

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

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ НА ПРОЦЕССЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТПУСКА МАРТЕНСИТА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Ранее (¹⁻⁷) сообщалось, что облучение углеродистой стали быстрыми нейтронами, электронами или жесткими γ -квантами приводит к возникновению новых, необычных состояний мартенсита. Параметры тетрагональной решетки облученного мартенсита имеют аномальные значения и могут изменяться обратимым образом при относительно низких температурах. В связи с этим можно было предположить, что и процессы отпуска в облученном мартенсита будут иметь свои особенности, обусловленные изменением в состоянии углерода в α -твердом растворе. В пользу такого предположения говорили данные работы (⁸), в которой было установлено, что нагрев облученного мартенсита стали У-10 при температурах 60—80° приводит к аномальному изменению (повышению) тетрагональности решетки (к росту отношения осей c/a). Эффект необычный и никогда не наблюдавшийся в необлученной углеродистой стали (⁹).

Нами изучались процессы отпуска облученного мартенсита при комнатной температуре. Исследовались образцы закаленной стали У-10, облученные быстрыми электронами и нейтронами. Облучение электронами велось при комнатной температуре на линейном ускорителе; энергия электронов 2,5—3 Мэв, интегральная доза 10^{18} — 10^{19} эл/см².

Нейтронное облучение проводилось моноэнергетическим пучком нейтронов ($E \cong 15$ Мэв, доза $\sim 10^{15}$ н/см²) также при комнатной температуре.

Методами рентгеноструктурного анализа изучалось состояние кристаллической структуры мартенсита до и после облучения. Рентгеносъемка исследуемых образцов велась фотографическим и ионизационным способом на установке УРС-50И в железном K_{α} -излучении.

Исследовались необлученные и облученные образцы закаленной стали У-10, пролежавшие при комнатной температуре длительное время: 2,5 года и ~ 6 лет.

На рис. 1 помещены рентгенограммы, полученные с образцов, находившихся при комнатной температуре 2,5 года (рис. 1 см. вкл. к стр. 568).

Как нетрудно видеть, при сопоставлении рентгенограмм б и в на рис. 1 обнаруживается заметное различие в интерференционной картине облученного и необлученного мартенсита. Так, на рентгенограмме в, полученной с необлученного образца, линии мартенситного дублета 011 и 110 не разделяются, а образуют практически одну сплошную линию. Это свидетельствует о том, что в необлученном образце за 2,5 года пребывания его при комнатной температуре распад мартенсита достиг уже высокой степени. В облученном же образце (б), находившемся во время отпуска при комнатной температуре в одинаковых условиях с необлученным, распад мартенсита протекал значительно медленнее: об этом говорят еще достаточно хорошо разделенные линии 011 и 110 мартенситного дублета.

Известно (⁹), что величина междублетного расстояния линий мартенсита ΔL (или величина отношения осей тетрагональной решетки c/a) зависит от содержания углерода в α -твердом растворе: большему значению величины ΔL соответствует большее количество углерода в α -твердом растворе (при условии нахождения атомов углерода в октопорах по оси c).

Следовательно, полученные нами данные рентгеноструктурных исследований показывают, что в облученных образцах закаленной стали после длительного отпуска при комнатной температуре содержится в α -твердом растворе значительно больше углерода, чем в необлученных образцах этой же стали, находившихся во время отпуска в одинаковых условиях с облученными.

На рис. 2 приведены дифрактограммы, полученные с этих же образцов стали У-10 (необлученных и облученных электронами), пролежавших при комнатной температуре значительно большее время — около 6 лет. И в этом случае влияние облучения как фактора, снижающего скорость распада мартенсита, проявляется достаточно наглядно: ширина

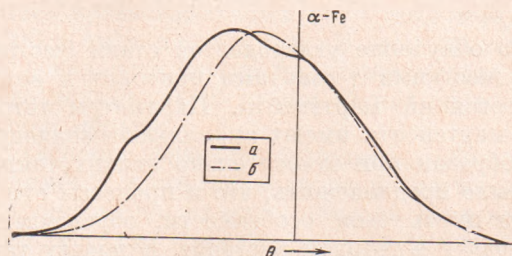


Рис. 2. Дифрактограммы закаленной стали У-10: а — после электронного облучения и последующего отпуска при комнатной температуре в течение 6 лет, б — то же без облучения

мартенситного дублета 011 и 110 в облученном образце (рис. 2, а) заметно больше ширины такого же отражения от необлученного образца (рис. 2, б). Кроме того, на дифрактограмме а еще хорошо различимы два максимума дублетных линий 011_л и 110_л. В необлученном же мартенсите (дифрактограмма б) такого разделения линий 011 и 110 уже не наблюдается, а имеется только одна линия, максимум которой смещен на 15 угловых минут по отношению к положению пика линии 011 облученного мартенсита в сторону больших брэгговских углов. Это значит, что параметр решетки с (характеризующий степень ее тетрагональности) в необлученном мартенсите уменьшился за время отпуска в большей степени, чем в облученном.

Таким образом, различие в скорости распада облученного и необлученного мартенсита было нами обнаружено и на образцах, пролежавших при комнатной температуре ~6 лет. Сопоставление дифрактограмм а и б рис. 2 демонстрирует это достаточно наглядно.

Аналогичные результаты, свидетельствующие о замедлении процессов распада в облученном мартенсите, были получены и при рентгенографическом исследовании образцов закаленной стали У-10, облученной быстрыми нейтронами.

Повышенная стабильность тетрагональной решетки облученного мартенсита при комнатной температуре по сравнению с устойчивостью решетки необлученного мартенсита обусловлена наличием в кристаллической решетке высокой концентрации радиационных точечных дефектов, взаимодействие которых с атомами углерода препятствует уходу последних из α -твердого раствора. Вследствие этого скорость диффузионных перемещений углерода на значительные расстояния (к дислокациям, границам зерен и др.) понижается, уменьшается вероятность образования зародышей карбидов и их роста.

По мере отжига радиационных дефектов (в процессе длительного отпуска при комнатной температуре) скорость распада облученного мартенсита должна повышаться и приближаться к «нормальной» скорости распада, характерной для необлученного мартенсита.

Для этого, однако, как следует из полученных нами данных, длительность отпуска при комнатной температуре должна быть очень большой, поскольку даже после 6 лет степень тетрагональности решетки облученного мартенсита сохранилась еще значительно более высокой, чем в не-

облученном. Из этого можно сделать заключение, что комплексы, образованные радиационными точечными дефектами и атомами углерода в α -твердом растворе весьма устойчивы при комнатной температуре.

Такое стабилизирующее действие облучения на состояние $(\text{Fe}_\alpha - \text{C})$ -твердого раствора может представить и практический интерес.

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

Поступило
6 IV 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. К. Крицкая, В. А. Ильина, ДАН, 185, 1273, (1969). ² В. К. Крицкая, В. А. Ильина, Л. Н. Быстров, ДАН, 186, 89 (1969). ³ В. К. Крицкая, А. В. Нархов, Физ. мет. и металловед., 29, 1293, (1970). ⁴ В. К. Крицкая, Несовершенства кристаллического строения и мартенситные превращения, «Наука», 1972, стр. 94. ⁵ В. К. Крицкая, М. П. Круликовская и др., Физ. мет. и металловед., 34, 502, 1972. ⁶ В. К. Крицкая, А. В. Нархов, Физ. мет. и металловед. (в печати). ⁷ В. К. Крицкая, А. Н. Нархов, Ю. А. Поликарпов, Металловед. и термич. обработка металлов (в печати). ⁸ В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, А. В. Нархов, ДАН, 206, 590 (1972). ⁹ Г. В. Курдюмов, Явление закалки и отпуска стали, 1960; J. Iron and Steel Inst., 195, 26 (1960).