

УДК 669.15 : 548.5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Л. К. МИХАЙЛОВА

О ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ УГЛЕРОДА В МАРТЕНСИТЕ  
НИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ*(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 9 VIII 1973)*

Упорядоченное распределение атомов углерода, т. е. размещение их в одной из трех подрешеток октаэдрических междоузлий централизованной решетки  $\alpha$ -железа, образуется в результате самого механизма ( $\gamma \rightarrow \alpha$ )-перестройки и является термодинамически наиболее устойчивым при абсолютном нуле температуры (<sup>1-4</sup>). Согласно теории, при повышении температуры степень порядка должна уменьшаться и при некоторой температуре  $T_k$  должен происходить фазовый переход первого рода в неупорядоченное состояние с распределением атомов углерода по трем подрешеткам и превращением тетрагональной решетки в кубическую. Температура перехода быстро растет с повышением содержания углерода в твердом растворе. В сталях с содержанием углерода менее 0,5% при комнатной температуре более устойчивым является неупорядоченное распределение атомов углерода в октаэдрических междоузлиях. Однако в нелегированном мартенсите уже во время охлаждения до комнатной температуры (при закалке) успевает пройти в значительной мере процесс распада твердого раствора, что может быть причиной невозможности наблюдения кубического мартенсита в этих сталях. В легированных сталях с мартенситной точкой ниже комнатной с таким же содержанием углерода можно исключить протекание распада и, следовательно, разделить указанные процессы.

В связи с этим для исследования вопроса о возможности наблюдения процесса разупорядочения были выбраны стали Fe — 0,23% C — 30,3% Ni и Fe — 0,40% C — 23,5% Ni с  $M_s$  ниже 0° C, для которых температура  $T_k$  должна быть ниже комнатной, и изучено изменение кристаллической структуры мартенсита в области температур от жидкого азота до комнатной.

Рентгено съемки поликристаллических образцов проводились в низкотемпературной камере УРНТ-180 в Fe-излучении. Образцы закаливались от 1150° в воду и подвергались последующему травлению для удаления обезуглероженного слоя с поверхности.

О характере процессов, протекающих в свежееобразованном мартенсите этих сталей, можно судить по изменению дублета (011) — (110) тетрагональной решетки мартенсита в процессе отогрева образца от температуры жидкого азота до комнатной.

Съемка при температуре жидкого азота показала, что в стали Fe — 0,23% C — 30,3% Ni в результате превращения аустенита образуется тетрагональная решетка мартенсита с аномально высоким значением  $c/a$ , не соответствующим известной зависимости отношения осей от содержания углерода в исходном аустените (<sup>5</sup>). Повышение температуры от —170° при-

водило к уменьшению степени тетрагональности решетки мартенсита. Понижение  $c/a$  становилось заметным уже при  $-100^\circ$  и наблюдалось до температур  $-60 \div -50^\circ \text{C}$ . При нагреве выше этой температуры отношение осей вновь начинало возрастать и при комнатной температуре восстанавливалось почти до исходного значения (рис. 1).

Уменьшение отношения осей  $c/a$  обусловлено увеличением параметра « $a$ » тетрагональной решетки, о чем свидетельствует смещение линии  $(110)$  в сторону меньших углов отражения. При этом одновременно уменьшается значение параметра « $c$ », так как положение линии  $(011)$  мартенсита остается практически неизменным. В табл. 1 приведены рассчитанные по рентгенограммам значения  $c/a$  и периода « $a$ » решетки мартенсита для сталей Fe — 0,23% C — 30,3% Ni.

Наблюдаемое в исследованных сталях уменьшение отношения осей тетрагональной решетки мартенсита ниже  $-60^\circ$  является, по-видимому, следствием частичного разупорядочения в расположении атомов углерода в решетке  $\alpha$ -твердого раствора. Следует заметить, что упомянутая выше зависимость критической температуры  $T_k$  разупорядочения от концентрации углерода относится к случаю, когда в исходном состоянии атомы углерода распределены статистически в одной подрешетке, что имеет место непосредственно после превращения аустенита в мартенсит. Однако статистическое распределение атомов углерода в одной подрешетке оказывается неустойчивым. В области температур достаточной подвижности атомов углерода происходит установление ближнего расслоения (неоднородного распределения атомов углерода). Это показано экспериментально и теоретически по появлению характерного диффузного рассеяния с тетрагональной симметрией (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>). Отношение осей  $c/a$  при этом не уменьшается. Процесс наблюдается выше  $-60^\circ \text{C}$  и происходит в течение нескольких минут при комнатной температуре (<sup>7</sup>). Установление ближнего расслоения приводит, как показано теоретическими расчетами А. Г. Хачатуряна, к стабилизации состояния твердого раствора с преимущественным заполнением атомами углерода одной подрешетки и к повышению критической температуры разупорядочения, т. е. перехода в кубический мартенсит.

Исходя из этих представлений, описанное выше поведение мартенсита (понижение  $c/a$  при нагреве до  $-50^\circ$  и последующее его увеличение)

можно объяснить следующим образом. При нагреве мартенсита со статистическим распределением атомов углерода в одной подрешетке начинается (при  $-100^\circ$ ) частичный переход атомов углерода в другие подрешетки, вызывающий понижение  $c/a$ . Однако одновременно протекает более медленный процесс установления ближнего расслоения в основной подрешетке, что приводит к повышению  $T_k$  для данного состава.

В связи с этим начавшийся процесс разупорядочения затормаживается и при дальнейшем повышении температуры происходит обратный переход атомов углерода в основную подрешетку октаэдрических междоузлий, отвечающий более равновесному состоянию твердого раствора с ближним расслоением.

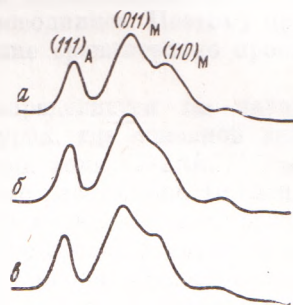


Рис. 1. Изменение степени тетрагональности решетки мартенсита стали Fe — 0,23% C — 30,3% Ni в зависимости от температуры: а —  $T = -170^\circ$ , б —  $T = -50^\circ$ , в —  $T = 20^\circ \text{C}$

Таблица 1

Температура, $^\circ \text{C}$	$a$ , Å	$c/a$
$-170$	2,842	1,025
$-50$	2,851	1,014
$+20$	2,847	1,018

Автор выражает глубокую благодарность акад. Г. В. Курдюмову и А. Г. Хачатуряну за обсуждение постановки задачи и результатов работы.

Институт металловедения и физики металлов  
Центрального научно-исследовательского  
института черной металлургии им. И. П. Бардина  
Москва

Поступило  
7 VIII 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> C. Zener, Phys. Rev., v. 74, 639 (1948). <sup>2</sup> А. Г. Хачатурян, ФТТ, т. 2, 2861 (1967). <sup>3</sup> А. Г. Хачатурян, Г. А. Шаталов, Физ. мет. и металловед., т. 32, 5 (1971). <sup>4</sup> G. V. Kurdjumov, A. G. Khachaturyan, Met. Trans., v. 3, 1069 (1972). <sup>5</sup> В. И. Изотов, Л. М. Утевский, Физ. мет. и металловед., т. 25, 98 (1968). <sup>6</sup> А. Г. Хачатурян, Т. А. Онисимова, Там же, т. 26, 973 (1968). <sup>7</sup> Г. В. Курдюмов, А. В. Суязов, М. П. Усиков, ДАН, т. 195, 595 (1970). <sup>8</sup> Г. В. Курдюмов, Л. К. Михайлова, А. Г. Хачатурян, ДАН, т. 215, № 3, 578 (1974).