

УДК 538.029.6

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. С. ПОКАТИЛОВ, И. М. ПУЗЕЙ

**ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ МЕТОДОМ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**

*(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 11 VI 1973)*

В данной работе исследовались фазовые превращения типа порядок — беспорядок в г.ц.к. железо-никелевых сплавах.

Измерялась ширина линии  $\Delta H$  ферромагнитного резонанса (ф.м.р.) монокристаллических дисков (плоскость образца совпадала с (110)) диаметром 10—15 мм и толщиной 0,15—0,30 мм в закаленном и длительно отожженном состояниях (на упорядочение), как и в <sup>(1)</sup>. Частота 6,24 МГц; область температур 20—600° С; точность измерения температуры  $\pm 1^\circ$ ; время установления температуры 20 мин., а записи сигнала  $\sim 40$  мин.; уход температуры за время записи сигнала не превышал  $1^\circ$ . Образец вместе с резонатором находился в вакууме не хуже  $10^{-4}$  мм.рт.ст. Ошибка в измерении  $\Delta H$  была 2%, а в непосредственной близости к температуре Кюри возрасла до 5—6%.

На рис. 1а приведена зависимость ширины линии  $\Delta H$  резонанса от температуры для закаленного и отожженного состояний сплава 75 ат.% Ni. Для отожженного образца, начиная с 400°, в процессе установки температуры и записи сигнала резонанса (суммарное время  $\sim 1$  час) происходит дополнительное упорядочение и снижение ширины линии вплоть до 490° (кривая 3). При 495+5° наблюдается скачок ширины линии, который мы связываем со скачкообразным исчезновением дальнего порядка. Нейтронографически была получена температура скачка  $T_k=500\pm 10^\circ$  <sup>(2)</sup>. Таким образом, значения температуры перехода порядок — беспорядок, измеренные обоими методами, практически одинаковы.

Для закаленного состояния сплава 75 ат.% Ni нагрев до температуры Кюри  $T_0$  и последующее охлаждение от  $T_0$  также дают скачки  $\Delta H$  при той же температуре (кривые 1, 2). Рост  $\Delta H$  при нагреве закаленного образца объясняется частичным (гетерогенного характера) упорядочением, поскольку время нагрева образца недостаточно для роста зародышей до их смыкания. При 495° происходит скачкообразное исчезновение порядка в этих упорядоченных областях. Обратное охлаждение приводит к резкому уменьшению  $\Delta H$  при 495°. Это можно объяснить тем, что в точке Курнакова при измерении состояние образца уже гомогенное и уменьшение  $\Delta H$  вызвано упорядочением. Рост ширины линии ф.м.р. при подходе к температуре Кюри в рассмотренных выше случаях вызван ростом магнитных неоднородностей — температурных флуктуаций намагниченности <sup>(3)</sup>.

На рис. 1б приведена температурная зависимость  $\Delta H$  для упорядоченного сплава 69,5 ат.% Ni.  $\Delta H$  претерпевает два аномальных изменения: при  $T_1=450\pm 3^\circ$  и  $T_2=488+5^\circ$ . Рост ширины линии при  $T_1$  обусловлен переходом из гомогенного состояния в гетерогенное в соответствии с диаграммой состояния (рис. 2 в <sup>(1)</sup>). При переходе через  $T_2$  исчезает упорядоченная фаза, образец становится гомогенным и  $\Delta H$  резко уменьшается. Отметим, что температура Курнакова сплава 70 ат.% Ni по данным <sup>(2)</sup> равна  $T_k=490\pm 10^\circ$ . Аналогичные превращения наблюдались и для сплава 79 ат.% Ni, причем переход в двухфазную область был при  $T_1=440\pm 3^\circ$ .

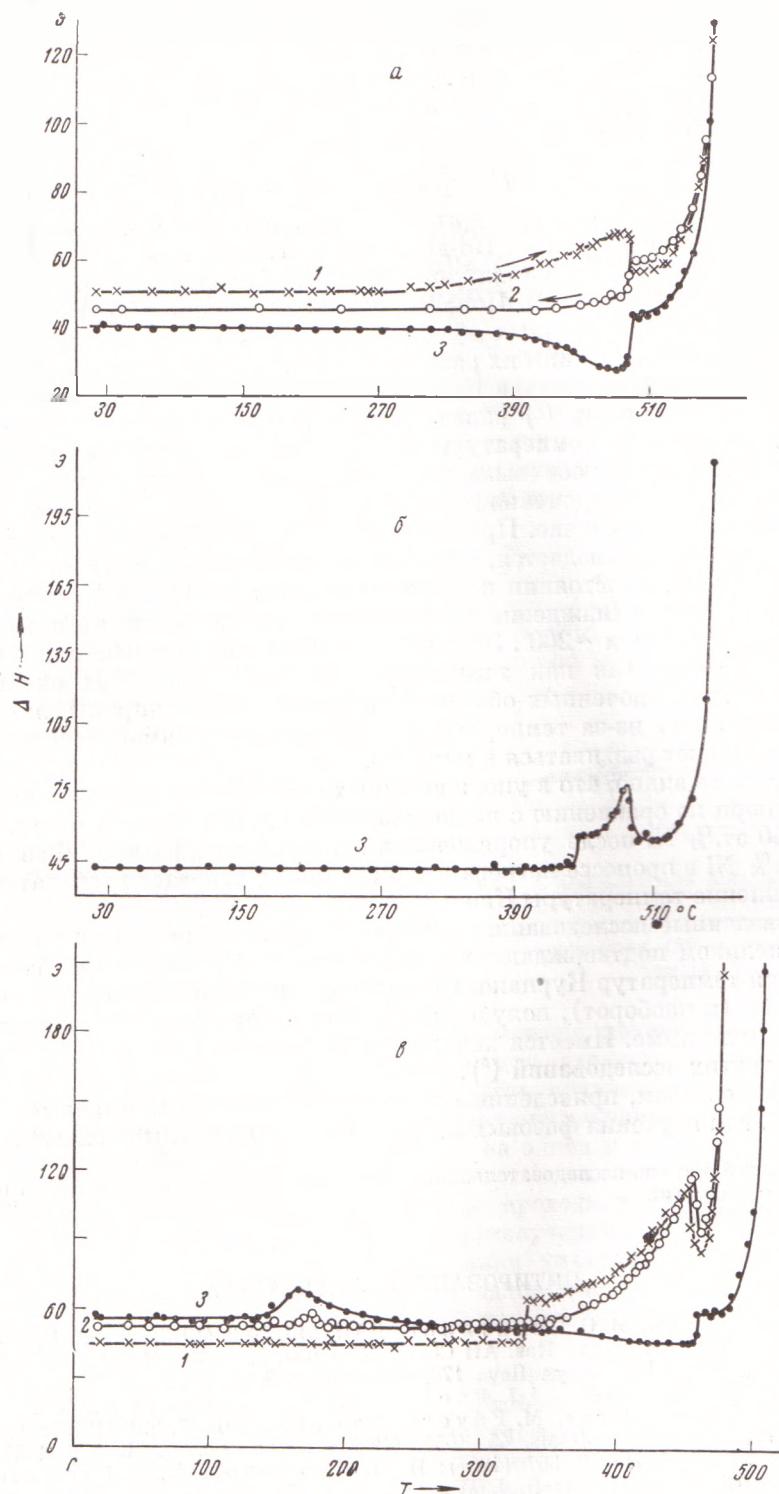


Рис. 1. Температурная зависимость ширины линии ф.м.р. в сплавах с различным содержанием Ni (ат.-%): *a* — 75; *b* — 69,5; *c* — 50. 1 — нагрев закаленного образца, 2 — охлаждение его от точки Кюри, 3 — нагрев упорядоченного образца

Рассмотрим поведение ширины линии при нагреве и охлаждении сплавов, лежащих в гетерогенной области. В <sup>(1)</sup> говорилось, что рост  $\Delta H$  после длительного отжига в этой области составов обусловлен образованием упорядоченных областей в неупорядоченной матрице. Это подтверждается изучением температурного хода  $\Delta H$  в сплаве 50 ат. % Ni после закалки и длительного отжига (рис. 1 $\varepsilon$ ).

Из рис. 1 $\varepsilon$  видно, что нагрев закаленного сплава 50 ат. % Ni приводит к резкому росту  $\Delta H$  при  $330^\circ$  и резкому спаду при  $448^\circ$ . В <sup>(4)</sup> сообщалось о существовании сверхструктуры FeNi, температура Курнакова которой лежит в указанной области. По-видимому, рост  $\Delta H$  при  $330^\circ$  связан с появлением предвыделений (ближний порядок) упорядоченной, тетрагонально искаженной фазы FeNi. Появление максимума при  $450^\circ$  связано с возникновением упорядоченных областей типа  $Ni_3Fe$  в процессе нагрева и измерения с последующим их распадом выше  $450^\circ$  и образованием гомогенного состояния. Температура Курнакова для сплава 50 ат. % Ni из нейтронографических данных <sup>(2)</sup> равна  $450 \pm 10^\circ$ . При медленном охлаждении этого же образца от температуры Кюри также наблюдается резкий рост  $\Delta H$  при  $454^\circ$ . Этот рост вызван образованием упорядоченных областей типа  $Ni_3Fe$  в неупорядоченной матрице, гетерогенным характером перехода через  $T_K$  в этом случае. При обратном ходе  $\Delta H(T)$  скачка ширины линии при  $330^\circ$  не наблюдается, что можно объяснить тем, что сплав находится в гетерогенном состоянии и компонент сплава с 50 ат. % Ni отсутствует. При дальнейшем охлаждении этого образца наблюдается небольшой пик в значениях  $\Delta H$  при  $\sim 200^\circ$ . Этот пик выражен еще сильнее для упорядоченного образца. Так как температура Кюри  $T_K$  матрицы значительно меньше  $T_K$  упорядоченных областей, то вероятно пик ширины линии при  $\sim 200^\circ$  возникает из-за температурных флуктуаций намагниченности, которые начинают развиваться в матрице.

Из рис. 1 $\varepsilon$  видно, что в упорядоченных образцах наблюдается смещение точки Кюри по сравнению с неупорядоченными. Это говорит о том, что образец 50 ат. % Ni после упорядочения является двухфазным. Фаза состава  $\sim 65$  ат. % Ni в процессе нагрева и измерения не успевает распадаться и дает повышение температуры Кюри.

Проведенные исследования температурной зависимости ширины линии ф.м.р. целиком подтверждают данную в работе <sup>(1)</sup> диаграмму состояния. Значения температур Курнакова и перехода из гомогенного в гетерогенное состояние (и наоборот), полученные в этой работе, хорошо укладываются на этой диаграмме. Имеется хорошее совпадение наших данных с результатами других исследований <sup>(5)</sup>.

Таким образом, приведенные результаты показали применимость метода ф.м.р. для изучения фазовых превращений в магнитных сплавах.

Центральный научно-исследовательский институт  
черной металлургии  
им. И. П. Бардина  
Москва

Поступило  
28 V 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. М. Пузей, В. С. Покатилов, ДАН, 213, № 3 (1973). <sup>2</sup> В. И. Гоманьков, И. М. Пузей и др., Изв. АН СССР, Металлы, № 1, 160 (1971). <sup>3</sup> S. M. Bhagat, E. P. Chickles. Phys. Rev., 178, 829 (1969); B. Heinrich, Z. Frait, Phys. Stat. Solid, 16, K11 (1966). <sup>4</sup> J. Pauleve. D. Dautreppe et al., C. R., 254, 965 (1962). <sup>5</sup> Y. Calvayrac, M. Fayerd, Mater. Res. Bull., 7, 891 (1972); A. H. Geisler, Trans. Am. Soc. Metals, 45, 1051, (1953); E. Josso, C. R., 230, 1457 (1950); Л. М. Витинг, ЖНХ, 2, 367 (1957); И. И. Корнилов, И. О. Парасюк, Изв. СФХА АН СССР, 27 (1956); B. J. Wakelin, E. L. Yates, Proc. Phys. Soc., B66, № 399B, 221 (1953); Constitution of Binary Alloys, 2nd Suppl., N. Y., 1969, p. 335.