

УДК 548-162:539.16.04

Исследование методом ядерного гамма-резонанса аустенитной стали ЭИ-69, облученной гамма-квантами и быстрыми нейтронами

ВЫЮНИК И. М., ВОЗНЮК П. О., ДУБИНИН В. Н.

Как известно, радиационные дефекты, образованные γ - и нейтронным облучением, влияют на распад аустенита при отпуске стали ЭИ-69 [1,2]. Представляло интерес более детально исследовать состояние аустенита в закаленной стали непосредственно после облучения. С этой целью облученные образцы исследовали методом ЯГР (эффект Мёссбауэра), с помощью которого можно получить дополнительную информацию о радиационных дефектах.

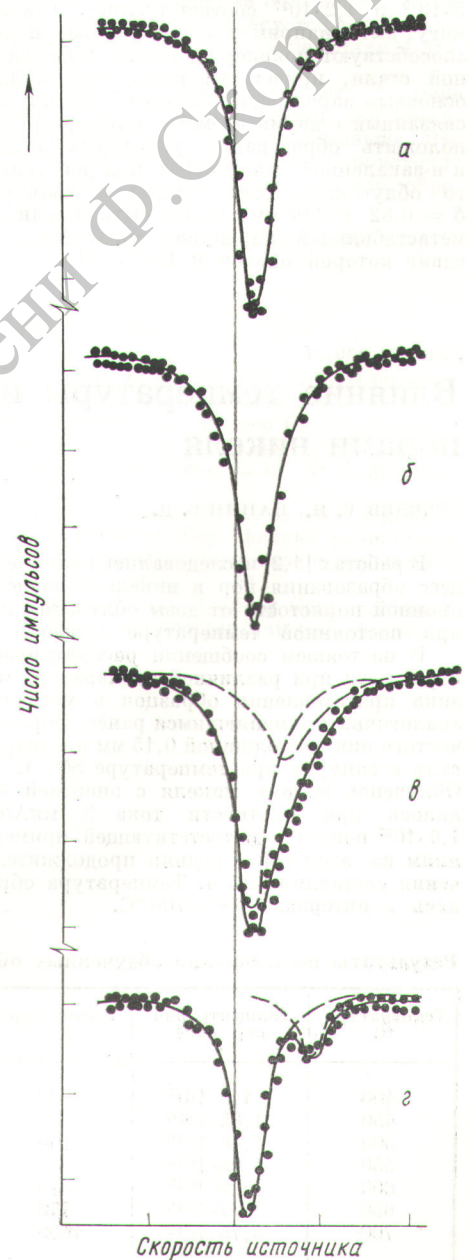
Закаленные поликристаллические образцы стали ЭИ-69 (0,42% С, 13,35% Cr, 13,68% Ni, 2,08% W, 0,33% Mo и 70,14% Fe), имеющей однородный состав (пересыщенный углеродом аустенит), облучали при комнатной температуре γ -квантами с энергией 1,2 МэВ радиоактивного кобальта ^{60}Co (доза облучения $8,8 \cdot 10^{18}$ квант/см²) и быстрыми нейтронами реактора ВВР-М при температуре 60 °С (средний флюенс $3,5 \cdot 10^{18}$ нейтр./см²).

Образцы для исследований методом ядерного γ -резонанса готовили путем электролитического растворения матрицы облученной и необлученной стали. Были получены осадки с большой концентрацией карбидной фазы и других неметаллических фаз высокой дисперсности, которые невозможно наблюдать при помощи рентгеновского дифрактометра. Толщина образцов (поглотителей) составляла $2 \cdot 10^{-4}$ г/см² по ^{57}Fe . Приготовленные образцы исследовали на мёссбауэровском спектрометре электродинамического типа, работающем в режиме постоянного ускорения. Источником γ -излучения служил ^{57}Co в матрице хрома. Источник и поглотитель находились при комнатной температуре.

Результаты исследований методом ЯГР приведены на рисунке. По оси абсцисс отложена скорость источника излучения относительно поглотителя, по оси ординат — число импульсов на канал анализатора. Спектры обрабатывались по методу наименьших квадратов на ЭВМ. Форма линии предполагалась лоренцевой.

В спектре закаленной стали имеется обычная линия аустенита шириной $\Gamma = 0,53 \pm 0,03$ мм/с, сдвинутая на $\delta = 0,21 \pm 0,03$ мм/с по отношению к линии нитропрусида натрия на рисунке (а). В результате γ -облучения происходит, по-видимому, лишь незначительное уширение линии $\Gamma = 0,48 \pm 0,03$ мм/с на рисунке (б). В стали, облученной быстрыми нейтронами, ЯГР-спектр представляет собой асимметричную линию на рисунке (в), являющуюся суперпозицией двух линий (пунктирные кривые): синглета матрицы стали шириной $\Gamma = 0,52 \pm 0,03$ мм/с с $\delta = 0,21 \pm 0,03$ мм/с и линии шириной $\Gamma = 0,76 \pm 0,05$ мм/с, центр которой смещен по отношению к линии нитропрусида натрия на $\delta = 0,62 \pm 0,05$ мм/с.

В результате облучения в закаленной стали ЭИ-69 образуются радиационные дефекты, преобладающая



Спектры поглощения атомов железа:

а — в матрице стали; б, в — в стали, облученной γ -квантами и быстрыми нейтронами соответственно; г — в стали, облученной быстрыми нейтронами и подвергнутой отпуску при 500° С в течение 30 мин

доля атомов железа находится в регулярных, не искаженных дефектами областях кристаллической решетки, поэтому при эксперименте обнаруживается синглет матрицы стали (б, в). Уширение этого синглета может быть связано с концентрационной неоднородностью, вызванной образованием радиационных дефектов в облученном аустените. Появление второй сильно уширенной линии (в) указывает, что часть атомов железа входит в новую фазу, образовавшуюся под воздействием нейтронного облучения.

В закаленной стали ЭИ-69, облученной быстрыми нейтронами, образуется значительно больше дефектов, чем в стали, облученной γ -квантами (в данном случае $5 \cdot 10^{20}$ и $1,2 \cdot 10^{17}$ соответственно). Такими дефектами могут быть, например, скопления вакансий [3], которые способствуют появлению частиц выделений в закаленной стали, причем на начальной стадии облучения основным зародышем выделений является атом железа, связанный с двумя атомами углерода [4]. Можно предположить образование указанных выше выделений и в закаленной стали ЭИ-69 под действием нейтронного облучения. Тогда линия с изомерным сдвигом $\delta = 0,62 \pm 0,05$ мм/с может быть вызвана присутствием метастабильной карбидной фазы Me_mC_n , изомерный сдвиг которой близок к Fe_5C_2 [5].

В результате отпуска при температуре 500 °С в течение 30 мин метастабильная карбидная фаза в стали ЭИ-69, облученной быстрыми нейтронами, переходит в устойчивую фазу $Me_{23}C_6$, о чем свидетельствует появление в спектрах линии с изомерным сдвигом $\delta = 0,96 \pm 0,03$ мм/с (з) [6]. В необлученных образцах выделений карбидной фазы $Me_{23}C$ при данной температуре отпуска не наблюдалось.

Поступило в Редакцию 21/I 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вьюнник И. М., Козенко И. Д., Круликовская М. П. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 3, с. 245.
2. Вьюнник И. М., Круликовская М. П. Препринт КИЯИ-74-18, Киев, 1974.
3. Раецкий В. М., Вотинов С. Н. «Физ. металлов и металловедение», 1970, т. 29, с. 284.
4. Damask A. e.a. «Philos. Mag.», 1970, v. 22, p. 549.
5. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. М., «Мир», 1970, с. 164.
6. Вознюк П. О., Вьюнник И. М., Дубинин В. Н. «Физ. металлов и металловедение», 1973, т. 36, с. 1310.

УДК 621.039.51

Влияние температуры на пористость в никеле при облучении ионами никеля

ЛЕБЕДЕВ С. Я., ПАНИН С. Д.

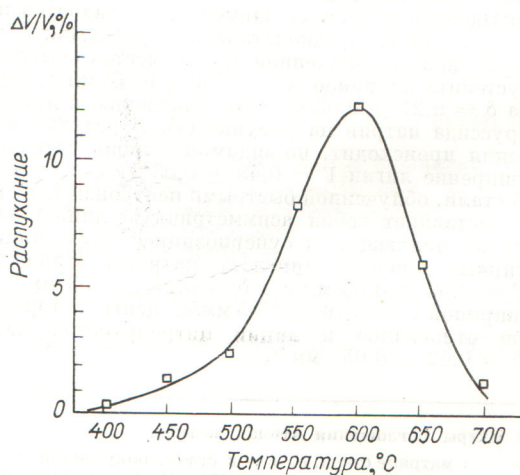
В работах [1,2] исследовались влияние гелия на процесс образования пор в никеле и зависимость радиационной пористости от дозы облучения ионами никеля при постоянной температуре образца (500 °С).

В настоящем сообщении рассматривается развитие пористости при различной температуре мишени. Методика приготовления образцов и методика облучения аналогичны применявшимся ранее. Образцы технического чистого никеля толщиной 0,15 мм предварительно отжигали в вакууме при температуре 800 °С в течение 1 ч. Облучение ионами никеля с энергией 46 кэВ проводилось при плотности тока 3 мкА/см² до дозы $1,6 \cdot 10^{17}$ ион/см², соответствующей примерно 40 смещением на атом [3]. Средняя продолжительность облучения составляла 2,3 ч. Температура образцов изменялась в интервале 350—700 °С.

Результаты исследования облученных образцов

Температура, °С	Концентрация пор, см ⁻³	Размер пор, Å	Распухание, %
400	$4,5 \cdot 10^{17}$	20	0,22
450	$1,85 \cdot 10^{16}$	70	1,25
500	$1,46 \cdot 10^{16}$	100	2,45
550	$1,05 \cdot 10^{16}$	165	8,2
600	$3 \cdot 10^{15}$	340	12,1
650	$7 \cdot 10^{13}$	550	5,6
700	$5,75 \cdot 10^{12}$	1600	1,25

Электронно-микроскопические исследования облученных образцов показали, что вакансионная пористость наблюдается при температуре образца ≥ 400 °С. Результаты обработки микрофотографий даны в таблице. Для температуры 400 °С и выше обнаружено большое количество мелких пор, средний размер которых составляет $\langle d_v \rangle > 20$ Å. Кроме того, наблюдается большое число мелких темных пятен, которые



Р и с. 1. Зависимость распухания никеля от температуры при облучении его ионами Ni^{2+} дозой $1,6 \cdot 10^{17}$ ион/см²