

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. К. Крицкая, В. А. Ильина, А. П. Кузнецова, Б. В. Шаров, Анизотропия атомных смещений в кристаллической решетке  $\alpha$ -фазы углеродистой стали, облученной нейтронами, *Докл. АН СССР*, 1966, том 167, номер 4, 789–791

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.81

15 марта 2025 г., 07:43:58



В. К. КРИЦКАЯ, В. А. ИЛЬИНА, А. П. КУЗНЕЦОВА, Б. В. ШАРОВ

**АНИЗОТРОПИЯ АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ  
В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ  $\alpha$ -ФАЗЫ  
УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ОБЛУЧЕННОЙ НЕЙТРОНАМИ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 24 VII 1965)

В исследованиях природы и свойств радиационных нарушений в кристаллических материалах все большее признание получает теория фокусирующих столкновений атомов (<sup>1-6</sup>). Согласно этой теории, в процессе образования радиационных повреждений в решетке кристаллического материала существенное значение должно иметь закономерное расположение атомов. Выяснение механизма передачи энергии бомбардирующей частицы атомам решетки очень важно для установления вида и свойств дефектов, возникающих в кристаллическом теле под действием ядерных излучений. В этой связи весьма желателен проведение таких экспериментов, которые позволяли бы устанавливать зависимость наблюдаемых эффектов от кристаллографической ориентации.

Ранее (<sup>7</sup>), изучая изменение интегральной интенсивности рентгеновских отражений облученных нейтронами металлов, нами были обнаружены аномалии в ослаблении интенсивности некоторых рефлексов, что могло быть следствием анизотропии атомных смещений в решетке облученного металла. Однако экспериментального материала, полученного в работе (<sup>7</sup>), было недостаточно для того, чтобы сделать более определенные выводы о кристаллографических направлениях в решетке исследованных металлов, вдоль которых образование дефектов идет интенсивнее, чем во всем объеме металла.

Более полное исследование этого вопроса проведено нами в настоящей работе на образцах  $\alpha$ -фазы стали У-9. Изготовление образцов, режим термообработки, условия облучения нейтронами, методика рентгено съемки были такими же, как и в работе (<sup>7</sup>). Для повышения надежности и точности в определении эффектов изменения интенсивности слабых рефлексов высоких порядков производилась, кроме записи брэгговских максимумов с помощью потенциометра ЭПП-09, установленного на рентгеновской установке УРС-50И, также регистрация рентгеновских квантов с помощью механического счетчика импульсов. Суммировались импульсы через 2,5—5 угловых минут в течение интервала времени 4—6 мин. на каждую точку. Для самых слабых рентгеновских рефлексов разница между уровнем фона и пиком брэгговского отражения составляла 250—300 импульсов. Ошибка при определении интегральной интенсивности была различной для разных отражений и составляла 2—6%.

С целью изучения закономерности в изменении интенсивности рентгеновских отражений от различных кристаллографических плоскостей в решетке облученного нейтронами  $\alpha$ -железа нами были измерены интегральные интенсивности рентгеновских интерференций большого числа отражений с различными и кратными  $hkl$ .

В табл. 1 помещены индексы кристаллографических плоскостей, интегральная интенсивность которых была измерена.

На рис. 1 представлены изменения логарифма отношения интенсивностей рентгеновских отражений от облученных ( $I_{обл}$ ) и необлученных ( $I_{необл}$ ) образцов в зависимости от суммы квадратов индексов кристалло-

графических плоскостей в нескольких порядках. Так, для плоскости ( $h00$ ) были определены интегральные интенсивности отражений 5 порядков (рис. 1б), для других число отражений составляло 3—2 (рис. 1а, в, г, д, е). Из всех представленных на рис. 1 графиков явно следует, что после облучения интенсивность  $I$  рентгеновских интерференций понизилась, хотя степень ослабления  $I$  не для всех плоскостей одинакова. Изменение интенсивности в зависимости от  $\Sigma h_i^2$  происходит по экспоненциальному закону.

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические плоскости  $\alpha$ -железа, интенсивность рентгеновских отражений от которых была измерена

Сумма квадратов индексов	Кристаллографическая плоскость ( $hkl$ )	Порядок отражения	Сумма квадратов индексов	Кристаллографическая плоскость ( $hkl$ )
2	(110)	1	10	(310)
8	(220)	2	40	(620)
18	(330, 411)	3	14	(321)
32	(440)	4	56	(642)
50	(550, 543, 710)	5	20	(420)
4	(200)		26	(510, 431)
16	(400)		38	(611, 532)
36	(600, 442)		46	(631)
12	(222)		58	(730)
48	(444)		62	(732, 651)
6	(211)			
24	(422)			
54	(633, 552, 721)			

В некоторых случаях, как, например, для рефлексов с  $\Sigma h_i^2 = 18, 50, 36$  и 54, имеет место наложение отражений от нескольких плоскостей (см. табл. 1). Это обстоятельство в значительной степени усложняет определение вклада интенсивности от каждой из соответствующих плоскостей в суммарную интегральную интенсивность брэгговского отражения (учитывая возможность анизотропии атомных смещений): Так, наложение отражения от плоскости (442) на отражение (600),  $\Sigma h_i^2 = 36$ , явно «оттянуло» вверх (см. рис. 1) соответствующую экспериментальную точку от прямой, описывающей закономерность изменения интенсивности отражений ( $h00$ ). Это означает, что изменение в рассеивающей способности рентгеновых лучей для плоскостей (600) и (442) после нейтронного облучения произошло в разной степени.

Измерение интегральных интенсивностей рентгеновских интерференций для различных кристаллографических плоскостей в нескольких порядках дает возможность надежно установить, происходит ли изменение в рассеивающей способности рентгеновых лучей облученного нейтронами металла и для каких кристаллографических плоскостей это изменение более значительно (т. е. по каким направлениям больше радиационных нарушений).

В настоящей работе было установлено, что после нейтронного облучения интенсивность рассеяния рентгеновых лучей  $\alpha$ -фазой углеродистой стали заметно понизилась, однако понижение интенсивности для ряда плоскостей было сильнее, чем это следовало из общего хода кривой изменения интенсивности остальных отражений. Так, из рассмотрения графиков рис. 1 видно, что угол наклона прямых на рис. 1а и в больше, чем на рис. 1б, г, д, е, что свидетельствует о большей степени ослабления интенсивности рентгеновских интерференций от плоскости ( $h00$ ) и ( $hhh$ ), чем от других. Более наглядно это представлено на рис. 2. Существенно различный наклон прямых 1 и 2 (рис. 2), проведенных через большое количество экспериментальных точек, убедительно говорит о значении кристаллографической ориентации в процессе образования точечных дефектов при нейтронном облучении.

Интересно отметить, что в решетке облученного металла имеются и такие кристаллографические плоскости (например (631),  $\Sigma h_i^2 = 46$ ), рассеивающая способность которых после облучения изменяется весьма незначительно (см. рис. 2).

Из полученных результатов следует: характер изменения интенсивности рентгеновских отражений для облученной нейтронами  $\alpha$ -фазы углеродистой стали свидетельствует о наличии в кристаллической решетке значительно количества точечных дефектов (смещенных атомов), нарушающих периодичность в расположении атомов, причем распределение этих точечных дефектов анизотропно.

По тангенсу угла наклона прямых 1 и 2 (рис. 2), представляющих зависимость логарифма  $I_{обл}/I_{необл}$  от  $\Sigma h_i^2$ , можно определить величину смещений атомов из узлов решетки (8, 9).

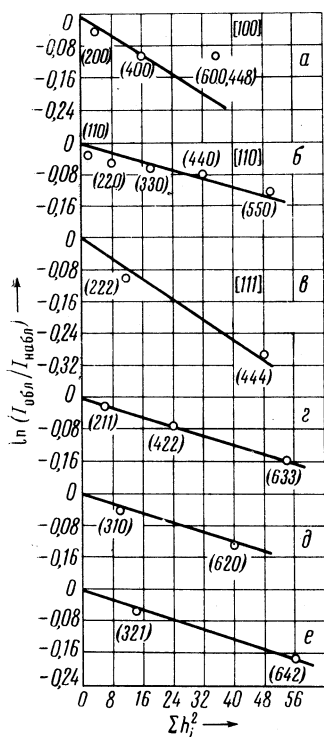


Рис. 1

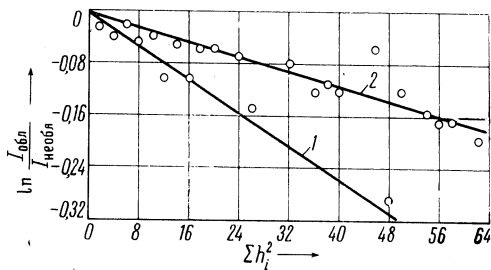


Рис. 2

Рис. 1. Изменение логарифма отношения интенсивности рентгеновских интерференций облученных ( $I_{обл}$ ) и необлученных ( $I_{необл}$ ) образцов  $\alpha$ -фазы углеродистой стали в зависимости от суммы квадратов индексов кристаллографических плоскостей разных порядков отражений

Рис. 2. Зависимость  $\ln I_{обл}/I_{необл}$  от  $\Sigma h_i^2$  отражающих плоскостей кристаллической решетки  $\alpha$ -фазы углеродистой стали. 1 — плоскости (h00) и (hhh); 2 — плоскости (hkl) и (hh0)

Из выражения  $\ln I_{обл}/I_{необл} = \overline{Au^2} \Sigma h_i^2$  определяется  $\overline{u^2}$  — среднее квадратичное смещение атомов из узлов решетки в направлении нормали к отражающим плоскостям (hkl).

Для плоскостей (h00) и (hhh) получено:  $\sqrt{\overline{u^2}} \simeq 0,04 \text{ \AA}$ , для большинства других плоскостей  $\sqrt{\overline{u^2}} = 0,025 \text{ \AA}$ .

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

Поступило  
2 VII 1965

Институт теоретической и экспериментальной  
физики

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> R. H. Silsbee, J. Appl. Phys., 28, 1246 (1957). <sup>2</sup> G. Leibfried, J. Appl. Phys., 30, 1388 (1959); 31, 117 (1960). <sup>3</sup> J. B. Gibson, A. N. Goland, G. H. Vineyard, Phys. Rev., 120, 1229 (1960). <sup>4</sup> A. Seeger, Radiation Damage in Solids, Vienne, 1, 1962, p. 101. <sup>5</sup> В. Е. Юрасова, И. Г. Сиротенко, ЖЭТФ, 41, 1358 (1964). <sup>6</sup> Р. И. Гарбер, А. И. Федоренко, УФН, 83, № 3, 385 (1964). <sup>7</sup> В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Б. В. Шаров, ДАН, 158, № 4, 843 (1964). <sup>8</sup> В. А. Ильина, В. К. Крицкая, Г. В. Курдюмов, Проблемы металловедения и физики металлов, сборн. 2, 1951, стр. 222. <sup>9</sup> В. К. Крицкая, Рентгенография в физическом металловедении, 1961, стр. 209.