

УДК 548.526+536.425

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. К. КРИЦКАЯ, академик Г. В. КУРДЮМОВ, А. В. НАРХОВ

АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ (УВЕЛИЧЕНИЕ) ТЕТРАГОНАЛЬНОСТИ РЕШЕТКИ ОБЛУЧЕННОГО МАРТЕНСИТА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТПУСКЕ

В облученном Fe — C твердом растворе были обнаружены обратимые процессы перераспределения углерода (разупорядочение — упорядочение), приводящие к аномальным изменениям кристаллической структуры мартенсита (¹⁻⁴). Облучение вызывало уменьшение тетрагональности решетки мартенсита, однако это изменение тетрагональности не оставалось необратимым, как в случае отпуска или холодной пластической деформации

необлученной закаленной стали. Наблюдение за состоянием облученного мартенсита показало, что с течением времени при комнатной температуре происходит увеличение степени тетрагональности решетки (рост отношения c/a) — явление, не свойственное необлученной углеродистой стали (¹⁻⁵).

Было установлено (^{1, 2}), что восстановление тетрагональности в облученном мартенсите при комнатной температуре идет относительно медленно (рис. 1). Можно было предположить, что процесс восстановления упорядоченного распределения атомов углерода будет протекать быстрее при температурах выше комнатной, однако недостаточно высоких для того, чтобы при этом происходил заметный распад твердого раствора. В пользу такого предположения свидетельствовал (хотя и косвенно) обнаруженный нами ранее эффект увеличения тетрагональности мартенсита при химическом травлении поверхности облученного образца, обусловленный, по-видимому, нагревом образца в процессе травления.

Рис. 1. Восстановление при комнатной температуре тетрагональности решетки облученного мартенсита углеродистой стали У-10: 1 — исходное состояние (закаленная, необлученная сталь); 2 — после электронного облучения; 3 — отпуск при 20°, 40 дней; 4 — отпуск при 20°, 10 месяцев

С целью выяснения этого был проведен следующий эксперимент: необлученные и облученные электронами ($E = 2.5-3$ Мэв, доза $\sim 10^{19}$ эл.см⁻²) образцы закаленной стали У-10, размером $7 \times 7 \times 2$ мм³, нагревались одновременно в течение 30 мин. при различных температурах от 60 до 125°С. После каждого нагрева с этих образцов снимались рентгенограммы (линии тетрагонального дублета 011 и 110); рентгено съемка проводилась в Fe-излучении на установке УРС-50И.

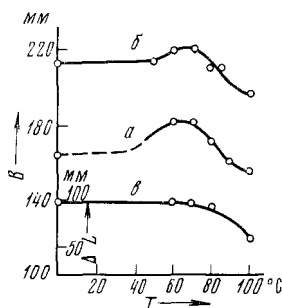
Изучались и сопоставлялись изменения интерференционной картины от облученных и необлученных образцов, прошедших одинаковую термообработку.

Сравнение рентгенограмм показало, что рентгеновская интерференционная картина на них существенно различна. В результате облучения в сильной степени уменьшается тетрагональность решетки мартенсита,

причем величина эффекта изменения тетрагональности не одинакова для противоположных сторон облученного образца и больше для стороны, обращенной к источнику электронов, что объясняется градиентом плотности радиационных дефектов в образце ⁽²⁾.

Уменьшение тетрагональности в обоих случаях, как показано в работах ⁽¹⁻⁴⁾, обусловлено не отпуском мартенсита, а изменением под действием облучения распределения в нем углерода (переходом от упорядочен-

Рис. 2. Изменение тетрагональности решетки облученного мартенсита (B — ширина рентгеновской линии, ΔL — междублетное расстояние) в зависимости от температуры отпуска: a, b — облученный (a — облучаемая, b — противоположная сторона); c — необлученный



ного распределения к неупорядоченному). Последующий отпуск исследованных образцов в течение 30 мин. по-разному повлиял на состояние кристаллической структуры этих образцов: тетрагональность решетки мартенсита необлученной закаленной стали после отпуска при 60—70° С практически не изменилась, в то время как в облученных образцах такой отпуск вызвал заметное увеличение тетрагональности. Дальнейшее повышение температуры отпуска (80—100° С) приводило уже к одинаковому по характеру эффекту: тетрагональность всех трех образцов понижалась.

На рис. 2 представлены изменения ширины линий B и междублетного расстояния ΔL , определенные по микрофотограммам.

Обнаруженное увеличение степени тетрагональности решетки облученного мартенсита при отпуске (60, 70° С) указывало на повышение степени порядка в расположении атомов углерода в твердом растворе. Как упоминалось выше, аналогичное явление имело место и при комнатной температуре, но для получения одинакового по величине эффекта повышения тетрагональности в случае отпуска при ~70° С требуется всего 30 мин., а при 20° С — несколько месяцев ⁽²⁾.

Роль травления в повышении степени тетрагональности облученного мартенсита сводится, очевидно, к повышению температуры образца при травлении, ускоряющем процесс упорядочения. Неожиданным было повышение степени тетрагональности, обнаруженное после химического травления отпущенного при 100° С облученного образца.

Тот факт, что даже после отпуска облученного образца при 100° С последующее травление вызвало повышение тетрагональности решетки мартенсита (в необлученном образце этого не произошло), указывает на существенное различие состояний мартенсита в облученном и необлученном образцах. В первом случае отпуск при 100° С приводит к нормальному распаду α -твердого раствора (необратимый процесс), а во втором, возможно, к перераспределению углерода в сторону снижения порядка без существенного изменения концентрации твердого раствора. Последующий нагрев исследованных образцов при 125° С в течение 30 мин. резко снижает тетрагональность мартенсита примерно в одинаковой степени для всех трех состояний.

Полученные результаты показали возможность ускорения процесса перехода углерода в решетке облученного мартенсита от неупорядоченного распределения к упорядоченному в результате нагрева при относительно низких температурах (60—70° С).

Данные настоящей работы, как и результаты работ (¹⁻⁴), свидетельствуют о важной роли радиационных точечных дефектов и существенном их влиянии на характер процессов перераспределения углерода в решетке мартенсита.

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

Поступило
6 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. К. Крицкая, В. А. Ильина, ДАН, 185, № 6 (1969). ² В. К. Крицкая, В. А. Ильина, Л. Н. Быстров, ДАН, 186, № 1 (1969). ³ В. К. Крицкая, А. В. Нархов, Физ. мет. и металловед., 29, 1293 (1970). ⁴ В. К. Крицкая, Не-
совершенства кристаллического строения и мартенситные превращения, 1972, стр. 94.
⁵ Г. В. Курдюмов, Явления закалки и отпуска стали, 1960.