Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 2

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. К. КРИЦКАЯ, академик Г. В. КУРДЮМОВ и Л. В. ТИХОНОВ

О ВЛИЯНИИ ОБРАБОТКИ НА СИЛЫ СВЯЗИ В КРИСТАЛЛАХ α-ТВЕРДОГО РАСТВОРА ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

Введение легирующих элементов может приводить к значительным изменениям сил связи в кристаллах твердых растворов. Величина и направление этого изменения определяются как особенностями межатомного взаимодействия входящих в раствор элементов, так и концентрацией растворенных элементов ([1–8]).

Изменение состояния чистого металла в результате пластической деформации не связано с изменением сил межатомного взаимодействия в кристаллических блоках, как это следует из данных о тепловом факторе рассеяния рентгеновских лучей деформированным железом ([9, 10]). При исследовании хромистого железа было, однако, обнаружено, что пластическая деформация вызывает большое изменение сил связи в кристаллах твердого раствора. Было высказано предположение о том, что это связано с изменением распределения атомов хрома в решетке твердого раствора.

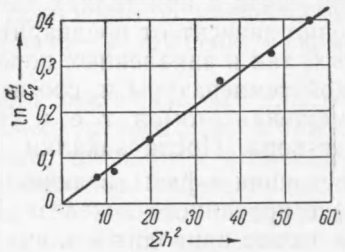


Рис. 1

В настоящей работе исследовалось влияние на силы связи пластической деформации, закалки и отпуска в сплаве железа и никеля следующего состава: 4% Ni, 0,015% C, 0,04% Si, 0,016% S, 0,001% P. Перед ковкой слиток подвергался диффузионному отжигу при 1200° в течение 20 час. После ковки сплав отжигался 1 час при 1050° с последующим охлаждением в печи. Из куска такой заготовки был напилен порошок. Часть этого порошка пошла на изготовление образцов для рентгеносъемки. Остальной порошок был отпущен в вакууме при 600° в течение 2 час. Часть отпущенного порошка была закалена от 1020° и, наконец, часть закаленного порошка снова была отпущена при 600°.

Рентгеносъемка производилась в молибденовом излучении при комнатной температуре и при температуре жидкого азота. Определение характеристической температуры Θ и среднеквадратичного отклонения при тепловых колебаниях $\overline{u^2}$ производилось так же, как и в предыдущих исследованиях ([10, 11, 5]). Для образцов деформированных и закаленных порошков измерялись интенсивности двух линий с суммой квадратов индексов 6 и 26. Для отпущенных образцов измерялись интенсивности ряда линий с $\Sigma\, h^2$ до 62.

Рис. 1 дает зависимость логарифма отношения α_1/α_2 от разности суммы квадратов индексов пар линий для отпущенного при 600° порошка. Здесь

$\alpha_1 = I_{h_2k_2l_2}/I_{h_3k_3l_3}$ — отношение интенсивностей пары линий для комнатной температуры; α_2 — отношение для той же пары линий при температуре жидкого азота. Точки хорошо укладываются на прямую линию. Определенная по углу наклона прямой величина Θ оказалась равной 530°.

В табл. 1 приведены результаты измерения отношения интенсивности $\alpha = I_6/I_{26}$ при двух температурах, величина α_1/α_2, а также вычисленные значения характеристической температуры Θ и среднеквадратичных отклонений атомов $\sqrt{\overline{u^2}}$ для тепловых колебаний при комнатной температуре после различной обработки. В таблице приведены полученные ранее данные для деформированного и отпущенного железа ([11]).

Таблица 1

Обработка	$\alpha = I_6/I_{26}$ при +23°	$\alpha = I_6/I_{26}$ при −185°	α_1/α_2	Θ	$\sqrt{\overline{u^2}}_g$ в Å
Деформация (напил.) . .	3,68	3,02	1,22	460	0,108
Отпуск 600°	2,93	2,54	1,15	540	0,095
Закалка	3,50	2,75	1,27	430	0,115
Закалка + отпуск 600° .	3,05	2,66	1,15	540	0,095
α-Fe, отпуск 600° . . .			1,27	430	0,115
α-Fe, деформац. (напил).			1,27	430	0,115

Из таблицы следует, что величины, характеризующие силы междуатомной связи в кристаллах твердого раствора исследуемого сплава, существенно зависят от предварительной обработки. Отпуск как деформированных, так и закаленных порошков приводит к повышению характеристической температуры и, соответственно, к уменьшению среднеквадратичного смещения атомов, т. е. к увеличению сил связи в кристаллах α-твердого раствора. После закалки, приводящей к возникновению мартенситного состояния α-фазы, величины Θ и $\sqrt{\overline{u^2}}$ имеют значения такие же, как для нелегированного α-железа. Пластическая деформация отожженного сплава также приводит к значительному понижению Θ.

Во всех трех состояниях, полученных или после пластической деформации, или в результате мартенситного превращения, или после отпуска, кристаллы α-фазы представляют собой твердый раствор одного и того же состава. Как известно из опытов с пластической деформацией железа, тонкие изменения кристаллической структуры, возникающие в результате пластической деформации, сами по себе не приводят к изменению сил связи в кристаллах металла — характеристическая температура и величина среднеквадратичного отклонения атомов остаются неизменными ([11]). Поэтому можно заключить, что причиной, обусловливающей разницу в силах связи в кристаллах железо-никелевого твердого раствора после различной обработки, является разница в характере распределения атомов в узлах решетки твердого раствора.

Можно думать, что усиление межатомной связи в кристаллах α-фазы после отпуска при 600° обусловливается увеличением степени ближнего порядка. При такой температуре, как 600°, подвижность атомов достаточно велика, и возможны диффузионные перемещения атомов. Следовательно, может протекать процесс перераспределения атомов в решетке однофазного твердого раствора. Этот процесс должен идти в сторону уменьшения сводобной энергии твердого раствора. Если исходное состояние характеризуется малой степенью ближнего порядка, то процесс пойдет в сторону повышения степени порядка. При этом внутренняя энергия будет понижаться за счет увеличения числа пар более сильно взаимодействую-

щих между собой атомов. Силы связи в решетке кристалла твердого раствора будут в среднем возрастать, амплитуды тепловых колебаний уменьшаться.

Такое усиление связи наблюдалось уже в работе ([14]) в результате выдержки при 500 и 600° быстро охлажденного от высокой температуры твердого раствора титана и алюминия в нихроме. Очевидно, закалкой фиксировалось распределение атомов с малой степенью ближнего порядка, соответствующей высокой температуре. Выдержка при 500—600°, при которой подвижность атомов становилась заметной, приводила, повидимому, к повышению степени ближнего порядка, так как равновесная степень порядка тем выше, чем ниже температура.

Уменьшение сил связи в решетке твердого раствора в результате пластической деформации впервые наблюдалось в сплаве железа с хромом ([5]). Характеристическая температура, измеренная рентгенографически, для отпущенного α-твердого раствора железа с 8% хрома оказалась равной 570° против 430° для нелегированного α-железа. После пластической деформации α-твердого раствора характеристическая температура падала до 430°. Такое же влияние оказывает пластическая деформация и в исследованном в настоящей работе сплаве железа с 4% Ni.

Можно предположить, что понижение сил связи обусловливается нарушением ближнего порядка при пластической деформации.

В работе ([12]) было найдено повышение электросопротивления закаленных сплавов $FeNi_3$, содержащих более 1% Mo, в результате отпуска при температурах ниже 550°. Это объяснялось авторами возникновением внутри твердого раствора комплексов атомов различного сорта, что соответствует повышению степени ближнего порядка, о котором шла речь выше. Пластическая деформация приводила к уменьшению электросопротивления, что объяснялось авторами разрушением комплексов.

Таким образом, имеющиеся данные позволяют заключить, что пластическая деформация вызывает нарушение не только дальнего, но и ближнего порядка. Так как эффект усиления связи, вызванной введением в раствор легирующего элемента, почти полностью исчезает после сильной холодной пластической деформации, то можно заключить, что степень ближнего порядка в распределении атомов приближается к нулю ([13]).

Если это так, то отсюда вытекает важный вывод о механизме пластической деформации. Исчезновение ближнего порядка указывает на участие в процессе пластической деформации практически всех атомов, т. е. всего объема металла. Перемещения атомов происходят не только по границам пластинок скольжения или по границам блоков, но и внутри блоков. Изменение формы при пластической деформации не есть тогда результат смещения одних объемов относительно других, а является результатом атомных перемещений во всем объеме. Поэтому дальнейшее изучение вопроса о распределении атомов в твердом растворе и об его изменениях при пластической деформации является важным для понимания механизма пластической деформации.

Как показывает табл. 1, исчезновение эффекта усиления связи может происходить и в результате закалки. Обусловливается ли это более хаотическим распределением атомов при высокой температуре или является результатом процессов, сопровождающих мартенситное превращение, должны установить детальные исследования.

Полученные в настоящей работе экспериментальные данные позволяют заключить, что силы связи в решетке твердого раствора зависят не только от природы, но и от характера распределения атомов. Так как равновесное распределение атомов в твердом растворе зависит от температуры, то свойства однофазных твердых растворов можно, следователь-

но, изменять при помощи термообработки, при которой не происходят фазовые превращения.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии

Поступило
23 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. В. Курдюмов, В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Л. И. Лысак, Изв. АН СССР, сер. физ., **17**, № 3, 297 (1953). [2] В. И. Иверонова, З. И. Кузьмина, С. И. Футергендлер, Е. И. Детлаф, Изв. АН СССР, сер. физ., **15**, 44 (1951). [3] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, ДАН, **85**, 773 (1952). [4] Г. В. Курдюмов, В. К. Крицкая, Н. М. Нодиа, Проблемы металлургии, Изд. АН СССР, 1953, стр. 117; ЖТФ, **25**, № 2 (1955). [5] В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, Т. И. Стеллецкая, ДАН, **98**, 63 (1954). [6] Н. С. Рысина, Б. Н. Финкельштейн, ДАН, **98**, 215 (1954). [7] Г. В. Курдюмов, Н. Т. Травина, ДАН, **99**, № 1 (1954). [8] В. И. Иверонова, А. А. Кацнельсон, ДАН, **99**, № 3, 391 (1955). [9] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, ДАН, **100**, № 1 (1955). [10] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, Проблемы металловед. и физ. металлов, № 2, 222 (1951). [11] В. А. Ильина, В. К. Крицкая, ДАН, **87**, 107 (1952). [12] В. Г. Лившиц, М. П. Равдель, ДАН, **93**, 1033 (1953). [13] А. Г. Лесник, Вопросы физики металлов и металловедения, № 5, 104, Изд. АН УССР (1954). [14] Г. В. Курдюмов, Н. Т. Травина, ЖТФ, **25**, № 2 (1955).