

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ю. А. БАГАРЯЦКИЙ

ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ РАСПАДА МАРТЕНСИТА

(Представлено академиком И. П. Бардиным 8 VI 1950)

В недавней работе М. П. Арбузова⁽¹⁾ было установлено, что на ранних стадиях отпуска углеродистой стали выделения карбида отличаются от стабильного карбида при высокотемпературном отпуске лишь малостью частиц выделений и, возможно, органической связью их с матрицей. Такая органическая связь двух фаз может существовать только в том случае, если существует возможность непрерывного перехода одной кристаллической структуры в другую или, как говорят, возможна „когерентность“ решеток. Установление возможности — с точки зрения структуры обеих фаз — такого непрерывного перехода одной фазы в другую дало бы косвенное подтверждение правильности данных М. П. Арбузова об отсутствии промежуточного карбида Fe_xC , установленного в ранних работах⁽²⁾, и, кроме того, позволило бы пролить некоторый свет на механизм образования карбида при отпуске стали.

До сих пор не удавалось найти простого соответствия между структурами мартенсита и цементита^(3,4). В работе И. В. Исаичева⁽⁵⁾ указывалось на сходство атомных плоскостей $(110)_M$ и $(103)_C$, расположенных параллельно; механизм перестройки при этом не рассматривался. В⁽⁴⁾ предполагаемый механизм перестройки настолько сложен, что реальность его мало вероятна. Мы вновь рассмотрели этот вопрос и нашли, что соответствие между обеими структурами может быть найдено, и что соответствующий механизм перестройки сравнительно прост.

Если рассмотреть структуру цементита^(6,7,8), то из проекции на плоскость $(a \times b)$ видно, что атомы железа располагаются вблизи плоскостей (100) на высоте $\frac{3}{4}a$ и $\frac{1}{4}a$ по a с отклонениями, не превышающими $\frac{1}{6}$ межплоскостного расстояния (рис. 1 A). Из проекции же структуры цементита на плоскость $(b \times c)$ видно (рис. 1 B), что в области между плоскостями симметрии L атомы железа располагаются так же, как в плоскостях (101) мартенсита (рис. 2). Такое соответствие и близость соответствующих межплоскостных расстояний позволяет непрерывно перейти от структуры мартенсита к структуре цементита в отношении расположения атомов железа. Это сделано на рис. 3.

Рис. 3 в области, обозначенной буквой M , представляет собой проекцию структуры мартенсита на плоскость $(101)_M$, а в области C' — проекцию структуры цементита на плоскость $(100)_C$. Средняя заштрихованная плоскость $(a \times D)$ рис. 2 совмещена при этом плоскостью (100) цементита на высоте $\frac{3}{4}a$ по a . Атомы железа, лежащие точно в этой плоскости (в области M), обозначены большими круж-

ками, а лежащие приблизительно в этой плоскости (в области $\text{Ц}'$) — кружками с хвостиками. Верхняя и нижняя заштрихованные плоскости рис. 2 совмещены с плоскостями (100) цементита на высоте $1\frac{1}{4}$ и $\frac{1}{4}$ по a соответственно; атомы железа в этих плоскостях обозначены малыми кружками.

Переходная область П является общей как структуре мартенсита, так и структуре цементита, — таким образом, осуществляется непрерывный переход одной структуры в другую по направлению [121] m . В области M возможные положения атомов углерода над плоскостью ($a \times D$) обозначены значком +, под ней — *. Решетка мартенсита при этом построении считается псевдокубической, т. е. разность величин осей c и a не учитывается.

Найденная когерентность может быть сохра-

(121) m , по направлению

непрерывно перейти в структуру мартенсита через любое целое число периодов с цементита, для этого необходимо лишь некоторое изменение периодов решетки цементита, а именно:

$$a_u \rightarrow a'_u = \sqrt{2} a_\alpha = 4,05 \text{ \AA} \quad (\text{сжатие } 10\%),$$

$$b_u \rightarrow b'_u = \sqrt{3} a_\alpha = 4,95 \text{ \AA} \quad (\text{сжатие } 20\%),$$

$$c_u \rightarrow c'_u = \sqrt{6} a_\alpha = 7,00 \text{ \AA} \quad (\text{растяжение } 40\%).$$

нена на любом протяжении по плоскостям [121] m структура цементита снова может непрерывно перейти в структуру мартенсита через любое целое число периодов с цементита, для этого необходимо лишь некоторое изменение периодов решетки цементита, а именно:

При учете тетрагональности мартенсита различие между a_u и a'_u и b_u и b'_u несколько уменьшается, для c_u и c'_u возрастает.

Из найденного соответствия решеток вытекает следующий закон взаимной кристаллографической ориентировки цементита и мартенсита: [100] $u \parallel [101] m$, [010] $u \parallel [111] m$, [001] $u \parallel [121] m$. Отсюда, при условии когерентности решеток, для наиболее сильно отражающих плоскостей цементита (103) получается: (103) $u \parallel (011) m$, (103) $u \parallel (110) m$.

* В области $\text{Ц}'$ вверху изображена ячейка цементита по Вестгрену (⁷), внизу — по Хендриксу (⁸). Расположение атомов углерода во втором случае, повидимому, не соответствует действительности (⁹).

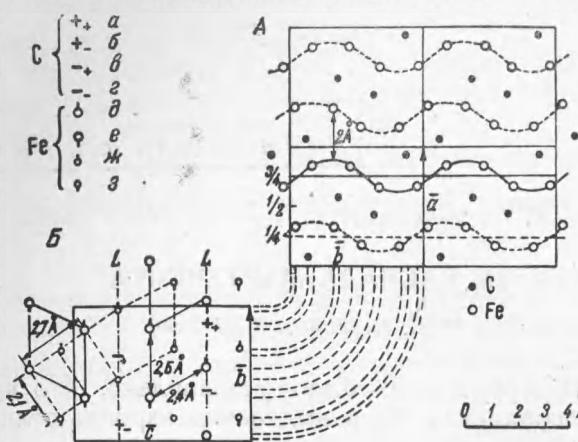


Рис. 1. Структура цементита по Вестгрену (⁷). На проекции B высоты расположения атомов по a : 1) для атомов углерода $a 1+0,07$, $b 1-0,07$, $c \frac{1}{2}+0,07$, $g \frac{1}{2}-0,07$; 2) для атомов железа $d \frac{3}{4}+0,08$, $e \frac{3}{4}-0,08$, $f \frac{1}{4}+0,08$, $z \frac{1}{4}-0,08$

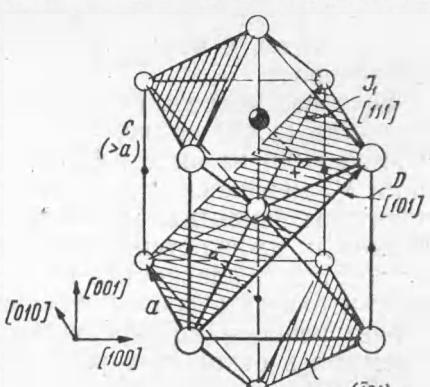


Рис. 2. Ячейка мартенсита

Экспериментальное определение ориентировки цементита проводилось М. П. Арбузовым и Г. В. Курдюмовым⁽⁸⁾ и И. В. Исаичевым⁽⁵⁾ для стадии высокотемпературного отпуска. И. В. Исаичев подтвердил и несколько уточнил закон ориентировки, найденный в⁽⁸⁾; он нашел, что $(103) Fe_3C \parallel (011) \alpha$, а $[010] Fe_3C \parallel [111] \alpha$, т. е. в точности тот же закон, который найден нами из условия когерентности решеток.

Механизм перестройки структуры мартенсита в структуру цементита при низкотемпературном отпуске на основании полученных соотношений может быть представлен как: а) „двойникование“ решетки мартенсита по плоскостям (121) пачками толщиной $\frac{1}{2} I_{[121]}$, б) переме-

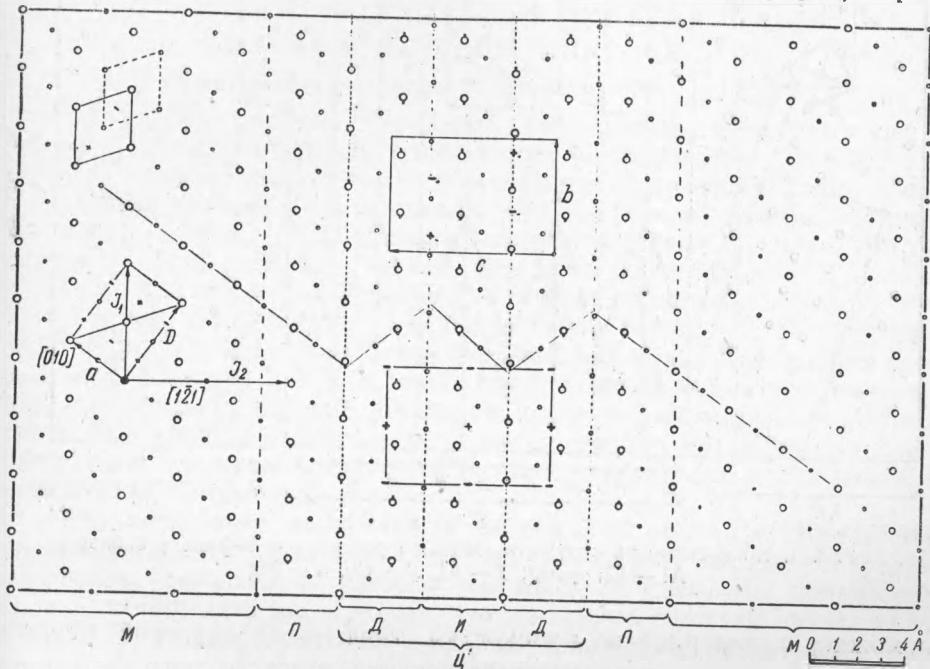


Рис. 3. Когерентность структур мартенсита и цементита

щение атомов углерода к плоскостям „двойникования“ и в) вызванное этим некоторое „коробление“ атомных плоскостей $(b \times c)$ (ср. рис. 1A). Все эти процессы не требуют перемещений атомов железа, превышающих величину межатомного расстояния.

Аналогичное соответствие между структурой твердого раствора и когерентной с ним фазы выделения может быть установлено и для дуралюмина, исходя из найденного нами экспериментально⁽⁹⁾ закона взаимной ориентировки твердого раствора и S-фазы (Al_2CuMg). В этом случае, как и для цементита, структура фазы выделения⁽¹⁰⁾ может быть представлена как чередование областей с расположением атомов, идентичным таковому в твердом растворе (I), и областей „двойниковых“ по отношению к ним (D). Атомы легирующих элементов располагаются снова в плоскостях „двойникования“ (рис. 4). Переходные области (P) могут быть одинаково описаны как в решетке твердого раствора, так и S'-фазы. Чтобы не усложнять рисунка, атомы, лежащие на высоте $\frac{1}{2}$ по a (малые кружки), нанесены на нем только вдоль штриховой линии, подчеркивающей „двойниковый“ характер структуры фазы. Обратный переход структуры S'-фазы в структуру твердого раствора возможен через 5 периодов по c ($c' = \frac{4}{5} I_{[012]} \alpha$). Интересно отметить, что при наличии соответствующего упорядоченного расположения атомов легирующих элементов в решетке твердого

раствора перестройка одной структуры в другую может происходить бездиффузионным путем.

Можно предполагать, что после низкотемпературного отпуска стали рентгенографически на монокристаллах мартенсита должны наблюдаться эффекты двумерной дифракции по направлениям типа [112] и,

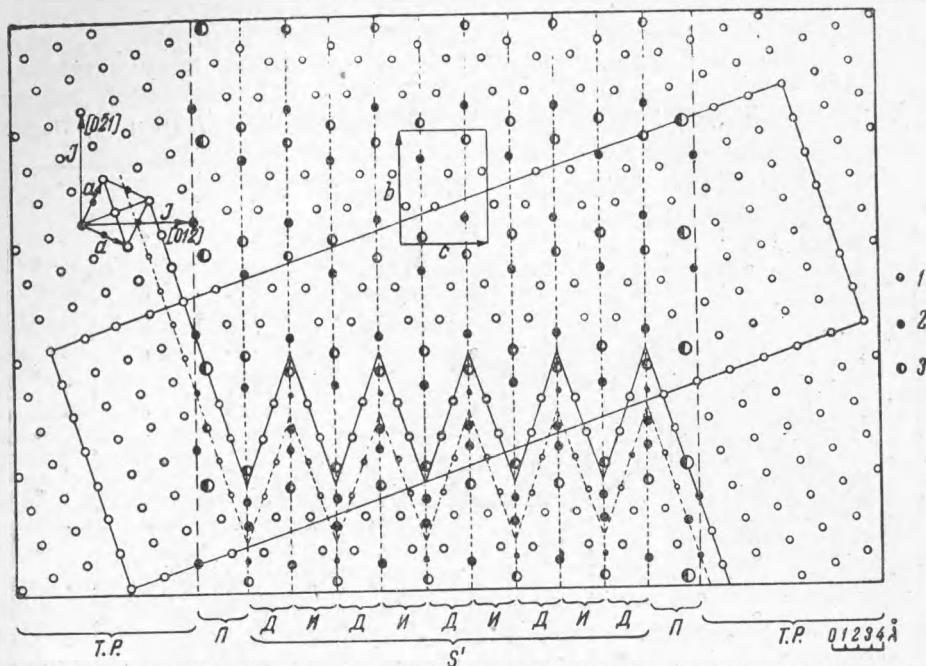


Рис. 4. Когерентность структур твердого раствора и S-фазы в сплаве
Al — Cu — Mg; 1 — Al, 2 — Cu, 3 — Mg

возможно, одномерной по плоскостям типа (110) обратной решетки мартенсита.

Институт металловедения и физики металлов
ЦНИИЧМ

Поступило
8 VI 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. П. Арбузов, ДАН, **73**, № 1 (1950). ² М. П. Арбузов и Г. В. Курдюмов, ЖТФ, **10**, 1093 (1940). ³ H. Lipson and N. Petch, Journ. Iron and Steel Inst., **142**, 95 (1940). ⁴ W. Nutte-Rothery, G. Reynolds and A. Little, ibid., **145**, 143 (1942). ⁵ И. В. Исаичев, ЖТФ, **17**, 835 (1947). ⁶ S. Hendricks, Zs. f. Kristallographie, **74**, 534 (1930). ⁷ A. Westgren, Jernkontorets Ann., **87**, 457 (1932). ⁸ М. П. Арбузов и Г. В. Курдюмов, ЖТФ, **11**, 412 (1941). ⁹ Ю. А. Багаряцкий, ЖТФ, **20**, 424 (1950). ¹⁰ W. Perlitz and A. Westgren, Ark. f. Kemi, Mineralogi och Geologi, **16** B, № 13 (1943).