

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 центрированной решетки α -железа, образуется в результате самого механизма ($\gamma \rightarrow \alpha$)-перестройки и является термодинамически наиболее устойчивым при абсолютном нуле температуры ($^{1-4}$). 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.

Рентгеносъемки 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 свежеобразованном 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 (8). Повышение температуры от —170° при-

водило к уменьшению степени тетрагональности решетки мартенсита. Понижение c/a становилось заметным уже при -100° и наблюдалось до температур $-60\text{--}50^\circ\text{C}$. 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 стали Fe — 0,23% C — 30,3% Ni.

Наблюдаемое в исследованных сталях уменьшение отношения осей тетрагональной решетки мартенсита ниже -60° является, по-видимому, следствием частичного разупорядочения в расположении атомов углерода в решетке α -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 (^{5, 6}). Отношение осей c/a при этом не уменьшается. Процесс наблюдается выше -60°C и происходит в течение нескольких минут при комнатной температуре (⁷). Установление ближнего расслоения приводит, как показано теоретическими расчетами А. Г. Хачатурияна, 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° и последующее его увеличение) можно объяснить следующим образом.

При нагреве мартенсита со статистическим распределением атомов углерода в одной подрешетке начинается (при -100°) 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 соста-

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

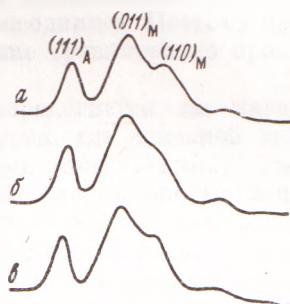


Рис. 1. Изменение степени тетрагональности решетки мартенсита стали Fe — 0,23% C — 30,3% Ni в зависимости от температуры: *a* — $T = -170^\circ$, *b* — $T = -50^\circ$, *c* — $T = 20^\circ\text{C}$

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. Хачатуриану 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

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