

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.д.к. железо-никелевых сплавах.

Измерялась ширина линии ΔH 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 ⁽¹⁾. Частота 6,24 Мгц; область температур 20–600° С; точность измерения температуры $\pm 1^\circ$; время установления температуры 20 мин., а записи сигнала ~ 40 мин.; уход температуры за время записи сигнала не превышал 1° . Образец вместе с резонатором находился в вакууме не хуже 10^{-4} мм.рт.ст. Ошибка в измерении ΔH была 2%, а в непосредственной близости к температуре Кюри возрастала до 5–6%.

На рис. 1а приведена зависимость ширины линии ΔH 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 ~ 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 $T_K = 500 \pm 10^\circ$ ⁽²⁾. 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 ΔH при той же температуре (кривые 1, 2). Рост ΔH 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 ΔH при 495°. Это можно объяснить тем, что в точке Курнакова при измерении состояние образца уже гомогенное и уменьшение ΔH вызвано упорядочением. Рост ширины линии ф.м.р. при подходе к температуре Кюри в рассмотренных выше случаях вызван ростом магнитных неоднородностей — температурных флуктуаций намагниченности ⁽³⁾.

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

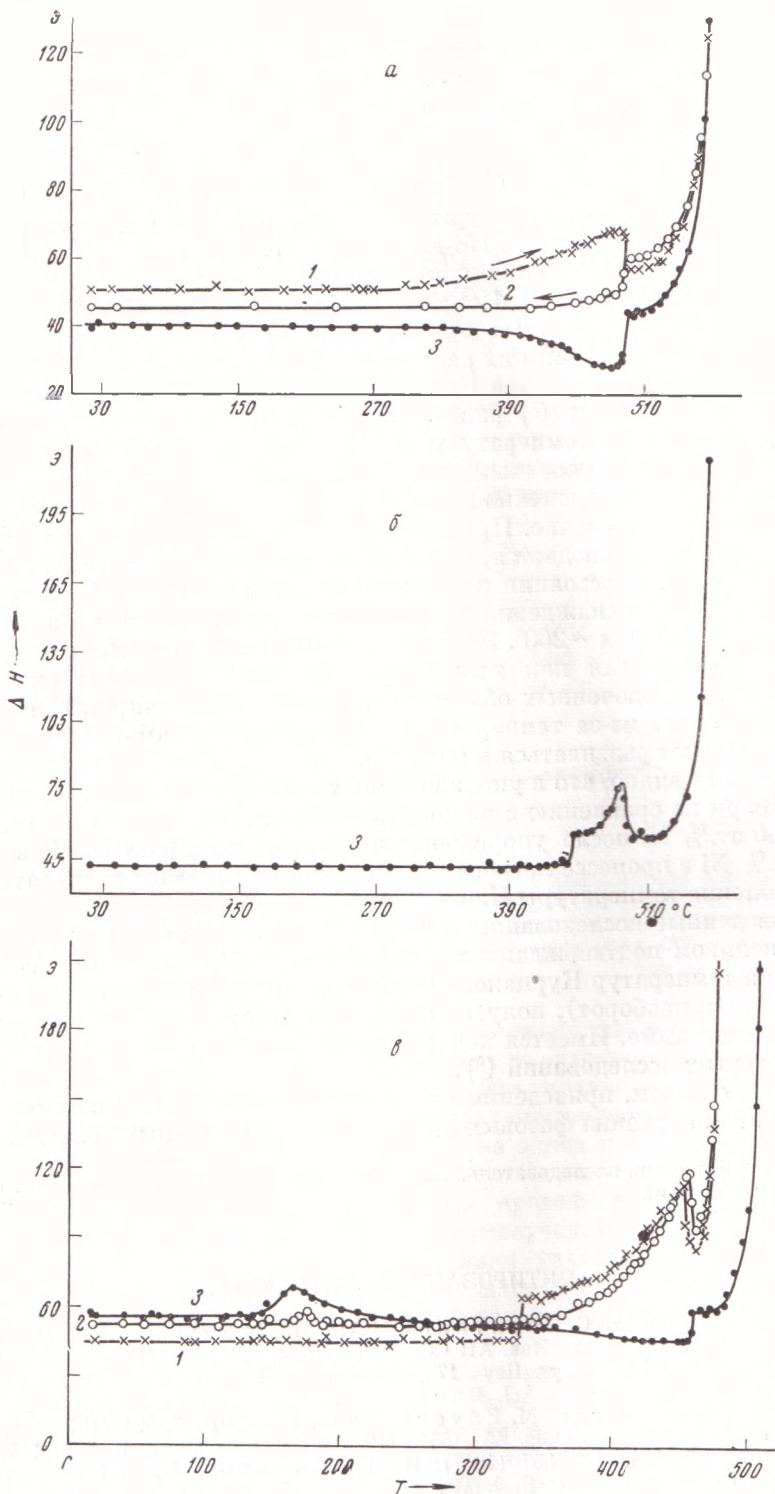


Рис. 1. Температурная зависимость ширины линии ф.м.р. в сплавах с различным содержанием Ni (ат. %): *a* — 75; *б* — 69,5; *в* — 50. 1 — нагрев закаленного образца, 2 — охлаждение его от точки Кюри, 3 — нагрев упорядоченного образца

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

Из рис. 1а видно, что нагрев закаленного сплава 50 ат. % Ni приводит к резкому росту ΔH при 330° и резкому спаду при 448°. В ⁽⁴⁾ сообщалось о существовании сверхструктуры FeNi, температура Курнакова которой лежит в указанной области. По-видимому, рост ΔH при 330° связан с появлением предвыделений (ближний порядок) упорядоченной, тетрагонально искаженной фазы FeNi. Появление максимума при 450° связано с возникновением упорядоченных областей типа Ni₃Fe в процессе нагрева и измерения с последующим их распадом выше 450° и образованием гомогенного состояния. Температура Курнакова для сплава 50 ат. % Ni из нейтронографических данных ⁽²⁾ равна 450±10°. При медленном охлаждении этого же образца от температуры Кюри также наблюдается резкий рост ΔH при 454°. Этот рост вызван образованием упорядоченных областей типа Ni₃Fe в неупорядоченной матрице, гетерогенным характером перехода через T_K в этом случае. При обратном ходе $\Delta H(T)$ скачка ширины линии при 330° 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 ΔH при ~200°. Этот пик выражен еще сильнее для упорядоченного образца. Так как температура Кюри T_0 матрицы значительно меньше T_0 упорядоченных областей, то вероятно пик ширины линии при ~200° возникает из-за температурных флуктуаций намагниченности, которые начинают развиваться в матрице.

Из рис. 1а 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 ~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 ⁽¹⁾ 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 ⁽⁵⁾.

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

- ¹ И. М. Пузей, В. С. Покатилов, ДАН, 213, № 3 (1973). ² В. И. Гоманьков, И. М. Пузей и др., Изв. АН СССР, Металлы, № 1, 160 (1971). ³ S. M. Bhagat, E. P. Chickles. Phys. Rev., 178, 829 (1969); B. Heinrich, Z. Frait, Phys. Stat. Solid, 16, K11 (1966). ⁴ J. Pauleve, D. Dautreppe et al., C. R., 254, 965 (1962). ⁵ 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.