимума на кривой точек Кюри в системе Fe—Ni;  $A = (-7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ кбар}^{-1}$ ,  $B = (1,3 \pm 0,2) \text{ град} \cdot \text{кбар}^{-1}$ . Первый множитель в (2), по абсолютной величине равный единице, меняет знак при переходе через  $T_{\max}$  и отражает тот факт, что зависимость  $dT_c/dP$  от состава является монотонной, а зависимость  $T_c$  — немонотонной функцией.

Формула (1) была теоретически получена в работе (5), в которой магнитные свойства инваров рассматривались с позиций зонной теории.

На рис. 2 приведены фазовые ( $T$ — $C$ )-диаграммы сплавов Fe—Ni при давлениях 1 бар и 50 кбар в предположении линейной зависимости  $T_c$  от давления в интервале до 50 кбар. На диаграммах нанесены и линии  $M_s$  мартенситных превращений  $\gamma \rightarrow \alpha$  с учетом данных (6).

В сплавах железа с переходными металлами возможно образование при высоких давлениях  $\epsilon$ -фазы с г.п.у.-структурой. Так, например, в сплавах Fe—Mn состава 20—30% Mn  $\epsilon$ -фаза образуется уже при атмосферном давлении. Нами экспериментально установлено, что замещение марганца никелем в сплавах с 65% Fe резко повышает давление  $\gamma \rightarrow \epsilon$  перехода. В сплавах Fe—Ni инварного состава переход  $\gamma \rightarrow \epsilon$  не был обнаружен вплоть до давлений 100 кбар.

Таким образом, из рис. 2 следует, что сплавы Fe—Ni с г.п.к.-структурой в диапазоне концентраций 25—30% Ni при давлениях 50 кбар и выше не будут ферромагнитными вплоть до самых низких температур. В работе (7) было показано, что  $\gamma$ -Fe в метастабильном состоянии при атмосферном давлении и низких температурах является антиферромагнетиком с  $T_N = 67^\circ \text{K}$ . Логично предположить, что  $\gamma$ -фаза в сплавах Fe—Ni с 25—30% Ni при высоких давлениях и низких температурах также будет претерпевать антиферромагнитное упорядочение и на диаграммах состояния появятся кривая точек Нееля и линия фазового равновесия между ферромагнитной и антиферромагнитной фазами.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР  
Черноголовка Моск. обл.

Поступило  
10 XII 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> L. Patrick, Phys. Rev., 93, 384 (1954). <sup>2</sup> J. M. Leger, C. Iusse, V. Vodar, Solid State Comm., 5, 755 (1967). <sup>3</sup> Г. Т. Дубовка, Е. Т. Полятовский, Физ. мет. и металловед., 32, в. 6 (1971). <sup>4</sup> R. C. Wayne, L. C. Bartel, Phys. Letters, 28A, 196 (1968). <sup>5</sup> E. P. Wohlfarth, Phys. Letters, 28A, 569 (1969). <sup>6</sup> L. Kaufman, A. Leyenaar, J. S. Harvey, Progress in Very High Pressure Research, N. Y., 1961, p. 90. <sup>7</sup> G. J. Johanson, M. B. McGirr, D. A. Wheeler, Phys. Rev., B1, 3208 (1970).