Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. А. ИЛЬИНА и В. К. КРИЦКАЯ

СИЛЫ СВЯЗИ И СТАТИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ ЛЕГИРОВАННОГО ФЕРРИТА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 26 VII 1954)

В упрочнении металлов и сплавов путем механической и термической обработки важнейшую роль играет образование характерной субмикроскопической неоднородности их кристаллического строения [1]. Вместе с тем повышение сопротивления деформации может происходить и за счет изменения свойств самих кристаллов составляющих фаз в микрообластях [1, 2]. Особое значение свойства самих кристаллов имеют для процесса разупрочнения, происходящего при повышенных температурах. Прочность межатомной связи в кристаллах составляющих фаз является основным фактором, определяющим положение температурной области разупрочнения сплава. Для выявления природы упрочнения и разупрочнения сплавов при механической и термической обработке необходимо систематическое изучение свойств кристаллов металлов, твердых растворов и соединений, в особенности свойств, характеризующих прочность межатомной связи в кристаллах.

При выяснении влияния различных факторов на силы связи в кристаллах α-железа был применен метод измерения теплового фактора интенсивности рентгеновских интерференций [1, 5]. Было установлено, что наличие растворенного углерода вызывает значительное ослабление сил связи в решетке α-железа [4, 5], тогда как введение в α-железо хрома вызывает существенное увеличение сил связи [6]. В настоящей работе этот же метод был использован нами для изучения влияния ряда элементов (V, Mn, Co, Nb, Mo) на силы связи и искажения решетки в кристаллах α-железа. Химический состав сплавов дан в табл. 1.

Таблица 1

Материал	C	Si	Mn	S	P	V	Mo	Co	Nb
Fe армко	0,02	0,03	0,05	0,023	0,017	—	—	—	—
Fe + 1,8 ат. % Mo . .	0,02	0,04	0,03	0,026	0,007	—	3,02	—	—
Fe + 1,8 ат. % Co . .	0,035	сл.	необн.	0,014	0,006	—	—	1,95	—
Fe + 1,5 ат. % Mn . .	0,015	0,03	1,47	0,017	сл.	—	—	—	—
Fe + 0,8 ат. % Nb . .	0,03	0,01	0,09	0,010	0,005	—	—	—	1,25
Fe + 2,3 ат. % V . . .	0,02	0,18	0,23	0,013	0,007	2,13	—	—	—

Исследование всех сплавов производилось на образцах, отпущенных при температурах, при которых снимались искажения третьего рода, возникающие в процессе напиливания порошков. Для сплавов с ванадием и сплавов с молибденом определение характеристической

температуры производилось также и для деформированного состояния.

Методика измерения характеристической температуры и статических искажений была такой, как в работах ([3], [6]). Рентгенограммы снимались в молибденовом излучении при двух температурах. Измерения (см. табл. 2) показали, что все элементы, которыми было легировано железо (за исключением ванадия), вызывают увеличение сил связи в кристаллах феррита. Эти результаты находятся в соответствии с данными работы ([8]), в которой исследовалось влияние легирующих элементов на температурную зависимость модуля сдвига.

Таблица 2

Легирующий элемент	Т-ра отпуска в °С	I_6/I_{26} при $t_1 = 23°$	I_6/I_{26} при $t_2 = -185°$	$\frac{\alpha_{1t_1}}{\alpha_{2t_2}}$	Θ	$\overline{\Delta u^2}$	$\sqrt{\overline{u^2}_{\text{дин}}}$ при $t = 23°$
Чистое железо	600	2,66	2,03	1,27	430	0,0074	0,115
Mo 1,8%	700	3,08	2,63	1,17	500	0,0049	0,098
V 2,3%	800	2,98	2,24	1,33	400	0,0088	0,123
Co 1,8%	650	2,72	2,24	1,21	470	0,0059	0,105
Nb 0,8%	800	3,58	3,17	1,13	570	0,0038	0,088
Mn* 1,5%	800	1,75*	1,23*	1,42	580	0,0037	0,085

* Для марганца определялись отношения интенсивности I_6/I_{62}.

Значительное усиление сил связи (уменьшение амплитуды тепловых колебаний атомов) дало легирование феррита марганцем, ниобием и молибденом. Присутствие атомов кобальта в феррите также делает междуатомную связь в кристаллах твердого раствора более прочной. В сплаве железа с ванадием было обнаружено ослабление междуатомных сил связи по сравнению с таковыми в кристаллах нелегированного феррита.

В табл. 2 помещены: результаты измерения отношения интенсивностей α_1/α_2 при двух температурах; значения Θ; величины среднеквадратичных отклонений при тепловых колебаниях $\sqrt{\overline{u^2}_{\text{дин}}}$ для всех исследованных сплавов и для железа. Величина $m\Theta^2$ (m — масса атома вещества, для которого определяется Θ) характеризует величину сил связи ([1]).

В случае исследованных нами сплавов (различие в m незначительное) сопоставление значений характеристической температуры позволяет делать сравнительную оценку сил связи в кристаллах феррита, легированного различными элементами.

На рис. 1 показано изменение $m\Theta^2$ для всех исследованных сплавов по сравнению с этой величиной для железа. Из этого графика наглядно виден характер изменения сил связи в нелегированном феррите.

Рис. 2 представляет для исследованных сплавов величины среднеквадратичных отклонений при тепловых колебаниях атомов при комнатной температуре. Наибольшая величина динамических искажений $\sqrt{\overline{u^2}_{\text{дин}}}$ была обнаружена в решетке сплава с 2,3% ванадия и наименьшая — у сплава с 0,8% ниобия.

Определение характеристической температуры в деформированных сплавах железа с молибденом и железа с ванадием показало, что сколько-нибудь заметного различия в значениях Θ, полученных для отпущенных и деформированных образцов этих сплавов, не имеется.

Для определения величины статических искажений твердого рас-

твора были измерены относительные интенсивности рентгеновских интерференций с суммой квадратов индексов 6, 26, 14, 38, 62 в чистом отожженном феррите и сплавах после их высокого отпуска.

Полученные результаты выявили, что отношение $I_{h_1k_1l_1}/I_{h_2k_2l_2}$ для чистого феррита и феррита, легированного различными элементами, различно и что все значения этого отношения исследованных сплавов выше (хотя и в различной степени) такого отношения для чисто-

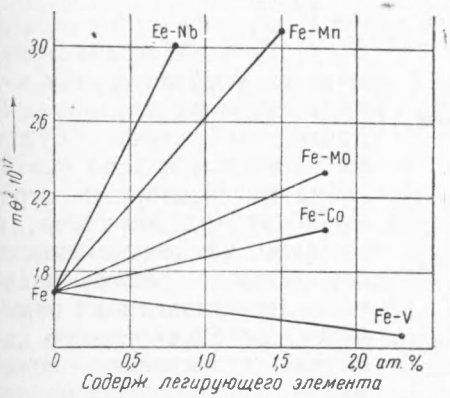


Рис. 1

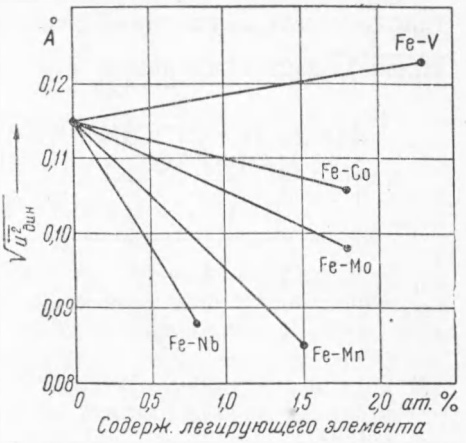


Рис. 2

то феррита. Если принять, что статические искажения в кристаллической решетке высокоотпущенного феррита отсутствуют, то из отношения интенсивностей для железа

$$\alpha_1 = \frac{I_{h_1k_1l_1}}{I_{h_2k_2l_2}} = Ae^{-2(M_1-M_2)}$$

и для исследованного сплава

$$\alpha_2 = \frac{I_{h_1k_1l_1}}{I_{h_2k_2l_2}} = Ae^{-2(M_1'-M_2')}e^{-h}$$

определяется величина $k = A'\overline{u_{ст}^2}$ и, следовательно, $\sqrt{\overline{u_{ст}^2}}$ — величина среднеквадратичных смещений центров колебаний атомов в решетке твердого раствора ([3]).

В табл. 3 приведены значения $\sqrt{\overline{u_{ст}^2}}$ для исследованных сплавов. Самые большие статические искажения твердого раствора были обнаружены в сплаве с 0,8% ниобия и самые малые — в железе, легированном ванадием.

Таблица 3

Легирующий элемент	Т-ра отпуска в °С	$\alpha_1 = \frac{I_6}{I_{14}}$	$\alpha_2 = \frac{I_6}{I_{26}}$	$\alpha_3 = \frac{I_6}{I_{62}}$	$\frac{\alpha'1\text{ спл}}{\alpha'1\text{ жел}}$	$\frac{\alpha'2\text{ спл}}{\alpha'2\text{ жел}}$	$\frac{\alpha'3\text{ спл}}{\alpha'3\text{ жел}}$	$\sqrt{\overline{u^2}_{ст}}$, Å	r, Å
					исключен тепловой фактор				
α-железо . .	680	1,56	2,66	1,62	—	—	—	—	—
Mo 1,8% . .	700	1,64	3,09	2,43	1,10	1,29	2,04	0,090	1,36
V 2,3% .	800	1,68	2,98	2,30	1,05	1,07	1,19	0,040	1,31
Co 1,8% .	650	1,61	2,72	1,62	1,06	1,10	1,22	0,053	1,25
Nb 0,8% . .	800	1,80	3,58	3,71	1,24	1,60	3,73	0,121	1,43
Mn 1,5% . .	800	1,59	2,76	1,73	1,09	1,24	1,77	0,084	1,26

В последней графе табл. 3 помещены значения радиусов атомов легирующих элементов. Самый большой атомный радиус (как и самые большие статические искажения) — у ниобия. Однако величина статических искажений твердого раствора не находится в прямой зависимости от разницы в размерах атомов растворителя и легирующего элемента, как это следует из рассмотрения приведенных в таблице данных.

Определение статических искажений из сравнения отношений интенсивностей двух линий рентгенограммы, например I_6/I_{26} (железа и сплава), дает правильное истинное значение $\sqrt{\overline{u^2_{ст}}}$ лишь при условии отсутствия эффекта экстинкции как у железа, так и у исследуемых сплавов. В противном случае будет иметь место сильное ослабление интенсивности отражений низких порядков, в то время как интенсивность отражения высоких индексов практически не изменится, вследствие чего величина статических искажений, определенная из отношения интенсивностей линий, для которых эффект экстинкции существенно различен, может оказаться сильно искаженной.

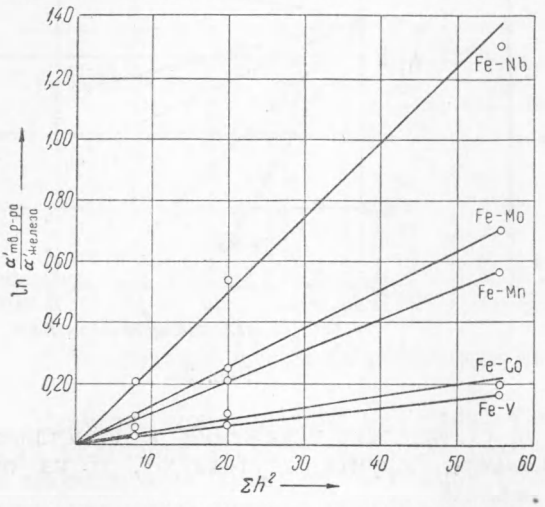


Рис. 3

Из графиков рис. 3, полученных для железа и сплавов с 0,8% ниобия, 1,8% молибдена, 1,5% марганца, 1,8% кобальта и 2,3% ванадия, видно, что все экспериментальные точки укладываются на одну прямую, тангенс угла наклона которой и определяет величину $\overline{u^2_{ст}}$ [7]. Таким образом, в исследованных нами сплавах и в железе эффект экстинкции отсутствовал.

Институт металловедения и физики металлов
ЦНИИЧМ

Поступило
23 VI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. В. Курдюмов, В. А. Ильина и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 17, 297 (1953). [2] Г. В. Курдюмов, ЖТФ, 24, № 7 (1954). [3] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, Проблемы металловедения и физики металлов, 2-й сборн. трудов, М., 1951, стр. 222. [4] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, ДАН, 85, № 4 (1952); Проблемы металловедения и физики металлов, 3-й сборн. трудов, М., 1952, стр. 95. [5] Г. В. Курдюмов, В. К. Крицкая, Н. М. Нодиа, Проблемы металлургии, Изд. АН СССР, 1953, стр. 117 (Сборн. посвящ. И. П. Бардину). [6] В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, Т. И. Стеллецкая, ДАН, 98, № 1 (1954). [7] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, ДАН, 87, № 2, 107 (1952). [8] Н. С. Рысина, Б. Н. Финкельштейн, ДАН, 98, № 2 (1954).