

ТОНКАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ И МАГНИТНАЯ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ ИНВАРОВ

В. И. Гоманьков, И. М. Пузей, В. Н. Сигаев,
Е. В. Козис, Е. И. Мальцев

Для изучения тонкой кристаллической структуры железо-никелевых инваров нейтронографическим методом использованы образцы, обогащенные изотопами Fe^{54} , Ni^{58} и Ni^{62} , которые обеспечивают высокие значения разностей между амплитудами рассеяния железа и никеля. В таблице приведены содержания никеля и амплитуды рассеяния компонент сплавов.

Поликристаллические образцы цилиндрической формы прошли ступенчатый отжиг в соответствии с равновесной диаграммой состояния системы никель — железо [1] в γ -области с последующей закалкой в воде. Температуры и времена отжига даны в таблице.

| № образца | C_{Ni} , ат. % | $b_{Ni} \cdot 10^{12}$ см | $b_{Fe} \cdot 10^{12}$ см | Отжиг | | α_1 | α_2 |
|-----------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------|------------|------------|------------|
| | | | | T , °C | время, час | | |
| 1 | 30 | 1,40 | 0,45 | 500 | 73 | -0,010 | 0,029 |
| 2 | 32 | -0,603 | 0,96 | 480 | 108 | -0,017 | 0,052 |
| 3 | 35 | -0,216 | 0,96 | 450 | 370 | -0,023 | 0,069 |
| 4 | 40 | -0,603 | 0,96 | 410 | 580 | -0,076 | 0,225 |

Дебаеграммы отожженных образцов сняты в интервале углов $5^\circ \leq 2\theta \leq 40^\circ$ на нейтронном диффрактометре, настроенном на длину волны $\lambda = 1,07 \text{ \AA}$.

Малоугловое рассеяние нейтронов исследовалось на диффрактометре с $\lambda = 1,59 \text{ \AA}$ в температурном интервале от комнатной до 1000°C . При этом, кроме изотопически обогащенных образцов, исследовались образцы с естественной смесью изотопов, что позволило изучать только магнитное малоугловое рассеяние нейтронов.

Нейтронограммы образцов 1 — 4 представлены на рис. 1. Все четыре нейтронограммы свидетельствуют об атомном упорядочении. Экстраполяция температур Курнакова сверхструктуры Ni_3Fe [2] в инварную область позволяет предположить существование дальнего порядка в сплаве 4 и ближнего порядка в сплавах 1 — 3 при данной термообработке. Диффузионные максимумы на местах сверхструктурных отражений (100) и (110) указывают на корреляцию распределения разноименных атомов в инварных сплавах. Значения параметров ближнего порядка α_1 и α_2 в таблице грубо оценены по отражению (100), исходя из формул, связывающих параметры дальнего и ближнего порядка [3].

На рис. 2 представлены интенсивности малоуглового рассеяния нейтронов необогащенных образцов, полученные при температурах с одинаковыми значениями $(T_c - T)/T_c = 0,21$. Нейтронограммы 3 и 4 сня-

ты на образце с 40% Ni при 1000 и 230°C соответственно. Аналогичные нейтронограммы получены на образцах таблицы.

Интенсивности малоуглового рассеяния, полученные от обогащенных и небогатенных образцов, в пределах погрешностей измерений совпадают. То есть, в основном, малоугловое рассеяние имеет магнитное происхождение.

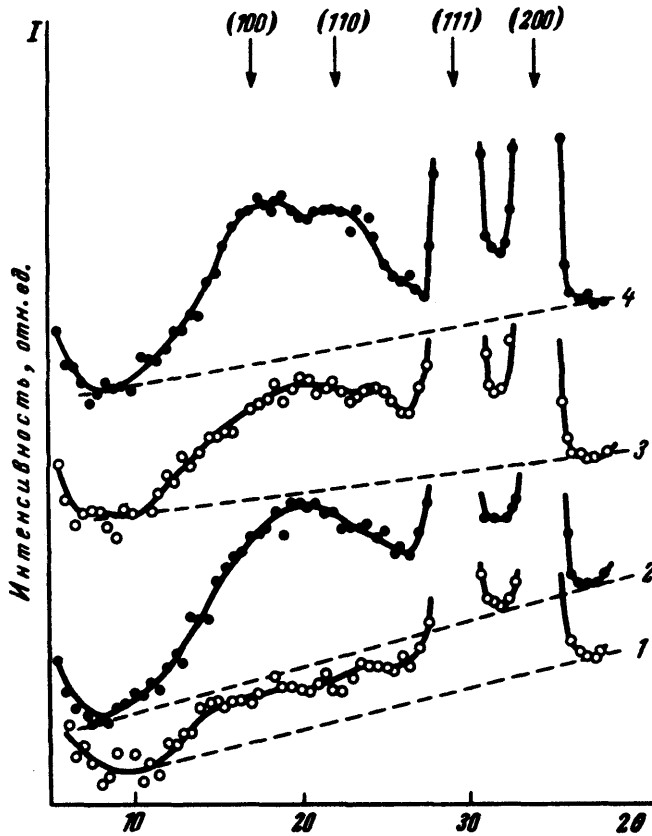


Рис. 1. Нейтронограммы инварных сплавов:
1. — 30%Ni, 2 — 32%Ni, 3 — 35%Ni, 4. — 40%Ni

На рис. 2 наблюдается рост интенсивностей малоуглового рассеяния при уменьшении концентрации Ni, несмотря на соответствующее понижение температур измерения. Следовательно, кроме магнитного и критического рассеяния нейтронов, существующих при $(T_c - T) / T_c = 0,21$, в инварных сплавах возникает дополнительное малоугловое магнитное рассеяние, которое можно приписать рассеянию на магнитных неоднородностях.

Вклад магнитного рассеяния значительно уменьшается при измерениях на углах, ограниченных величиной $4\pi(\sin \Theta / \lambda) \geq 0,1$. Как показали температурные измерения, эффекты магнитного и критического рассеяния пренебрежимо малы при 20°C для сплавов, имеющих $T_c \geq 200^\circ\text{C}$, и поэтому не учитывались при $C_{Ni} \geq 34 \text{ ат.}\%$.

На рис. 3 представлена концентрационная зависимость размеров магнитных неоднородностей ϵ при 20°C. Оценки размеров получены по угловому изменению интенсивности рассеяния и радиусам инерции неоднородностей [4] в предположении сферической формы областей. Оба метода оценок дают близкие значения ϵ , которые согласуются с размерами антифазных доменов упорядочения, равными 20 Å для сплава 4.

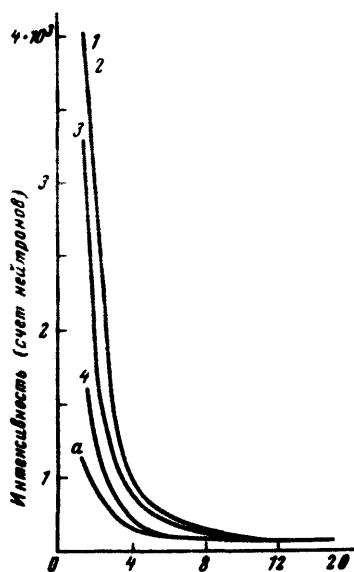


Рис. 2. Интенсивности малоуглового рассеяния нейтронов: 1. — 30%Ni, $T = 20^\circ\text{C}$; 3. — 35%Ni, $T = 130^\circ\text{C}$; 4. — 40%Ni, $T = 230^\circ\text{C}$; а. — 40%Ni, $T = 1000^\circ\text{C}$

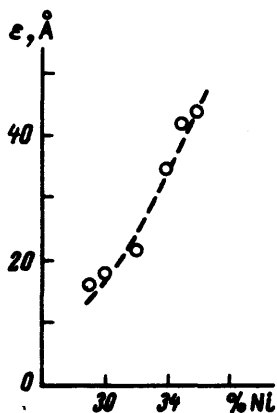


Рис. 3. Концентрационная зависимость размеров магнитных неоднородностей ϵ

Таким образом, настоящие результаты показывают, что в инварах образуются ферромагнитные области с ближним атомным порядком типа Ni_3Fe , в которых магнитный момент Fe имеет величину, близкую к $2,2 \mu_B$ (для сплава $3 \mu_{Fe} = 2,32 \pm 0,24 \mu_B$ [5]). Эти области распределены в парамагнитной матрице, которая ниже 60°K может быть антиферромагнитной с $\mu_{Fe} = 0,75 \mu_B$ [6].

Числа атомов Ni в 1-й и 2-й координационных сферах (n_1 и n_2), рассчитанные из α_1 и α_2 , отличаются от статистического распределения в десятых долях атома. При этом в ферромагнитных областях

$n_f > 3$, а в парамагнитных $n_f \leq 3$. Поэтому даже при закалке от высоких температур возможны образования, с отличным от статистического распределением атомов Ni, приводящие к сосуществованию ферромагнитной и антиферромагнитной фаз, аналогично [7].

Предложенная магнитная двухфазная модель инваров отличается от модели концентрационных флуктуаций [8] наличием корреляции в распределении атомов Fe и Ni. Вместе с тем легированные инвары могут быть рассмотрены в рамках предложенной модели с учетом влияния легирующих элементов на сверхструктуру Ni₃Fe [9].

Институт черной металлургии
им. И.П.Бардина

Поступила в редакцию
15 апреля 1974 г.

Литература

- [1] E.A.Owen, H.H.Sully. *Phil. Mag.*, 27, 614, 1939.
- [2] В.И.Гоманьков, И.М.Пузей, А.А.Гошманов, Е.Н.Мальцев. *Металлы*, №1, 160, 1974.
- [3] I.M.Cowly. *Phys. Rev.*, 77, 669, 1950.
- [4] А.Гинье. *Рентгенография кристаллов*. Физматгиз, 1961.
- [5] M.F.Collins. *Proc. Phys. Soc.*, 86, 973, 1965.
- [6] G.I.Johnson, H.B.McGirr, D.A.Wheeler. *Phys. Rev.*, B1, 3208, 1970.
- [7] Е.И.Кондорский. *ЖЭТФ*, 37, 1819, 1959.
- [8] S.Kachi, H.Asano. *J. Phys. Soc. Japan.*, 27, 536, 1969.
- [9] В.И.Гоманьков, И.М.Пузей, Е.Н.Мальцев. *ДАН СССР*, 194, 309, 1970.