

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. К. КРИЦКАЯ, академик Г. В. КУРДЮМОВ и Т. И. СТЕЛЛЕЦКАЯ

ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА СИЛЫ СВЯЗИ В КРИСТАЛЛАХ α -ЖЕЛЕЗА

Одним из методов оценки сил связи в кристаллах может служить определение теплового фактора рассеяния рентгеновских лучей. Наличие отклонений атомов от положений равновесия при тепловых колебаниях приводит к ослаблению интенсивности интерференционных линий, которое выражается множителем e^{-2M} . Для величины M теория рассеяния рентгеновских лучей дает следующие известные выражения в случае кристаллов с кубической решеткой:

$$2M = \frac{4\pi^2}{3a^2} \overline{u^2} \sum_1^3 h_i^2 \quad (1)$$

или

$$2M = 3 \frac{h^2}{a^2 m k \Theta} \left[\frac{\Phi(\Theta/T)}{\Theta/T} + \frac{1}{4} \right] \sum_1^3 h_i^2, \quad (2)$$

где $\overline{u^2}$ — среднее квадратичное смещение при тепловых колебаниях атомов; a — период решетки; $\sum h_i^2$ — сумма квадратов индексов отражающей грани; Θ — характеристическая температура; T — температура съемки; m — масса атома; $\Phi(\Theta/T)$ — дебаевская функция; h и k — постоянные Планка и Больцмана.

В первой из этих формул M выражается через $\overline{u^2}$, во второй — через Θ . Таким образом, определив экспериментально e^{-2M} , мы можем вычислить $\overline{u^2}$ или Θ . Эти величины могут служить характеристикой сил связи в решетке. Очевидно, чем сильнее связь, чем выше сила, возвращающая атом в положение равновесия при отклонении, тем меньше амплитуда колебаний атомов и тем меньше средняя величина квадрата отклонения $\overline{u^2}$ при данной энергии колебаний, т. е. при данной температуре. Поэтому сравнительную оценку связи по $\overline{u^2}$ можно делать, определяя $\overline{u^2}$ для той или иной выбранной температуры. Величина Θ связана с максимальной частотой колебаний в решетке ($k\Theta = h\nu_{\max}$), и поэтому величина $m\Theta^2 \sim m\nu^2$ может служить мерой силы, возвращающей атом в положение равновесия, так как $m\nu^2$ пропорциональна коэффициенту квазиупругой силы. Так как Θ несколько зависит от температуры вследствие изменения межатомных расстояний с повышением температуры, то при оценке сил связи целесообразно измерять Θ для одной и той же области температур. Величина $m\Theta^2$ характеризует модуль упругости.

В работе ⁽¹⁾ тепловой фактор рассеяния определялся путем измерения относительной интенсивности линии на рентгенограммах, снятых при двух температурах. Выбор при этом комнатной температуры и температуры жидкого азота позволял проводить измерения для кристаллов метастабильных состояний ^(1,2).

При изучении влияния различных факторов на силы связи в кристаллах направление и степень изменения сил связи могут оцениваться

непосредственно по изменению относительной интенсивности двух линий при переходе от одной температуры к другой. Например, отношение интенсивностей линий с $\Sigma h_i^2 = 6$ и $\Sigma h_i^2 = 26$ для α -железа изменяется на 27% при переходе от температуры жидкого азота к комнатной, а для мартенсита с 1% С это изменение составляет 43%, что указывает на более высокий рост амплитуд колебаний атомов с температурой в случае мартенсита, т. е. на ослабление связей в кристаллах железа при наличии растворенного углерода (3). Для пластически деформированного железа это изменение остается в пределах ошибок измерения таким же, как и для недеформированного железа (1,4).

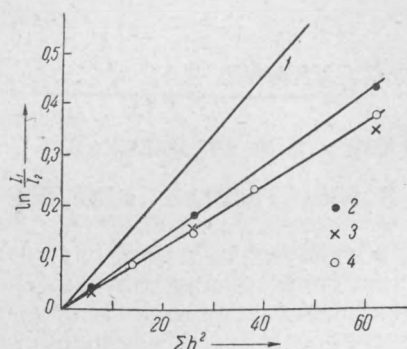


Рис. 1. 1—Fe, 2—2% Cr, 3—8% Cr, 4—16% Cr

Оценку сил связи удобно делать по изменению величины $\bar{u}^2$ при переходе от одной температуры к другой, поскольку величина $\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2$ получается непосредственно из изменения относительной интенсивности

линий при использовании формулы (1). Если $\alpha(T)$ — отношение интенсивности двух каких-либо линий при температуре T , то

$$\ln \frac{\alpha(T_2)}{\alpha(T_1)} = \frac{4\pi^2}{3a^2} (\Sigma h_i'^2 - \Sigma h_i''^2) (\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2). \quad (3)$$

Для определения самих величин $\bar{u}^2$ необходимо сначала найти из (2) Θ , а затем воспользоваться формулой (1).

Точность измерений величин Δu^2 , $\bar{u}^2$ и Θ зависит от величин выбранных Σh_i^2 . Она тем больше, чем выше $\Sigma h^2 - \Sigma h'^2$. Поэтому для большей точности измерений целесообразно получение рентгенограмм в жестком излучении.

В настоящей работе исследовалось влияние растворенного хрома на силы связи в кристаллах α -железа. Были изготовлены сплавы с 2, 8 и 16% хрома. Химический состав приведен в табл. 1. Все сплавы исследовались после отпуска при 600°. Сплав с 8% хрома исследовался также в деформированном состоянии. Образцы для рентгено съемки изготовлялись из цельного куска металла и из опилок.

Рентгенограммы снимались в молибденовом излучении при комнатной температуре и при $T = -185^\circ$. Измерялись интенсивности отражений от граней с суммой квадратов индексов 6, 14, 26, 38, 62. Если $I_{hkl}(T)$ — относительная интенсивность линии (hkl) при температуре T , то

$$\ln \frac{I_{hkl}(T_2)}{I_{hkl}(T_1)} = C + B \varphi(\Theta) \Sigma h_i^2 = C + A \Delta \bar{u}^2 \Sigma h_i^2,$$

где $B = \frac{3h^2}{a^2 m k}$, $\varphi(\Theta) = \frac{1}{\Theta} \left[\frac{\Phi(\Theta/T_2)}{\Theta/T_2} - \frac{\Phi(\Theta/T_1)}{\Theta/T_1} \right]$, $A = \frac{4\pi^2}{3a^2}$, $\Sigma h^2 = h^2 + k^2 + l^2$ и C — постоянная, определяющаяся выбором единиц измерения линий на рентгенограммах при обеих температурах (1,4).

Таблица 1

№ сплава	Cr, %	C, %	Mn, %	Si, %	P, %	S, %
1	1,97	0,017	сл.	0,012	сл.	0,020
2	1,95	0,025				
3	8,05	0,014	сл.	0,011	сл.	0,019
4	7,60	0,06				
5	16,60	0,05	0,10	0,15	0,013	0,017

Так как для данного образца величины B и A являются постоянными, то $\ln \frac{I(T_2)}{I(T_1)}$ должен быть линейной функцией Σh^2 . Тангенс угла наклона дает значения $A\Delta\bar{u}^2$ и $B\varphi(\Theta)$, откуда находятся $\Delta\bar{u}^2$ и $\varphi(\Theta)$. Для определения Θ был построен график $\varphi(\Theta)$ при данных T_1 и T_2 .

В табл. 2 приведены результаты измерений относительной интенсивности линий, а на рис. 1 — зависимость $\ln \frac{I_{hkl}(T_2)}{I_{hkl}(T_1)}$ от суммы квадратов индексов. Точки удовлетворительно укладываются на прямые линии. Это значит, что измеряемое нами изменение относительной интенсивности определяется только изменением температуры, т. е. только изменением амплитуды тепловых колебаний. С другой стороны, это является новой проверкой правильности вывода теории рассеяния о пропорциональности интенсивности отражений множителю $e^{-G\Sigma h^2}$, где G определяется силами связи и температурой.

Результаты определения величин $\Delta\bar{u}^2 = \bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2$ и Θ приведены в табл. 3. Точность измерения Θ^* равна $10-20^\circ$, а величины $\Delta\bar{u}^2=0,0003$. В таблице приведены также значения $V\bar{u}^2$ для комнатной температуры и величины $m\Theta^2$. Для последних бралось среднее значение масс атома железа и хрома при данной концентрации. Полученные данные показывают, что уже введение 2% хрома приводит к значительному усилению межатомной связи в кристаллах феррита; введение 8% хрома вызывает дальнейшее усиление связей; сплав с 16% Cr по силам связи уже практически не отличается от сплава с 8% Cr.

Таблица 2

Σh^2_i	$\frac{I_{hkl} \text{ (при } -185^\circ)}{I_{hkl} \text{ (при } +22^\circ)}$			
	сплавы Fe — Cr			
	α -железо	2% Cr	8% Cr	16% Cr
6	1,08	1,05	1,04	
14	1,15			1,09
26	1,35	1,20	1,17	1,17
38	1,55			1,27
62		1,54	1,42	1,46

Таблица 3

Содерж. Cr в сплаве в %	Состояние сплава	$\Delta\bar{u}^2 = \bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2$	$V\bar{u}^2, \text{ \AA}$	Характеристич. тем-та Θ в $^\circ\text{C}$	$m\Theta^2 \cdot 10^{17}$
α -железо	Деформир. и недеформир. . .				
2	После отпуски при 600° . .	0,0074	0,115	430	1,7
8	То же . . .	0,0045	0,095	530	2,6
16	То же . . .	0,0038	0,089	570	2,9
	" " . . .	0,0038	0,089	570	2,9

Интересный результат был получен при измерении теплового фактора рассеяния у деформированного сплава с 8% Cr. Опыты производились на опилках, не подвергавшихся отпуску, и на опилках, отпущенных при 600° . Результаты измерения отношений интенсивностей линий с суммой квадратов индексов 6 и 26 при двух температурах для сплава с 8% Cr приведены в табл. 4. Оказалось, что в деформированном сплаве с 8% Cr тепловой фактор не отличается от такового

* Точность определения характеристической температуры Θ понижается с ее увеличением.

для железа. Изменение отношения I_6/I_{26} составляет 27%. Отпуск при 600° приводит к уменьшению этого изменения до 14%. Отсюда сле-

Таблица 4

Обработка ис- следов. матери- ала	$\alpha = I_6/I_{26}$		α_1 α_2	Характери- стич. тем- п в °C
	$t_1 = +20^\circ$	$t_2 = -185^\circ$		
Деформация на- пилив.	3,34	2,62	1,27	430
Отпуск при 600° .	2,95	2,59	1,14	530

дует, что пластическая деформация вызывает уменьшение сил связи в кристаллах исследуемого твердого раствора.

Так как ряд опытов с деформацией железа показал, что в деформированном железе силы связи практически не отличаются от сил связи в кристаллах железа в отожженном состоянии^(1, 4), то изменение тепलो-

го фактора при деформации твердого раствора хрома в железе следует, повидимому, отнести за счет возможного влияния деформации на распределение атомов хрома в решетке в сторону приближения его к статическому распределению. Дальнейшие исследования природы обнаруженного явления представляют интерес.

Институт металловедения
и физики металлов ЦНИИЧМ

Поступило
16 VI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, Проблемы металловедения и физики металлов, 2, М., 1951, стр. 222. ² В. К. Крицкая, В. А. Ильина, Г. В. Курдюмов, ДАН, 85, 947 (1952). ³ Г. В. Курдюмов, В. К. Крицкая, Н. М. Нодиа, Проблемы металлургии, Изд. АН СССР, 1953, стр. 117 (сборник, посвященный акад. И. П. Бардину). ⁴ В. А. Ильина, В. К. Крицкая, ДАН, 87, 107 (1952).