

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. И. АРХАРОВ

**О СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРОМ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ
РЕШЕТКИ АУСТЕНИТА И НАЧАЛОМ МАРТЕНСИТНОГО
ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДНЫХ СПЛАВАХ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 8 XII 1949)

В. Д. Садовский и М. В. Якутович (1) обратили внимание на то обстоятельство, что во всех углеродистых сталях с различным содержанием углерода при температуре начала мартенситного превращения (свойственной каждой стали) параметр решетки аустенита оказывается одинаковым. Это «критическое» значение параметра было найдено равным 3,607 Å.

Отсюда были сделаны выводы о том, что: 1) эффект изменения размеров решетки, связанного с изменением температуры, равнозначен эффекту аналогичного изменения, вызванного растворением углерода, и 2) начало мартенситного превращения соответствует достижению некоторого критического значения удельного объема.

Этому обстоятельству необходимо дать более углубленную интерпретацию с точки зрения кристаллогеометрических соотношений, выполняющихся при мартенситном превращении аустенита.

Предварительно следует отметить, что постоянство «критического» значения параметра решетки аустенита получается, если для зависимости мартенситной точки (T_m) от содержания углерода в стали пользоваться экспериментальными данными Гренингера. Если же пользоваться данными ряда других авторов (2), то «критическое» значение параметра аустенита ($a_{кр}$) несколько возрастает с содержанием углерода. В табл. 1 приведены соответствующие значения для концентраций углерода, рассмотренных в статье Садовского и Якутовича (1). Тем не менее, основное содержание их выводов сохраняет силу.

При превращении аустенита в мартенсит упорядоченная перестройка кристаллической решетки происходит согласно закономерности, открытой Г. В. Курдюмовым и Г. Заксом (3). Она заключается в сохранении взаимной параллельности кристаллографических плоскостей (111) аустенита и (101) мартенсита, а также кристаллографических направлений $[101]$ аустенита и $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ мартенсита.

Можно полагать, что при перестройке один атом, сидящий в некотором узле решетки аустенита, остается неподвижным, а его соседи на-

Таблица 1

Содержание углерода в стали в %	T_m в °C	$a_{кр}$ по данным (1) в Å
0,33	340	3,600
0,57	280	3,602
0,82	220	3,605
1,16	170	3,610
1,52	100	3,614

чинают смещаться, стремясь создать новую конфигурацию (решетку мартенсита).

При этом все атомы, сидящие в узлах, расположенных в плоскости (111) аустенита, в которой находится и начальный, неподвижный атом, смещаются в той же самой плоскости; кристаллографическая сетка, свойственная плоскости (111) аустенита, преобразуется в сетку (101) мартенсита. Атомы, расположенные в аустените вне этой, первой плоскости, смещаются подобно сидящим в первой плоскости, но кроме того, каждая сетка в системе плоскостей (111) аустенита, сохраняя параллельность первой плоскости, смещается как целое относительно последней.

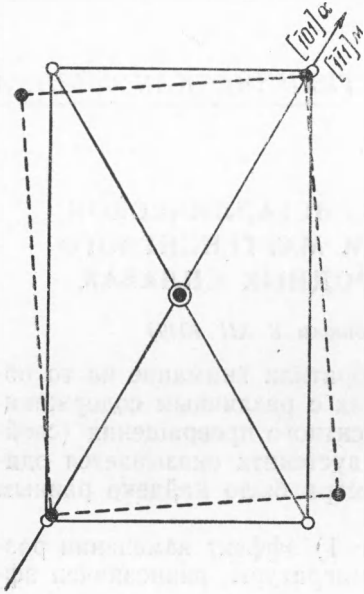


Рис. 1

Таким образом, основным геометрическим элементом, определяющим механизм перестройки, является сочетание двух начальных ячеек плоских кристаллографических сеток (111) аустенита и (101) мартенсита. Это сочетание представлено на рис. 1, где сплошными линиями и светлыми кружками изображена ячейка сетки (111) аустенита, пунктирными линиями и черными кружками — ячейка сетки (101) мартенсита, образующаяся из первой при перестройке. Атом, сидящий в центре этих ячеек, остается несмещенным. Диагональ ячейки сетки, имеющая направление $[101]$ в решетке аустенита, оставаясь неподвижной, пре-

вращается в диагональ ячейки сетки мартенсита, в решетке которого она получает индексы $[111]$.

Атомы, сидящие вдоль этого направления, как видно из схемы, смещаются очень незначительно. Очевидно, чем меньше это смещение, тем легче осуществляется перестройка. Поэтому его величину можно рассматривать как критерий возможности осуществления перестройки: разность диагоналей ячеек сеток (111) аустенита и (101) мартенсита не должна превышать некоторой критической величины, чтобы перестройка могла начать осуществляться.

Имеющиеся в литературе (4) данные о параметрах решетки мартенсита относятся к комнатной температуре. Данных об их температурной зависимости не имеется. С большой вероятностью можно считать, что коэффициент термического расширения в решетке мартенсита близок к макроскопически измеренному коэффициенту для железа и углеродистой стали.

С другой стороны, на основании данных, использованных Садовским и Якутовичем, можно определить коэффициент термического расширения аустенита. Для всех содержаний углерода этот коэффициент получается равным $2,67 \cdot 10^{-5}$ с колебаниями для разных содержаний углерода во втором знаке после запятой.

Для α фазы этот коэффициент имеет значения, указанные в табл. 2 и заимствованные, частично с интерполяцией, из (5).

Таблица 2

Содержание углерода в стали в %	Коэффициент термич. расширения для интервала $20^\circ \text{C} - T_m$ $\alpha \cdot 10^5$
0,33	13,5
0,57	12,4
0,82	12,3
1,16	11,0
1,52	10,6

Коэффициент термического расширения мартенсита существенно (в 2—2,5 раза) меньше, чем аустенита. Если экстраполировать на область высоких температур изменение параметров решетки мартенсита, то можно установить, что разность диагоналей ячеек сеток, сопрягающихся при перестройке, имеет большую величину при высоких температурах и уменьшается при охлаждении.

Начало мартенситного превращения можно увязать с достижением критического значения этой разности.

В табл. 3 приводятся данные для расчета этого критерия. Как видно из этой таблицы, критическая разность составляет 1,5—2%; смещение атомов, ближайших к начальному вдоль диагонали, составляет 0,03—0,05 Å*.

Таблица 3

Содержание углерода в стали в %	Размеры элемент. ячейки мартенсита при комнатной т-ре в Å			Т-ра начала мартенситного превращения T_M в °C	Диагональ ячейки сетки (101) мартенсита при т-ре T_M в Å	Диагональ ячейки сетки (111) аустенита при т-ре T_M в Å	$\Delta D = D_a - D_m$ в Å	$\epsilon = \frac{\Delta D}{D_a} \cdot 100$
	Ребра элемент. ячейки		Диагональ ячейки сетки (101) D					
	a	c						
0,33	2,856	2,899	4,972	340	4,993	5,090	0,097	1,90
0,57	2,853	2,927	4,985	280	5,000	5,093	0,093	1,83
0,82	2,849	2,958	4,998	220	5,010	5,097	0,087	1,70
1,16	2,845	2,998	5,016	170	5,024	5,105	0,081	1,57
1,52	2,843	3,041	5,041	100	5,045	5,110	0,065	1,27

Эта величина, очевидно, в достаточной мере понижена (в процессе охлаждения), чтобы подобные смещения вдоль диагонали сетки могли осуществиться флуктуационным путем, создавая достаточно большой «зародыш» новой фазы и инициируя этим мартенситное превращение.

Из табл. 3 видно, что критическое значение ΔD несколько уменьшается с увеличением концентрации углерода в стали. Для объяснения этого хода можно предположить, что углерод в аустените затрудняет смещения атомов железа; поэтому при увеличении концентрации углерода потребно большее сближение размеров диагоналей сопрягающихся сеток для возможности начала перестройки.

Это представление согласуется с общим характером кинетики превращения. Оно начинается в местах, обедненных углеродом, где оно в наименьшей степени им тормозится, где, следовательно, оно возможно при большем значении ΔD , т. е. при более высокой температуре, чем в участках, обогащенных углеродом. При данной температуре превращение осуществляется в тех участках, где пониженная концентрация углерода позволяет происходить перестройке при значении ΔD , соответствующем этой температуре; затем превращение задерживается, так как в остающихся неперестроенными участках аустенита несколько повышенная концентрация углерода требует меньшего значения ΔD . Снижение ΔD при дальнейшем понижении температуры позволяет произойти перестройке последовательно в участках со все большей концентрацией углерода.

* Если пользоваться данными Гренингера о температурах начала мартенситного превращения, как это сделали Садовский и Якутович, и принять постоянство «критического» значения параметра аустенита, то значения ΔD получатся приблизительно такие же, но сильнее зависящие от содержания углерода; например, для 0,33% С $D = 2,00\%$, для 1,52% С $D = 1,16\%$.

Эта картина полностью согласуется с представлениями, развитыми Г. В. Курдюмовым ⁽⁶⁾ на основе температурного хода упругости аустенита с неравномерным распределением углерода; в нашей картине несколько подробнее освещается геометрическая сторона процесса мартенситного превращения.

Разрыв когерентности между решетками обеих фаз (остановка роста мартенситной иглы) при более высоких температурах происходит легче, чем при более низких, не только благодаря пониженной упругости среды, но и вследствие большего различия размеров сопрягающихся конфигураций атомов.

Результаты более углубленного анализа кристалло-геометрических соотношений при мартенситном превращении, в частности, освещающие вопрос о размерах и форме мартенситных образований в микроструктуре стали, будут сообщены в другой статье.

Институт физики металлов
Уральского филиала
Академии наук СССР

Поступило
7 XII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Д. Садовский и М. В. Якутович, ДАН, 57, 369 (1947). ² См. сводку в книге А. П. Гуляева «Металловедение», М., 1948, стр. 211. ³ Г. В. Курдюмов и Г. Закс, Вестн. металлопром., № 9—10 (1930); Zs. f. Phys., 64, 325 (1930). ⁴ Справ. «Свойства металлов и сплавов», 1949, стр. 534—537. ⁵ Г. В. Курдюмов, ДАН, 60, 1543 (1948); ЖТФ, 18, 999 (1948).