

В. И. ГОМАНЬКОВ, И. М. ПУЗЕЙ, Е. И. МАЛЬЦЕВ

**ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВЕРХСТРУКТУРУ
 Ni_3Fe**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 23 II 1970)

Сверхструктура Ni_3Fe , возникающая после длительного отжига в широком концентрационном интервале системы $Ni - Fe$, определяет ряд магнитных свойств промышленных сплавов пермаллоидной области. Однако роль легирования при образовании сверхструктуры в настоящее время мало изучена прямыми структурными методами.

В предлагаемой работе показано, что наиболее распространенные легирующие элементы, применяемые в сплавах, по-разному влияют на сверхструктуру — одни разрушают, а другие сохраняют дальний порядок Ni_3Fe . Для изучения сверхструктуры в легированных пермаллоях использован нейтронноструктурный анализ. Нейтронограммы сплавов получены на дифрактометре с длиной волны $\lambda = 1,19 \text{ \AA}$. Влияние $Si, Ge, V, Cr, Mn, Co, Cu, Mo, W$ на дальний порядок Ni_3Fe исследовано на поликристаллических образцах, прошедших длительный ступенчатый отжиг в температурном интервале существования дальнего порядка Ni_3Fe . Соотношение железа и никеля в исследуемых образцах близко к стехиометрическому Ni_3Fe . Образцы имели состав $(Ni_3Fe)_{1-x}Me_x$, где Me — легирующий элемент, а величина x колебалась от 0,01 до 0,05.

Параметр дальнего порядка S определен из отношения интенсивностей сверхструктурного отражения (100) к основному (200). Величина S в контрольном образце Ni_3Fe , прошедшем термообработку вместе с исследуемыми образцами, составляла 0,95. На рис. 1 приведены нейтронограммы сплавов, легированных ванадием. Нейтронограммы остальных сплавов имеют аналогичный вид и позволяют качественно охарактеризовать влияние легирующего элемента на дальний порядок Ni_3Fe .

Для расчета S и количественного сравнения экспериментальных данных необходимо установить, какие атомы матрицы в решетке замещены легирующим элементом. О положении атома легирующего элемента в г.д.к. решетке в одних случаях можно судить по косвенным данным⁽¹⁾, характеризующим взаимодействие атомов в сплаве (сплавы с V, Cr, Mo, W). В других случаях — сплавы с Si, Mn, Co, Cu, Ge — замещение одного из атомов матрицы устанавливается экспериментально при сравнении S для разных моделей замещения. При этом учитывается концентрационное разупорядочение относительно Ni_3Fe ⁽²⁾.

Зависимость S от содержания легирующих атомов V, Cr, Mn, Mo, W представлена на рис. 2а. Эти элементы замещают железо в г.д.к. решетке вследствие более сильного взаимодействия с атомами никеля. Как видно из рисунка, V, Cr, Mo и W полностью разрушают дальний порядок Ni_3Fe при концентрациях, характерных для каждого легирующего элемента.

Нейтроннографические исследования легированных пермаллоев⁽¹⁾ показали, что вместе с атомной структурой изменяется состояние и $3d$ -электронной структуры сплавов. При этом пространственное распределение возмущений, вносимых примесными атомами, характеризуется в основном двумя видами. В одних случаях возмущение локализовано на примесном атоме и магнитные моменты атомов матрицы остаются неизменными.

В других — легирующий атом изменяет магнитные моменты окружающих атомов матрицы в нескольких координационных сферах ⁽³⁾. Характер возмущения 3d-электронной структуры, по-видимому, отражает взаимодействие атомов примеси и атомов матрицы. В свою очередь, изменение меж-атомного взаимодействия при легировании приводит к изменению тонкой кристаллической структуры. V, Cr, Mo и W разрушают дальний порядок Ni₃Fe за счет преимущественного распределения атомов никеля во второй координационной сфере. Именно эти элементы создают возмущение

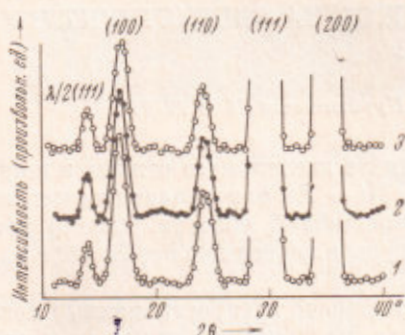


Рис. 1. Нейтронграммы сплавов, легированных ванадием. 1 — 1,5 ат. % V; 2 — 3,0 ат. % V; 3 — 5,0 ат. % V

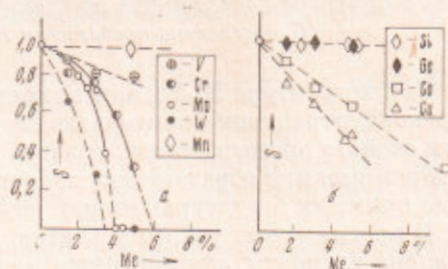


Рис. 2. Зависимость S от содержания V, Cr, Mo, W, Mn, Si, Ge, Co, Cu.

3d-электронной структуры атомов никеля в нескольких координационных сферах. Поэтому предельные концентрации легирующих элементов на рис. 2а, при которых исчезает дальний порядок, отражают, до некоторой степени, взаимодействие примесного атома с атомами никеля во второй координационной сфере. Для элементов VI группы предельные концентрации уменьшаются по мере увеличения атомного номера, хотя возмущения, создаваемые V, Cr, Mo и W, аналогичны по своему пространственному характеру ⁽⁴⁾. Поэтому можно предположить, что, кроме взаимодействий, обусловленных перестройкой электронной структуры, существует дополнительный фактор, разрушающий дальний порядок Ni₃Fe и связанный с размерным эффектом.

Слабое по сравнению с хромом влияние ванадия на величину S обусловлено конкурирующими взаимодействиями во второй координационной сфере. Обменное взаимодействие атомов ванадия и железа в матрице имеет антиферромагнитный характер и $\mu_V = -1,2 \mu_B$, в то время как взаимодействие Cr — Fe слабее, так как $\mu_{Cr} = 0,6 \mu_B$ ⁽⁵⁾. В первом случае взаимодействие V — Fe может способствовать сохранению атомов железа во второй координационной сфере при легировании ванадием. С другой стороны, взаимодействия, приводящие к расщеплению в бинарной системе железо — хром ⁽⁶⁾, указывают на дополнительную возможность замещения атомов железа атомами никеля во второй координационной сфере в сплавах, легированных хромом.

При легировании марганцем возмущение 3d-электронной структуры локализовано на самом примесном атоме ⁽³⁾. В этом случае взаимодействие ограничено первой координационной сферой, и поэтому сверхструктура Ni₃Fe сохраняется (рис. 2а).

На рис. 2б представлено влияние Si, Ge, Co и Cu на сверхструктуру Ni₃Fe. Эти элементы замещают атомы никеля в г.д.к. решетке в силу преобладающего взаимодействия с атомами железа ⁽⁴⁾. Тогда легирующие атомы имеют 4 атома железа и 8 атомов никеля в ближайшем соседстве.

Возмущения матрицы, создаваемые атомами кремния и германия, ограничены первой координационной сферой ⁽¹⁾. При этом примесные атомы взаимодействуют в основном только с 4 атомами железа, что спо-

собствует сохранению сверхструктуры Ni_3Fe при легировании кремнием и германием (рис. 2б).

Как видно из рис. 2б, элементы кобальт и медь разрушают дальний порядок Ni_3Fe . Возникновение сильной связи $Co-Fe$ в сплавах, легированных кобальтом, приводит к вытеснению атомов никеля и привлечению более 4 атомов железа в ближайшее окружение относительно атомов кобальта. При легировании медью преобладание взаимодействий $Cu-Cu$ и $Ni-Ni$ над $Cu-Ni$ в ближайшем соседстве⁽⁶⁾ также создает увеличение числа атомов железа в первой координационной сфере вокруг атомов меди. В обоих случаях перераспределение атомов железа в первой координационной сфере приводит к разрушению дальнего порядка Ni_3Fe .

Таким образом, если легирующие атомы замещают атомы железа, то разрушение сверхструктуры Ni_3Fe происходит благодаря взаимодействию примесного атома с атомами никеля во второй координационной сфере. При замещении атомов никеля разрушение дальнего порядка наблюдается только в случае связей, обеспечивающих присутствие более 4 атомов железа в первой координационной сфере вокруг легирующего элемента.

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

Поступило
18 II 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. М. Пузей, В. И. Гоманьков, А. А. Лошманов, ФММ, 25, 1, 36 (1968).
² В. И. Гоманьков, И. М. Пузей и др., ФММ, 28, 2, 262 (1969). ³ M. F. Collins, G. G. Low, Proc. Phys. Soc., 86, 551, 535 (1965). ⁴ В. И. Гоманьков, ФММ, 23, 6, 1125 (1967). ⁵ Е. З. Винтайкин, А. А. Лошманов, ФММ, 22, 3, 473 (1966). ⁶ J. W. Cable, E. O. Wollan, H. R. Child, Phys. Rev. Lett., 22, 23, 1258 (1969).