

НЕСОРАЗМЕРНАЯ АТОМНАЯ СТРУКТУРА СПЛАВА Ni – 67,7 ат.% Fe

С.Ф.Дубинин, С.Г.Теплоухов, С.К.Сидоров

Нейтроннографическим методом исследовался железоникелевый монокристалл 67,7 ат.% Fe. При комнатной температуре на нейтронограмме впервые обнаружены (закономерно расположенные в обратной решетке) сверхструктурные рефлексы. Картины рассеяния наиболее просто интерпретируются в рамках несоразмерной (с основной ГЦК решеткой) атомной структуры.

В последнее время появились работы [1, 2], в которых рентгенографическим и электронографическим методами на монокристаллических Fe – Ni образцах показано, что задолго до мартенситного превращения в исходный ГЦК фазе происходят какие-то скрытые изменения атомной структуры сплавов. Это послужило дальнейшим толчком широкого обсуждения деталей ГЦК ↔ ОЦК превращения и его связи с инвариными свойствами сплавов. В связи с этим представляется интересным нейтроннографическое исследование тонкой атомной структуры инвариных Fe – Ni сплавов на неупорядоченных монокристаллических образцах.

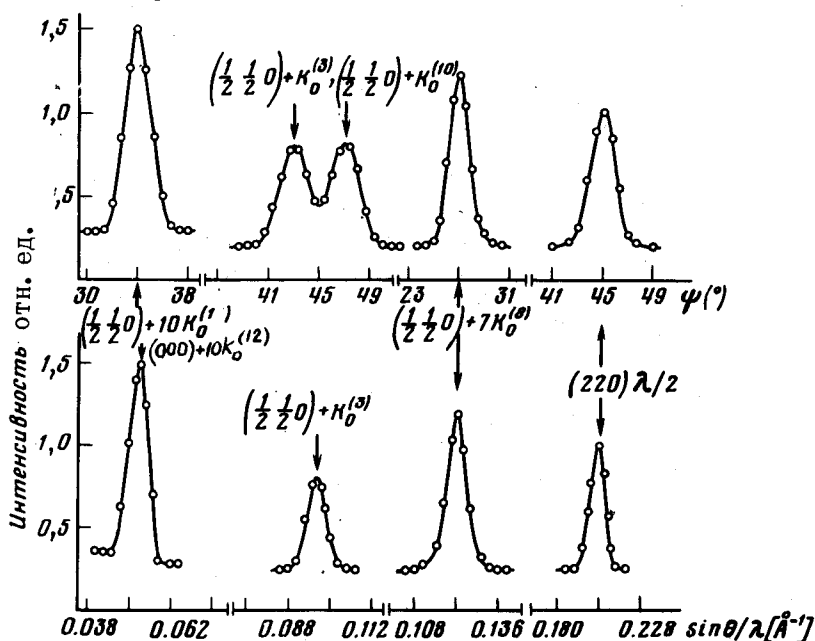


Рис. 1. Сильные сверхструктурные рефлексы (сателлиты) в сравнении с интенсивностью пика (200)

В настоящей работе исследовался монокристалл с содержанием 67,7 ат.% Fe. Образец представлял собой шарик диаметром 12 мм. Длина волны нейтронов λ , полученных отражением от двойного монохроматора (в данном эксперименте использовались пара кристаллов:

медь, свинец) равнялась $1,4 \text{ \AA}$. Примесь нейтронов с $\lambda/2$ составляла около 1%.

Исследуемый монокристалл ориентировался осями типа $[100] \perp q$ (q – вектор рассеяния). Измерение интенсивности рассеяния нейтронов производилось в интервале

$$0 < \sin \theta / \lambda \sim |q| < 0,35 \text{ и } 0 \leq \psi < 360^\circ$$

(2θ – угол между волновыми векторами падающей и рассеянной волн; ψ – угол между направлением $[100]$ в плоскости рассеяния и q).

На нейтронограммах неупорядоченного сплава Ni – 67,7 ат.% Fe, полученных при комнатной температуре, было обнаружено большое число когерентных сверхструктурных рефлексов. На рис. 1 представлены некоторые наиболее сильные пики: в верхней части рисунка в зависимости от угла ψ (при фиксированном θ), в нижней части – в зависимости от $\sin \theta / \lambda$ (для определенных ψ). Для оценки интенсивности наблюдаемых рефлексов здесь же приведен рефлекс $(220) \lambda/2$.

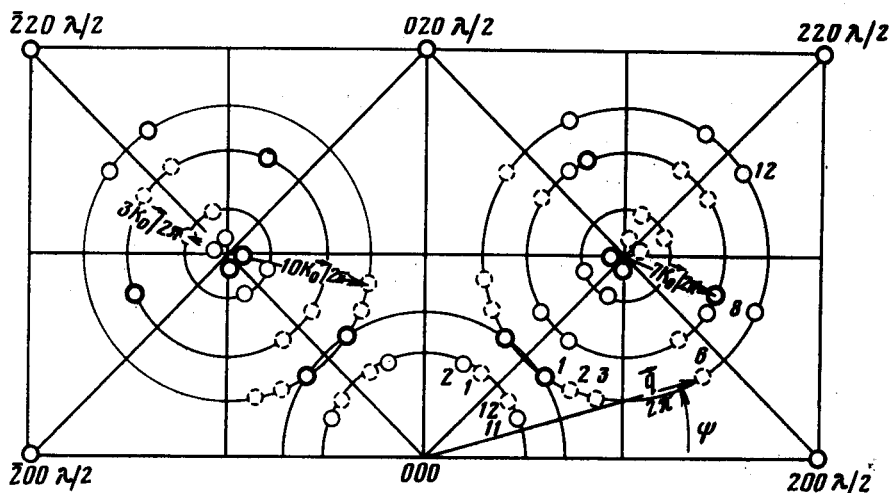


Рис. 2. Положение сателлитов в обратной решетке

Полное распределение наблюдаемой интенсивности удобно представить в обратном пространстве. На рис. 2 кружками изображено положение рефлексов в обратной решетке. Диаметр кружка соответствует угловому размеру пика на половине его высоты. Наблюдаемая картина рефлексов симметрична относительно направления $[100]$, поэтому на рисунке показана только верхняя относительно узла (000) часть обратной решетки. Приблизительно по величине интенсивности сверхструктурные рефлексы на рисунке разбиты на три группы. Интенсивность пиков, имеющих сильно зачерненный контур, не меньше интенсивности – $(220) \lambda/2$. Слабым контуром обозначены рефлексы, интенсивность которых приблизительно в три раза меньше – $(220) \lambda/2$. Пунктиром изображены рефлексы примерно на порядок слабее интенсивности $(220) \lambda/2$.

Пространственное размещение рефлексов в обратной решетке наиболее симметрично относительно узла (000) и положений $1/2 \ 1/2 \ 0$

и $\bar{1}/2 \ 1/2 \ 0$. Аналогичное распределение наблюдается в окрестности кратных положений типа $1/2 \ 3/2 \ 0$ и $3/2 \ 3/2 \ 0$, но из-за меньшей интенсивности и худшего разрешения в больших углах рассеяния точное размещение сверхструктурных рефлексов в обратной решетке затруднительно и на рисунке не представлено.

Внешне картина рассеяния соответствует магнитной структуре с большим сверхпериодом типа сложной спирали. Однако трудно предположить наличие в данных сплавах достаточно сильных антиферромагнитных взаимодействий, обуславливающих стабильность такой структуры до нескольких сотен градусов.

Наиболее просто происхождение сверхструктуры (сателлитов) можно понять, предположив регулярный характер смещений атомов в ГЦК решетке, например, по синусоидальному закону [3]. В [3] показано, что подобные картины рассеяния наблюдаются на эксперименте в ряде соединений вблизи бездиффузионных фазовых переходов, причем сателлиты в обратной решетке располагаются на определенном расстоянии $n\mathbf{k}_0/2\pi$ ($n\mathbf{k}_0$ — волновой вектор порядка n) от узлов, соответствующих обычной, удвоенной, утроенной и т. д. химической элементарной ячейки "материнской фазы". Характерным признаком модели смещений атомов в кристалле (модуляции фазы рассеяния) является присутствие высших "дифракционных гармоник" — $n\mathbf{k}_0$. В настоящее время подобные структуры получили название (по аналогии с магнитными геликоидальными) несоразмеримых атомных структур.

В нашем случае сателлиты на рис. 2 расположены относительно узлов удвоенной химической ячейки на расстояниях кратных $|\mathbf{k}_0|/2\pi$ вдоль строго определенных направлений в решетке. В плоскости обратной решетки (001) можно выделить 12 таких направлений, которые связаны, по-видимому, с наличием в сплаве двенадцати специфических доменов смещений. На рис. 2 они условно пронумерованы против часовой стрелки. Направления 1, 2, 3 относительно узла ($1/2 \ 1/2 \ 0$) делят угол в 45° на четыре равные части, остальные направления (j) связаны с ними осью симметрии четвертого порядка. Наблюдаемая дифракционная картина существенно зависит от состава и температуры. Более подробно эти результаты будут опубликованы в дальнейшем.

Таким образом, нейтронографическое исследование показывает, что вблизи мартенситного превращения¹⁾ в сплаве Ni — 67,7 ат. % Fe реализуется промежуточная несоразмерная с основной ГЦК решеткой атомная структура и дальнейшее изучение ее особенностей позволит, по-видимому, вскрыть некоторые важные детали инварной проблемы.

Институт физики металлов
Академии наук СССР
Уральский научный центр

Поступила в редакцию
4 июля 1977 г.

¹⁾ В железоникелевых сплавах выпадение мартенсита при комнатной температуре начинается с 70 ат. % Fe.

Литература

- [1] V.G.Veeraraghavan, C.F.Eagen, H.R.Harrison, P.G.Winchell. J. of Appl. Phys., 47, 4768, 1976.
 - [2] Ю.Д.Тяпкин, В.Г.Пушин, Р.Р.Романова, Н.Н.Буйнов. ФММ, 41, 1040, 1976.
 - [3] J.D.Axe. Proceedings of the Conference on neutron scattering, USA, 1, 353, 1976.
-