

УДК: 538.97+ 539.26

ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В АУСТЕНИТНЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ 12X18H10T, AISI 316 И AISI 304

^{1,2)} Бедельбекова К.А., ¹⁾ Озерной А.Н., ¹⁾ Верещак М.Ф., ¹⁾ Манакова И.А., ²⁾ Дегтярева А.С.

¹⁾ *Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан*

²⁾ *Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

В настоящей работе методами мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов, рентгенографии и сканирующей микроскопии исследовали ионно-индуцированные структурно-фазовые превращения в аустенитных нержавеющей сталях 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304. Установлено, что электронная структура мессбауэровских атомов в нержавеющей сталях AISI 304 и AISI 316 не отличаются. Следовательно, молибден не оказывает влияния на ближний порядок ^{57}Fe в стали AISI 316. Имплантация собственных атомов (^{57}Fe) в сталь AISI 316 приводит, как и в случае со сталью AISI 304 и 12X18H10T к мартенситным превращениям. Среди трех сталей наиболее стабильной к ионно-индуцированным структурно-фазовым превращениям оказалась сталь AISI 316.

Ключевые слова: имплантация, конверсионная и абсорбционная мессбауэровская спектроскопия, рентгеновская дифракция, программа STRIM, радиационные повреждения.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования в области радиационного материаловедения и физики твердого тела в странах ближнего зарубежья, также как и во всех ведущих научных центрах США, Европы и Японии, не прекращаются уже многие годы, поскольку разработка конструкционных материалов для эксплуатируемых и перспективных ядерных установок всегда остается важной научно-технической проблемой, связанной с обеспечением их долговечности и безопасного функционирования.

Основные требования к атомным электростанциям будущего – это повышение эксплуатационного ресурса до 50 лет, увеличение выгорания ядерного топлива, обеспечивающего экономические показатели, сопоставимые с тепловыми станциями (в перспективе – работающими на природном газе), безусловное обеспечение радиационной и экологической безопасности.

Материалы активной зоны реактора эксплуатируются при значительных механических и тепловых нагрузках в условиях одновременного химического (со стороны теплоносителя и ядерного топлива) и радиационного воздействия. Для успешной эксплуатации реактора одной из главных причин является сохранение размерных соотношений конструкционных и тепловыделяющих элементов и обеспечение заданных пределов изменения базовых механических свойств материалов в условиях комплексного воздействия в течение периода эксплуатации реактора. Несмотря на значительный накопленный опыт, исчерпывающего решения, которое бы отвечало современным требованиям в атомной энергетике, до сих пор не выработано. Все используемые технические решения критических узлов основаны на компромиссах.

Решение материаловедческой проблемы сдерживается необходимостью проведения экспериментальных материаловедческих облучений в промышленных быстрых реакторах большой мощности для дос-

тижения интегральных доз по быстрым нейтронам на уровне $100 \div 110$ смещений на атом (с.н.а).

Проведение нейтронных облучений в условиях промышленного реактора связано со значительными материальными и временными ($15 \div 20$ лет облучения) затратами. Рациональный путь ускорения разработки стойких конструкционных материалов активной зоны реакторов различного типа состоит в проведении облучений ускоренными тяжелыми металлическими ионами с энергией ($1,5 \div 2$) МэВ в условиях, имитирующих реакторные.

Основные физические представления о механизмах эволюции материалов под воздействием радиации сформированы преимущественно на основе результатов лабораторных экспериментов с низкой радиационной нагрузкой. Это не позволяет использовать разработанные модельные представления для оценки ресурсных возможностей конструкционных материалов.

Актуально использование ядерной гамма-резонансной спектроскопии, как современного метода диагностики структуры и свойств материалов. В отличие от подходов к исследованиям, развитых в ведущих ядерных центрах располагающими передовыми инструментальными возможностями в настоящей работе сделали акцент на применении мессбауэровской спектроскопии как эффективного метода неразрушающего анализа, информационный потенциал которого позволяет исследовать динамику и механизмы структурно-фазовых радиационно-стимулированных превращений в материалах. Эффект Мессбауэра позволяет измерять сверхтонкие электрические и магнитные поля на ядрах ^{57}Fe , которые определяются локальным атомным окружением. С учетом этого, в мессбауэровском эксперименте могут быть определены фазы, в которых локализируются атомы железа. Облучение ионами ^{57}Fe позволяет проводить мессбауэровские исследования на атомах, непосредственно создающих радиационные повреждения.

Изучению физико-химического состояния вещества с помощью мессбауэровской спектроскопии со всем многообразием ее методических подходов посвящено большое количество монографий и оригинальных статей [1–2].

Нержавеющие стали аустенитного класса широко используются в качестве конструкционных материалов атомных реакторов. Изучение их поведения в поле ионизирующих излучений и при экстремальных механических и тепловых нагрузках является предметом многих исследователей. Так, в работе [3] авторами проведено абсорбционное ЯГР-исследование облученных образцов перспективной оболочечной стали ОХ16Н15МЗТ1 в потоке нейтронов исследовательского реактора ИВВ-2 после криогенного облучения при 80 К и температуре теплоносителя 350 К. Обнаружена субструктура парамагнитной резонансной линии и исследованы закономерности изменения изомерного сдвига и соотношения площадей линий спектра в зависимости от условий облучения. Для исследования авторы выбрали образцы с флюенсами по быстрым нейтронам $1,7 \times 10^{18}$, $1,5 \times 10^{19}$ нейтр/см² для криогенного облучения и 1×10^{19} нейтр/см² при температуре теплоносителя. Авторы в работе [4] провели исследования сверхтонких взаимодействий и фазовых превращений в аустенитных коррозионно-стойких сталях 06Х16Н15МЗБ и 12Х18Н10Т, подвергнутых комплексной термомеханической обработке, облучению, сварке и коррозии. Экспериментально установили изменение структурной и фазовой стабильности сталей под действием γ -облучения, наиболее заметно выраженное при наличии структурно-фазовых неоднородностей, характерное для процесса холодной пластической деформации. Выявили совместное воздействие холодной пластической деформации и облучения на развитие прямого и обратного аустенитно-мартенситного превращения.

Нержавеющая хромоникелевая молибденовая сталь AISI 316 является улучшенной модификацией стали AISI 304 за счет добавления 2,5% молибдена. Сталь этой марки особенно устойчива к коррозии, высоким температурам и агрессивным средам, что позволяет широко использовать её для производства твэлов активной зоны промышленных реакторов на быстрых нейтронах. Таким образом, актуальность выбранного направления исследований соответствует современным тенденциям развития науки и техники.

В настоящей работе мессбауэровские исследования проводились в двух режимах: 1) в стандартной геометрии на пропускание (МС) и 2) с регистрацией электронов конверсии из поверхности материала (КЭМС). В первом случае мессбауэровские спектры содержали информацию о всех имплантированных атомах ⁵⁷Fe. В случае КЭМС регистрировались только атомы Fe, находящиеся в приповерхностном облученном слое толщиной около 0,1 мкм. Толщина оп-

ределялась глубиной выхода конверсионных электронов ⁵⁷Fe, имеющих энергии 7,3–13,6 кэВ.

Электронная микроскопия и рентгенографические данные в нашей работе были дополнительными.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для облучения ионами железа-57 были подготовлены образцы сталей 12Х18Н10Т, AISI 316 и AISI 304 в виде пластин размером (10×10×0.05) мм³, подвергнутые шлифовке, полировке и последующему отжигу при температуре 800 °С в течение двух часов в вакууме 1×10^{-6} мм рт. ст.

Проведено облучение образцов сталей 12Х18Н10Т, AISI 316 и AISI 304 ионами ⁵⁷Fe. Имплантацию ионов осуществляли на электростатическом перезарядном ускорителе тяжелых ионов УКП-2-1. Плотность ионного тока составляла 90 нА, энергия непрерывного потока ионов – 1 МэВ, флюенс – 5×10^{16} ион/см².

Выполнены расчеты дозы облучения с помощью программы SRIM-2008 [5], которые позволили оценить степень воздействия ионного пучка на кристаллические решетки облучаемых материалов. После облучения нержавеющей сталей ионами железа с энергией 1 МэВ и флюенсом 5×10^{16} ион/см² доза облучения составила 200 сна (смещений на атом), а проективный пробег – около 350 нм, это означает предельно сильное воздействие облучения на поверхность.

Исследование структурно-фазового состава сталей до и после облучения проводили методами мессбауэровской спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Поскольку глубина проникновения ионов в материал была выбрана соизмеримой с толщиной доступной для зондирования методом конверсионной мессбауэровской спектроскопии (КЭМС) [6], то регистрация электронов внутренней конверсии позволяла детально просмотреть зону, подвергнутую радиационному воздействию.

Измерения КЭМС-спектров проводили на спектрометре MS-110Em при комнатной температуре. Источником γ -квантов служил ⁵⁷Co в матрице хрома.

Анализ и обработку мессбауэровских спектров проводили методами модельной расшифровки и восстановления функций распределения сверхтонких параметров парциальных спектров с помощью программного комплекса MStoolS и SpectrRelax [7].

Рентгеноструктурный анализ выполняли на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER. Дифрактограммы измерялись на облученной части образца, а также на обратной стороне в диапазоне углов $2\theta = (20 \div 90)^\circ$, шаг сканирования по углу составил $0,02^\circ$, время стояния в точке – 1,0 с.

Элементный состав приповерхностного слоя определяли с помощью электронного растрового микроскопа JEOL JSM-6610. Максимальная концентрация Fe в стали 12Х18Н10Т – около 1,9 ат.% имплантированных атомов ⁵⁷Fe.

Далее, после исследований электронной, магнитной и кристаллической структуры, а также определения элементного состава облученные ионами ^{57}Fe образцы сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 отжигались в вакууме при температурах $(200 \div 850)^\circ\text{C}$ с шагом 100°C в течение двух часов при каждой температуре. После отжигов проводились исследования структур методами мессбауэровской спектроскопии в геометрии обратного рассеяния с регистрацией электронов внутренней конверсии и рентгеноструктурного анализа.

Согласно сложившимся в настоящее время представлениям мартенситное превращение рассматривается как фазовое превращение в однокомпонентной системе. Оно является одним из наиболее распространенных превращений в твердом состоянии и подчиняется основным закономерностям фазовых превращений [8].

Структурно-фазовое состояние аустенитных коррозионностойких сталей и его изменения, включающие фазовые превращения, модифицирование структуры, выпадения вторых фаз и т.п., во многом определяют эксплуатационные свойства изделий и конструкций в условиях воздействия термических, механических, радиационных нагрузок, а также коррозионно-активных сред. В частности, большое внимание уделяется $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению, протекающему в аустенитных сталях при механическом и радиационном воздействии, причем механизм этого превращения различен. Экспериментальные данные свидетельствуют, что существует тесная взаимосвязь между протеканием $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, вызванного холодной деформацией, внешним давлением, выделением оксидных фаз, микролегированием и изменением текстуры сталей, сегрегацией примесей на поверхности и границах раздела, величиной зерна аустенита. Это указывает на необходимость комплексного исследо-

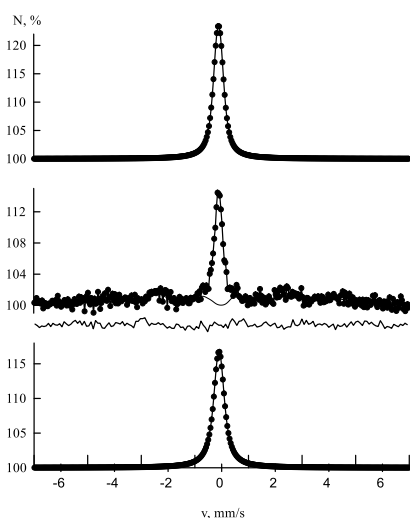
вания $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения при термомеханической обработке и облучении сталей.

Мессбауэровское исследование $\gamma \rightarrow \alpha$ превращений в приповерхностных слоях аустенитных сталей показало существенное отличие протекания $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в приповерхностных слоях от аналогичного превращения в объеме сталей при холодной пластической деформации и коррозии в различных средах. При ТМО аустенитных коррозионностойких сталей применяются температурные режимы, включающие, в частности, аустенизацию (отжиг или закалку), различные стабилизирующие отжиги, а также вакуумную горячую и холодную (при комнатной температуре) деформации. В указанных процессах используется эффект существования $\alpha \rightarrow \gamma$, $\gamma \rightarrow \alpha$ превращений. Сущность технологического поиска ТМО заключается в том, чтобы получить благоприятное структурно-фазовое состояние материала, обуславливающего реализацию требуемых радиационных, коррозионных и механических свойств. Наименее изучены экспериментально эти превращения в приповерхностных слоях сталей.

Холодная деформация при комнатной температуре приводит к развитию в приповерхностных слоях мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, интенсивность которого зависит от состава стали и степени обжатия.

Известно, что реакторное облучение нейтронами сопровождается облучением γ -квантами. В активных зонах реакторов поток γ -излучения с энергией более $0,2 \text{ МэВ}$ составляет $10^{13} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$, что приводит к радиационному γ -отжигу. При этом соответственно изменяются и свойства облучаемого материала.

Для тонких фольг проявляется специфическая особенность при деформировании, по-видимому, играющая важную роль при прокатке тонкой ленты. Холодная деформация приводит к частичному $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению, зависящему от содержания никеля в сталях.



а – до облучения; б – после облучения; в – после отжига при температуре 800°C , 2 ч.

Рисунок 1. КЭМС стали 12X18H10T

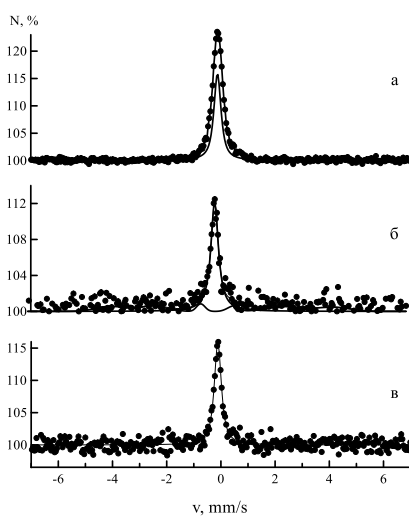


Рисунок 2. КЭМС стали AISI 316

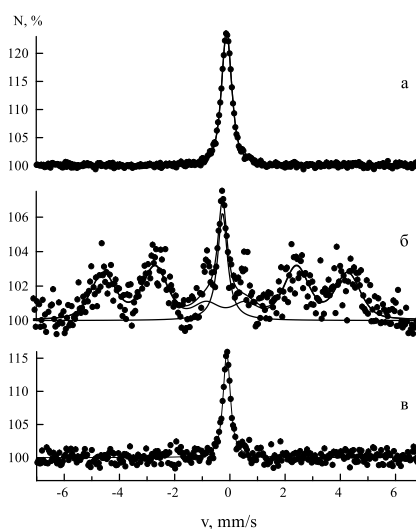


Рисунок 3. КЭМС стали AISI 304

На рисунке 1, 2 и 3 приведены результаты исследований сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 методом мессбауэровской спектроскопии до и после облучения.

Как правило, до облучения, стали немагнитны и структура сталей однофазная. Мессбауэровские спектры до облучения представляют собой одиночные несколько уширенные линии (см. рис. 1 а, 2 а, 3 а). Подобные спектры интерпретируются функциями распределения изомерных сдвигов или квадрупольным расщеплением, что в первом приближении не противоречит сложившимся подходам при анализе атомной структуры неупорядоченных сплавов с кубической решеткой [9, 10].

Спектры облученных сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 ионами ^{57}Fe с энергией 1 МэВ дозой 5×10^{16} част/см² представляют собой суперпозицию парамагнитной линии аустенита и секстета мартенсита (см. рис. 1 б, 2 б и 3 б). Вероятно, наблюдаемое уширение линии в спектрах сталей после облучения связано с упругими напряжениями, причем источниками полей деформации в решетке могут быть вакансии и различные комплексы дефектов вакансионного и междоузельного типов. Облучение приводит к разным наборам радиационных дефектов. При комнатной температуре облучения дислокации и неподвижные вакансии являются эффективными стоками точечных дефектов, поэтому наиболее вероятно образование скоплений междоузельного типа и мелких вакансионных кластеров.

При имплантации ионов ^{57}Fe в стали марки AISI 316 и AISI 304 и 12X18H10T наблюдается переход из аустенитной ГЦК фазы в мартенситную ОЦК-фазу. Принято связывать факт протекания фазового перехода с сильными внутренними напряжениями, развивающимися в поверхностном слое сплава в ходе ионной имплантации и релаксирующими в результате превращения.

В таблице 1 и 2 приведены мессбауэровские параметры КЭМС спектров нержавеющей сталей до об-

лучения и после. Отличие изомерных сдвигов для данных сталей, вероятно, можно объяснить их различным элементарным составом. Только для стали AISI 316 не наблюдается изменение изомерного сдвига. Сравнив площади мартенситной фазы, можно сделать вывод, что мартенситные превращения идут интенсивнее в стали марки AISI 304, затем в 12X18H10T и наименее слабо проявляются в стали марки AISI 316. Наиболее подходящим объяснением является различное содержание Ni, стабилизирующего аустенит и сдерживающего образование мартенсита.

Рентгенодифрактометрический анализ стали AISI 316 показал, что на дифрактограммах облученных сталей помимо рефлексов аустенита $\gamma(111)$, $\gamma(200)$, $\gamma(220)$ и $\gamma(311)$ присутствуют рефлексы мартенсита $\alpha(110)$, $\alpha(200)$ и $\alpha(220)$. Дифрактограммы для сталей марки AISI 304 и 12X18H10T – аналогичны. Эти данные находятся в согласии с мессбауэровскими измерениями. Таким образом, облучение ионами ^{57}Fe создает такой уровень дефектов, который приводит к фазообразованию в приповерхностном слое.

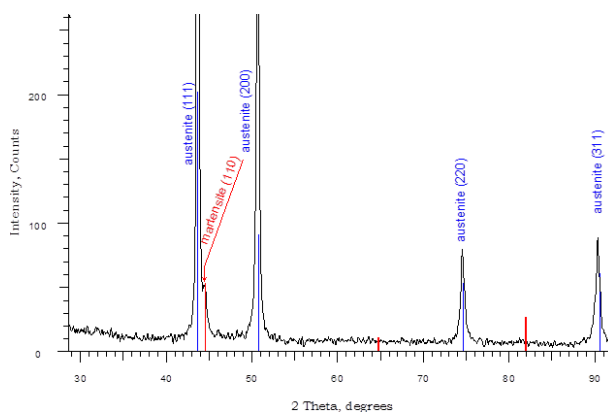


Рисунок 4. Рентгеновские дифрактограммы стали AISI 316 после облучения

Таблица 1. Параметры КЭМС-спектров нержавеющей сталей до облучения ионами ^{57}Fe

Марка стали	Аустенитная фаза			
	I, %	δ , мм/с	ϵ , мм/с	Γ , мм/с
12X18H10T	100	$-0,104 \pm 0,0007$	$0,064 \pm 0,005$	$0,389 \pm 0,011$
AISI 316	100	$-0,087 \pm 0,002$	$0,065 \pm 0,011$	$0,414 \pm 0,026$
AISI 304	100	$-0,127 \pm 0,005$	$0,027 \pm 0,005$	$0,427 \pm 0,007$

Таблица 2. Параметры КЭМС-спектров нержавеющей сталей после облучения ионами ^{57}Fe

Марка стали	Аустенитная фаза				Мартенситная фаза	
	I, %	δ , мм/с	ϵ , мм/с	Γ , мм/с	I, %	$H_{\text{ср}}$, кЭ
12X18H10T	$43,0 \pm 1,8$	$-0,116 \pm 0,002$	0	$0,369 \pm 0,006$	$57,0 \pm 1,8$	$256,3 \pm 2,0$
AISI 316	$63,5 \pm 3,1$	$-0,087 \pm 0,003$	0	$0,470 \pm 0,040$	$36,5 \pm 3,1$	$233,86 \pm 10,00$
AISI 304	$18,7 \pm 0,9$	$-0,121 \pm 0,006$	0	$0,428 \pm 0,023$	$81,3 \pm 0,9$	$274,63 \pm 0,080$

Таблица 3. Элементный состав сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 до и после облучения ионами ^{57}Fe

Образец	C, вес. %	O, вес. %	Ti, вес. %	Cr, вес. %	Fe, вес. %	Ni, вес. %	Mo, вес. %
12X18H10T необл.	11,2	4,5	1,0	14,4	58,6	10,97	–
12X18H10T обл.	18,1	3,3	0,8	13,5	54,7	10,8	–
AISI 304 необл.	14,43	5,78	1,23	18,54	75,34	8,4	–
AISI 304 обл.	25,47	4,7	0,04	19	77,01	7,8	–
AISI 316 необл.	4,2	2,24	–	20,65	79,32	12,45	2,33
AISI 316 обл.	13,6	–	–	20,85	79,61	12,53	2,68

Полученные нами данные согласуются с более ранними работами о фазовых превращениях в нержавеющей стали при имплантации ионов собственных элементов Cr⁺, Ni⁺ и др. [11]. В данной публикации сделан вывод о том, что образование мартенсита связано, главным образом, с полями напряжений от вторичных радиационных повреждений.

Отжиг образцов при температуре 850 °С приводит к возврату облученных сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 в исходное состояние, т.е. к структуре аустенита (см. рис. 1 в, 2 в, 3 в).

Данные, полученные электронной микроскопией для необлученных и облученных сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 ионами ^{57}Fe приведены в таблице 3.

Из таблицы видно, что наблюдается увеличение содержания углерода в облученных образцах, возможно, за счет его захвата из остаточной атмосферы ионного канала ускорителя. Предположительно, из-за меньшего содержания Ni в стали AISI 304, чем в сталях AISI 316 и 12X18H10T, она сильнее подвергается мартенситным превращениям (см. рис. 1 б, 2 б, 3 б).

ЛИТЕРАТУРА

- Бедельбекова К.А., Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Дегтярева А.С. Мессбауэровские исследования 304 стали, облученной ионами ^{57}Fe // Abstracts, 12th International Conference «Nuclear and Radiation Physics», 24–27 June, 2019, Almaty.
- A.N. Ozernoy, M.F. Vereshchak, I.A. Manakova, Zh.K. Tleubergenov and K.A. Bedelbekova Nuclear Gamma-Resonance Spectroscopy in Study of Nanoscale Composites // Physics of Atomic Nuclei, 2018. vol. 81, No. 10, pp. 1484–1487/
- В.М. Колосков, А.В. Козлов, В.А. Семенкин, О.Б. Мильдер, И.А. Портных Мессбауэровские исследования конструкционной стали ОХ16Н15М3Т1 после нейтронного облучения // Физика металлов и материаловедение, 2004. т. 97, № 3, С. 39–46.
- Кириченко В.Г., Кирдин А.И. Ядерно-физическое материаловедение сталей // Вестник Харьковского университета. Сер. Физическая, 2009, № 845, С. 39–61
- <http://www.srim.org>
- Белозерский Г.Н. Мессбауэровская спектроскопия как метод исследования поверхности. Москва, 1990 г.
- Русаков В.С. Мессбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. Алматы: ОПНИ ИЯФ НЯЦ РК, 2000, С. 431.
- Кристиан Дж. Теория превращения в металлах и сплавах. М., Мир, 1978. т. 1, С. 750
- Химическое применение мессбауэровской спектроскопии. // М.: Мир – 1970. – 502 с.
- V.P. Srivastava, H.N. Sarma, D.L. Bhattacharya Quadrupole splitting in deformed stainless steel // Phys. Stat. Sol. – 1972. (a). V. 10, P. 117.
- Johnson E., Johansen A., Sarholt-Kristensen L. et al. // Nucl. Instrum. And Meth, Phys. Res. – 1987. – V. 19–20, No. 1, P. 171.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методами ЯГРС, РСА, РЭМ исследованы образцы сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 до и после облучения ионами ^{57}Fe . Установлено, что в результате имплантации наблюдается образование новой магнитной фазы, в частности, происходил переход из ГЦК аустенитной фазы в ОЦК мартенситную фазу.

Проведены расчеты повреждаемости образцов сталей 12X18H10T, AISI 316 и AISI 304 при облучении ионами ^{57}Fe с энергией 1 МэВ и флюенсом 5×10^{16} ион/см² доза облучения составила 200 сна (смещений на атом), а проективный пробег – около 350 нм.

Замечено, что мартенситные превращения идут интенсивнее в стали AISI 304, чем в стали AISI 316 и 12X18H10T, предположительно из-за меньшего содержания Ni.

12X18H10T, AISI 316 ЖӘНЕ AISI 304 АУСТЕНИТТІК ТОТТАНБАЙТЫН БОЛАТТАРДАҒЫ
ИОНДЫ-ИНДУКЦИЯЛАНҒАН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНУЛЕР

^{1,2)} К.А. Бедельбекова, ¹⁾ А.Н. Озерной, ¹⁾ М.Ф. Верещак, ¹⁾ И.А. Манакова, ²⁾ А.С. Дегтярева

¹⁾ *Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан*

²⁾ *Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан*

Осы жұмыста конверсиялық электрондар мессбауэрлік спектроскопия, рентгенография және сканерлеуші микроскопия әдістерін қолдана отырып, 12X18H10T, AISI 316 және AISI 304 аустениттік тоттанбайтын болаттардағы ионды-индукцияланған құрылымдық-фазалық түрленулерге зерттеулер жүргізілді. AISI 304 және AISI 316 тоттанбайтын болаттардағы мессбауэрлік атомдардың электрондық құрылымының айырмашылығы жоқ екені анықталды. Демек, AISI 316 болаттағы ⁵⁷Fe жақын ретіне молибден ықпал етпейді. AISI 316 болатқа (⁵⁷Fe) меншікті атомдарын енгізу AISI 304 және 12X18H10T болатпен болған жағдайдағы сияқты мартенситтік түрлендірулерге алып келеді. Осы үш болаттың ішінде ионды-индукцияланған құрылымдық-фазалық түрленулерге ең тұрақты AISI 316 болат болып шықты.

Кілт сөздер: Енгізу, конверсиялық және абсорбциялық мессбауэрлік спектроскопия, рентгендік дифракция, STRIM программасы, радиациялық зақымдану.

ION-INDUCED STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS
IN AUSTENITE STAINLESS STEEL 12Cr18Ni10Ti, AISI 316 AND AISI 304

^{1,2)} K.A. Bedelbekova, ¹⁾ A.N. Ozerney, ¹⁾ M.F. Vereshchak, ¹⁾ I.A. Manakova, ²⁾ A.S. Degtyareva

¹⁾ *Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan*

²⁾ *K.I. Satpaev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan*

In this paper the ion-induced structural-phase transformations in austenitic stainless steels 12Cr18Ni10Ti, AISI 316 and AISI 304 have been studied by the Mössbauer spectroscopy of conversion electrons, X-ray diffraction and scanning microscopy. It has been established, that the electronic structure of the Mössbauer atoms in stainless steels AISI 304 and AISI 316 are different. Consequently, molybdenum does not affect the short-range order of ⁵⁷Fe in AISI 316 steel. Implantation of its own atoms (⁵⁷Fe) in AISI 316 steel leads, as in case with AISI 304 and 12Cr18Ni10Ti steel, to martensitic transformations. Among three steels AISI 316 was found to be the most stable to the ion-induced structural phase transformations.

Keywords: Implantation, conversion and absorption Mössbauer spectroscopy, X-ray diffraction, STRIM software, radiation damage.