

Ф. ГАЛЬПЕРИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ УПОРЯДОЧЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Co—Mn

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 16 II 1951)

Сплавы системы Co—Mn еще мало изучены: нет пока твердо установленной диаграммы состояния, магнитным свойствам ферромагнитных сплавов в этой системе посвящены всего лишь две работы <sup>(1,2)</sup>, а магнитные свойства парамагнитных сплавов вовсе не исследовались. С точки зрения превращения: порядок—беспорядок к этим сплавам до сих пор еще никто не подходил.

Между тем, последнее превращение в системе Co—Mn должно было бы иметь место, поскольку в системе Ni—Mn, весьма близкой к рассматриваемой нами системе, сверхструктурные превращения резко выражены. По этим и другим соображениям мы еще в 1947 г. предположили, что в системе Co—Mn существуют упорядоченные фазы. Принято <sup>(3)</sup> считать, что скорость приближения любого упорядоченного сплава к равновесной степени порядка  $\sigma_0$  при любой температуре  $T$  пропорциональна разности между имеющейся степенью порядка  $\sigma$  и  $\sigma_0$ :

$$\frac{d(\sigma_0 - \sigma)}{dt} = \frac{1}{\tau} (\sigma_0 - \sigma). \quad (1)$$

Решение этого уравнения приводит к соотношению:

$$\delta = \delta_0 e^{-t/\tau}, \quad (2)$$

где  $\delta_0 = \sigma_0 - \sigma_{t=0}$ ;  $\delta = \sigma_0 - \sigma$ ;  $\delta$  — отклонение от равновесия в момент времени  $t$ ;  $\delta_0$  — в момент времени  $t=0$ . При  $t = \tau$  отклонение в  $e$  раз меньше, чем  $\delta_0$ ;  $\tau$  — время релаксации:

$$\tau = Ae^{W/kT}, \quad (3)$$

где  $W$  — энергия активации,  $A$  имеет порядок  $10^{-12}$  сек. Из (3) следует, что для любых упорядоченных сплавов существует зависимость:

$$\lg \tau \approx \frac{1}{T}. \quad (4)$$

Н. Акулов <sup>(4)</sup> показал, что магнитный момент упорядоченного

сплава в самом общем случае (т. е. независимо от того, ферромагнитен или парамагнитен сплав) линейно зависит от степени порядка. Экспериментально для ферромагнитного упорядоченного сплава  $Ni_3Fe$  это было подтверждено (5).

Нами (6) был дан способ вычисления атомных магнитных моментов

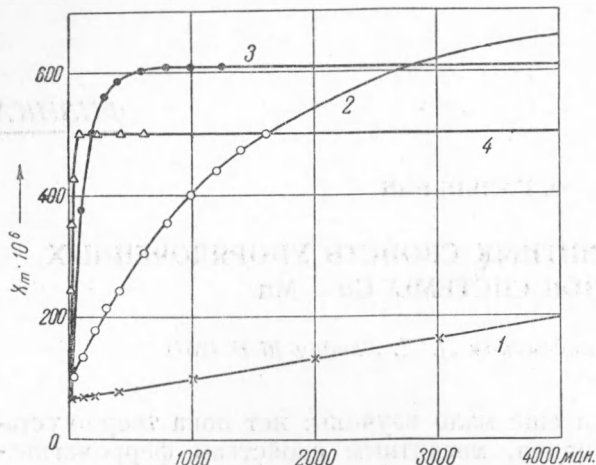


Рис. 1. Зависимость массовой восприимчивости  $\chi_m$  сплава  $CoMn$  от времени выдержки при разных температурах: 1— $200^\circ$ , 2— $300^\circ$ , 3— $400^\circ$ , 4— $500^\circ$

ферромагнитных упорядоченных сплавов, из которого также следует линейная зависимость магнитного момента от степени порядка (в случае ферромагнитных сплавов)\*.

Для парамагнетиков непосредственно определяют не магнитный момент  $m$ , а парамагнитную восприимчивость  $\chi$ , связанную с  $m$  формулой:

$$m = 2,84 \sqrt{\chi T}. \quad (5)$$

Таким образом, по Акулову,  $\chi$  квадратично зависит от степени порядка (момента). Между

тем, проведенное нами исследование показывает, что в случае парамагнитных сплавов системы  $Co-Mn$   $\chi$  линейно зависит от степени порядка.

На рис. 1 и 2 даны кривые зависимости массовой восприимчивости сплавов  $CoMn$  (50 ат. %  $Mn$ ) и  $CoMn_3$  (75 ат. %  $Mn$ ) от времени выдержки при разных температурах отжига.

Из рис. 1 и 2 видно, что при одних температурах наступает „насыщение“ (начиная с некоторого времени  $\chi_m$  не меняется; время релаксации сравнительно невелико), при других — насыщение не достигнуто (время релаксации велико).

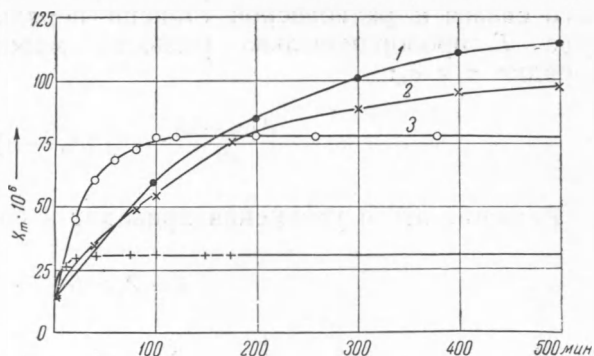


Рис. 2. Зависимость массовой восприимчивости  $\chi_m$  сплава  $CoMn_3$  от времени выдержки при разных температурах: 1— $150^\circ$ , 2— $200^\circ$ , 3— $250^\circ$ , 4— $300^\circ$

На рис. 3 показаны кривые зависимости массовой восприимчивости сплавов  $CoMn$  и  $CoMn_3$  от температуры отжига. Кривые 1 и 3 на рис. 3 соответствуют равновесным значениям. Эти кривые построены по экспериментальным точкам, полученным из рис. 1 и 2. Точки кривых 1 и 3 на рис. 3, отвечающие температурам, время релаксации для которых велико, рассчитаны по кривым рис. 1 и 2 с помощью формулы (2).

\* В нашей статье (6) в формуле (1<sup>2</sup>) вместо  $\sigma^f$  должно быть  $\sigma$ .

Как и следовало ожидать, восприимчивость растет с уменьшением температуры отжига, т. е. ее зависимость от температуры подобна температурной зависимости степени порядка (7)\*.

Кривые 2 и 4 на рис. 3 получены при охлаждении сплавов от высоких температур (при которых имеется беспорядок). Эти кривые

(почти прямые) соответствуют неравновесным значениям  $\chi_m$  (охлаждение с произвольной, вообще говоря, большой скоростью) и выражают слабую температурную зависимость восприимчивости разупорядоченных сплавов.

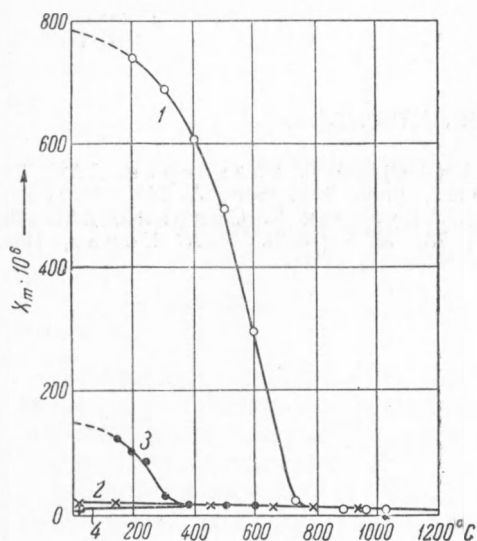


Рис. 3. Зависимость массовой восприимчивости  $\chi_m$  от температуры: 1 — равновесные значения  $\chi_m$  для сплава CoMn, 2 — значения  $\chi_m$  разупорядоченного сплава CoMn, 3 — равновесные значения  $\chi_m$  для сплава CoMn<sub>3</sub>, 4 — значения  $\chi_m$  разупорядоченного сплава CoMn<sub>3</sub>.

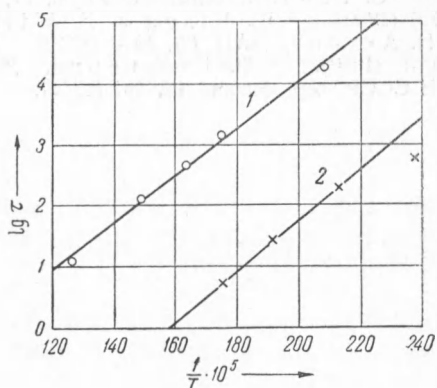


Рис. 4. Зависимость  $\lg \tau$  от  $1/T$ : 1 — сплав CoMn, 2 — сплав CoMn<sub>3</sub>.

На рис. 4 даны кривые зависимости  $\lg \tau$  от обратной величины абсолютной температуры. Из рис. 4 видно, что  $\lg \tau$  пропорционален  $1/T$ , что еще раз подтверждает правильность высказанного нами предположения о линейной зависимости парамагнитной восприимчивости рассматриваемых сплавов от степени порядка. К такому же заключению приводят наши (все измерения проведены вместе с Т. Перекальной) исследования сплавов и с другим содержанием марганца. Так, изменение восприимчивости со временем для сплава CoMn<sub>2</sub> (около 65 ат. % Mn), как нами было установлено, также удовлетворительно описывается соотношением (2).

Энергии активации  $W$ , рассчитанные по рис. 1 и 2, равны 16 и 18 ккал/моль, соответственно, для сплавов CoMn и CoMn<sub>3</sub>.

Нами были получены рентгенограммы (по методу Дебая — Шеррера на железном излучении) сплавов CoMn и CoMn<sub>3</sub>, прошедших различную термическую обработку (на порядок и полный беспорядок). Оказалось, что при этом (различных т. о.) сплав CoMn имеет кубическую гранецентрированную решетку с параметром равным 3,59 Å, а сплав CoMn<sub>3</sub> — гексагональную решетку с  $a = 2,41$  Å,  $c = 4,45$  Å. Сверхструктурные линии на рентгенограммах не обнаружены.

\* Интересно отметить, что рассматриваемые нами кривые весьма похожи на кривые зависимости намагниченности насыщения от температуры отжига и времени выдержки для ферромагнитных упорядоченных сплавов Ni<sub>3</sub>Mn (7) и Ni<sub>3</sub>Fe (8).

Поскольку какие-либо изменения в типах кристаллических решеток (и в величинах их параметров) при различных термических обработках сплавов не наблюдаются, несмотря на то, что при этом имеют место весьма резкие изменения магнитных свойств, остается предположить, что последние изменения обусловлены превращением: порядок — беспорядок.

Поступило  
10 II 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> C. Sadron, Ann. de Phys., 17, 371 (1932). <sup>2</sup> Ф. Гальперин, ДАН, 75, № 4 (1950). <sup>3</sup> W. Bragg a. E. Williams, Proc. Roy. Soc., A, 145, 699 (1934). <sup>4</sup> Н. Акулов, ДАН, 66, № 3 (1949). <sup>5</sup> Н. Акулов и Е. Свирина, ДАН, 70, № 5 (1950). <sup>6</sup> Ф. Гальперин, ДАН, 75, № 5 (1950). <sup>7</sup> А. Комар, Изв. АН СССР, сер. физич., 11, 497 (1947).