

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГИИ НА МАЛОАКТИВИРУЕМЫЕ АУСТЕНИТНЫЕ СТАЛИ

*В.Н. Пименов¹, В.А. Грибков^{1,2,3}, Л.И. Иванов¹, Е.В. Демина¹, С.А. Масляев¹,
А.В. Дубровский², М. Шольц³, Р. Миклашевский³, Ю.Э. Угасте⁴, Б. Колман⁵*

¹*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва;*

²*ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики
им. А.И. Алиханова, г. Москва, Россия;*

³*Институт физики плазмы и лазерного микросинтеза им. С. Калиского,
г. Варшава, Польша;*

⁴*Таллинский педагогический университет, г. Таллин, Эстония;*

⁵*Институт физики плазмы Академии наук Чешской Республики
г. Прага, Чешская Республика*

Представлены результаты воздействия мощных импульсных потоков ионов дейтерия и высокотемпературной плазмы на малоактивируемые аустенитные стали разного состава. Рассмотрены особенности повреждаемости материалов и структурных дефектов, возникающих на облученной поверхности, при различных режимах импульсной обработки образцов, расположенных в катодной части установки PF-1000. Отмечены перспективы использования установок Плазменный фокус для ионно-плазменной обработки материалов с целью создания новых импульсных технологий.

1. ВВЕДЕНИЕ

Среди материалов, рассматриваемых как перспективные для использования в энергонагруженных частях термоядерных установок (как в конструкционных узлах, так и в качестве обращенных к плазме элементов), важное место занимают нержавеющие стали ферритно-мартенситного и аустенитного класса [1–4]. Различные виды нержавеющих сталей уже испытаны как альтернативные материалы для обращенных к плазме компонентов при облучении мощными импульсными потоками плазмы [5] и быстрых ионных пучков [6]. Как конструкционные материалы эти стали исследованы для использования в различных радиационных установках, включая сильноточные пинчевые установки, а также камеры термоядерных реакторов (ТЯР) с инерциальным и магнитным (ТОКАМАК и стелларатор) удержанием. Здесь малоактивируемые аустенитные и ферритные стали представляют главный интерес, так как они не дают долгоживущих изотопов с сопутствующим им нейтронным излучением [7–10].

При импульсном облучении этих материалов важное место уделяется изучению эрозии первой стенки ТЯР [11], а также исследованию процесса диффузии газа, имплантированного в материал [12, 13].

Ранее в наших работах [14–17] были исследованы повреждаемость и структурные изменения в обращенных к плазме и конструкционных материалах применительно к ТЯР. В частности, возможность реализовать комбинированное или раздельное тестирование и обработку материалов короткими им-

пульсами (~10...7 с) излучения различных типов с высокой плотностью мощности потока (107...109 Вт/см²) была продемонстрирована для установки Плазменный фокус (ПФ), как это было предложено в работе [18]. Среди тех видов жестких излучений, которые генерируются в ПФ, есть потоки быстрых ионов и электронов (с энергией частиц ≈100 кэВ), рентгеновское и нейтронное излучения, высокотемпературная плазма (ВТП), а также ударная волна.

Целью настоящей работы было сопоставить характер повреждаемости поверхностных слоев (ПС) малоактивируемых аустенитных сталей разного состава импульсными ионными потоками дейтерия и дейтериевой плазмы (ДП) при различных режимах облучения в установке ПФ PF-1000 (Институт физики плазмы и лазерного микросинтеза, Варшава, Польша). При этом основное внимание уделено формированию поверхностных структурных дефектов, распределению элементов по площади ПС образцов и влиянию элементов конструкции рабочей камеры ПФ на состояние облученной поверхности.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

2.1. МАТЕРИАЛЫ

Образцы исследуемых аустенитных сталей были выплавлены в виде слитков, прокатаны до толщины 0,1 см и приготовлены для экспериментов в ПФ в виде пластин размером 1.5×1.5×0.1 см. Химический состав сталей приведен в табл. 1. Выбор указанных материалов связан с тем, что аустенитные хромомарганцевые стали обладают значительной стойкостью и стабильностью к воздействию достаточно высоких радиационных и термических нагрузок.

Кроме того, они являются коррозионно-стойкими, обладают хорошими механическими и технологическими свойствами [3, 7 – 10].

Таблица 1

Химический состав исследованных сталей

Сталь	Элементы, мас.%									
	C	Cr	Mn	Si	W	La	N	P	S	Sc
10Cr12Mn20W	0.10	12.10	20.10	0.02	2.05		0.01	0.02	0.02	
25Cr12Mn20W	0.25	11.57	20.75	0.02	2.01		0.003	0.04	0.008	
10Cr12Mn20W с лантаном	0.10	11.90	20.10	0.02	2.05	0.05	20.10	0.02	2.05	
10Cr12Mn20W со скандием	0.10	11.90	20.10	0.02	2.05		20.10	0.02	2.05	0.05

2.2. УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Облучаемые образцы были закреплены на задней стенке специальной медной дуги радиусом 50 см и толщиной 4 мм (рис. 1). Перед поверхностью каждого образца имелось отверстие диаметром $\varnothing=3$ мм. Через эти отверстия (диафрагмы) и осуществлялось облучение образцов. Энергетический запас установки PF-1000 в экспериментах был ~ 600 кДж. В качестве рабочего газа использовался чистый дейтерий

при начальном давлении 400 Па. Расстояние между анодом и исследуемыми образцами было $L_1 \sim 54$ см. Скоростная щелевая камера исследовала динамику ВТП в окрестности облучаемого образца как на стадии полета этой плазмы к образцу, так и при взаимодействии с ним. Плотность мощности излучения q в основном была в пределах $107...108$ Вт/см², длительность импульсного воздействия плазмы разрядов τ была порядка 1 мкс. Число импульсов в экспериментах варьировалось от 2 до 11.

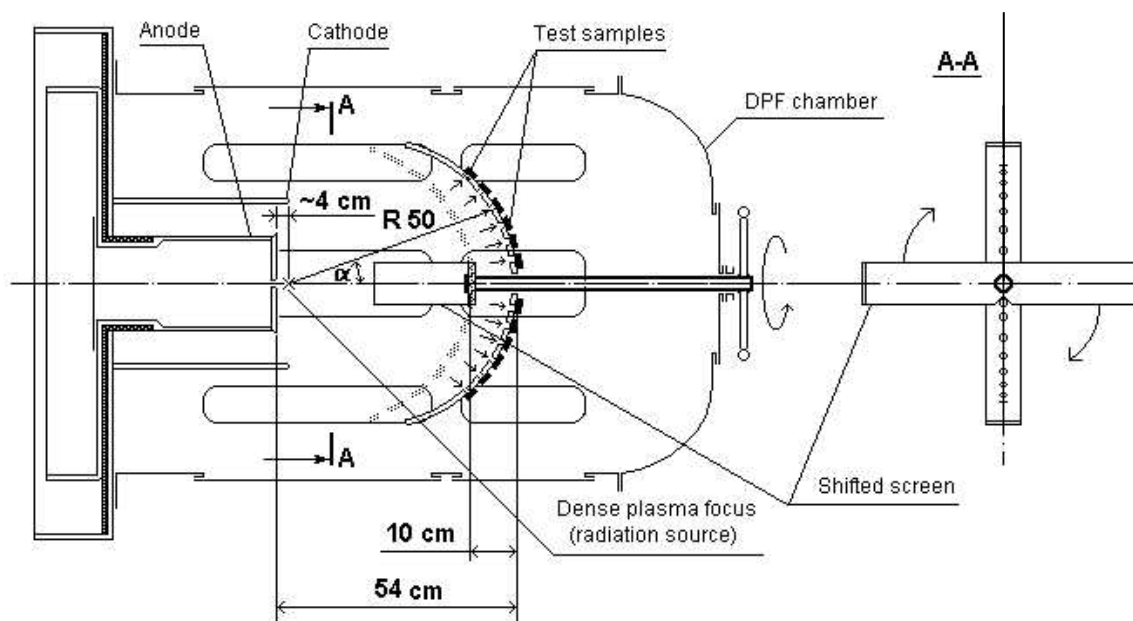


Рис. 1. Схема рабочей камеры установки PF-1000 для экспериментов по облучению образцов малоактивных аустенитных сталей (слева направо сверху вниз): анод, катод, испытываемые образцы, камера ПФ, сечение по А-А, плотный плазменный фокус (источник радиации), перемещаемый экран

Всего в данной серии было проведено три эксперимента: эксперимент №1 состоял из 8-ми импульсных воздействий потоков ионов и ДП на материал, эксперименты №2 и №3 – из 5 соответствующих воздействий. Кроме исследуемых образцов аустенитных сталей, в каждом эксперименте одновременно облучались образцы из иных материалов, также представляющие научный и прикладной интерес, которые были закреплены на той же медной дуге (см. рис. 1). К ним относятся V, W, графит

и сплавы на их основе. Однако результаты исследования этих образцов выходят за рамки данной статьи и будут представлены отдельно.

2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Микроструктуру и элементный состав образцов до и после воздействия экстремальных энергетических потоков (ЭЭП) исследовали методами растровой электронной микроскопии и локального рентгеноспектрального анализа. Определение анализируе-

мых характеристик образцов проводилось со стороны облученных поверхностей сплавов. Анализ содержания элементов в исследуемом микрообъеме и распределения их по заданному участку поверхности образцов были выполнены с использованием установки CamScan 4DV.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ

В табл. 2 приведены результаты измерений полного нейтронного выхода n (в полном угле 4π рад) и разрядного тока для отдельных импульсных воздействий ЭЭП на материалы в экспериментах №1–3. Из таблицы видно, что максимальные значения нейтронного выхода $n \approx 1011$ част./имп. наблюдались для эксперимента №3. В экспериментах №1 и 2 большинство «выстрелов» характеризовалось $n \approx 1010$. Это означает [18], что максимальный поток быстрых ионов дейтерия (с энергией $E \geq 100$ кэВ) наблюдался в эксперименте №3, а в экспериментах

№1 и 2 поток указанных ионов был несколько слабее.

Интенсивность же воздействия потока ДП на образцы с учетом их одинаковой удаленности от источника излучения (от собственно «плазменного фокуса», см. рис. 1) и данных о величине разрядного тока в экспериментах (см. табл. 2) была несколько выше в режиме облучения, соответствующем эксперименту №2.

Таким образом, результаты, приведенные в табл. 2, позволяют считать, что режимы облучения образцов в проведенных экспериментах были несколько отличными друг от друга.

3.2. ВЗВЕШИВАНИЕ ОБРАЗЦОВ

В табл. 3 показаны результаты взвешивания исследованных образцов стали в исходном состоянии и после экспериментов в установке PF-1000. Знаком «+» в таблице отмечен случай, когда после облучения вес образца оказался больше, чем до облучения.

Таблица 2

Нейтронный выход и разрядный ток в экспериментах на установке PF-1000

Номер эксперимента	Материал и номер образца	Номер импульса	Полный нейтронный выход, 1010 нейтр./имп.	Разрядный ток, МА	Напряжение на электродах, кВ
1	25Cr12Mn20W - №1 10Cr12Mn20W - №2	1	13,5	1,70	33
		2	5,46	1,70	33
		3	6,65	1,70	33
		4	3,03	1,72	33
		5	0,954	1,72	33
		6	2,35	1,72	33
		7	0,971	1,72	33
		8	1,33	1,72	33
2	10Cr12Mn20W(Sc) - №2 10Cr12Mn20W(La) - №2	1	18,6	1,84	33
		2	7,92	1,80	33
		3	7,82	1,78	33
		4	3,50	1,80	33
		5	5,75	1,76	33
3	25Cr12Mn20W - №2 10Cr12Mn20W - №1	1	18,2	1,72	33
		2	6,64	1,70	33
		3	15,2	1,71	33
		4	14,8	1,71	33
		5	9,73	1,70	33

Таблица 3

Изменение массы образцов стали после облучения в установке PF-1000

Материал	Номер образца	Номер эксперимента	Число импульсов	Диаметр диафрагмы, мм	Потеря массы Δm , мг	Потеря массы за импульс, мг/имп	Потеря массы на единицу площади, мг/см ²
Сталь 25Cr12Mn20W	1	1	8	3	0,30	0,0375	0,531
	2	3	5	3	0,13	0,0260	0,368
Сталь 10Cr12Mn20W	1	3	5	3	0,37	0,07400	1,047
	2	1	8	3	0,25	0,03125	0,442
Сталь 10Cr12Mn20W С лантаном	2	2	5	3	+0,25	+0,0500	+0,996
Сталь 10Cr12Mn20W со скандием	2	2	5	3	0,10	0,0200	0,283

Очевидно, что убыль массы образцов после многократного воздействия на них импульсных потоков дейтерия и ДП связана с явлением эрозии поверхности – процессами распыления и испарения облучаемого слоя [14–17, 19]. Из табл. 3 видно, что наиболее интенсивно указанные процессы происходили в эксперименте №3 с образцом №1 стали 10Cr12Mn20W. Это с учетом сказанного в п. 3.1. означает, что на данный образец в эксперименте №3 воздействовали более мощные ЭЭП высокоэнергичных ионов дейтерия и плазмы, чем на образец №2 стали 25Cr12Mn20W, который облучался в этом же эксперименте. Интенсивность облучения образцов стали в экспериментах №1 и 2, судя по результатам табл. 3, также была несколько ниже, чем для стали 10Cr12Mn20W в эксперименте №3.

В целом анализ результатов табл. 3 и характера повреждаемости внутренней стенки рабочей камеры позволяет предположить, что в процессе облучения образцов-мишеней при переходе от одного импульсного воздействия к другому имелось некоторое нарушение осевой симметрии распределения плазменного и ионного потоков по объему камеры. Это приводило к различиям в условиях облучения материалов, размещенных на медной дуге (см. рис. 1), как в пределах одного эксперимента, так и для разных его серий. С этим обстоятельством могут быть связаны наблюдаемые (см. табл. 3) отличия в убыли массы сопоставляемых образцов сталей.

Что касается отмеченного выше возрастания веса в облученном образце №2 стали 10Cr12Mn20W с примесью лантана (см. табл. 3), то оно определяется, главным образом, осаждением меди на обращенную к плазме поверхность образца-мишени [15–18]. Медь осаждалась на эту поверхность вследствие двух механизмов. Во-первых, она попадала на образец со стенки диафрагмы медной дуги, имевшей толщину 4 мм и испарявшейся под действием пото-

ков ионов дейтерия и ДП. Во-вторых, ее поток приходил с поверхности медного анода, испаряемой пучком высокоэнергичных электронов [19]. Не исключен также вклад в осаждение вещества на облученную поверхность образца конструкционных и функциональных материалов рабочей камеры установки PF-1000, испаряемых ионными и плазменными потоками.

3.3. ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Исследование образцов аустенитных сталей после проведенных экспериментов показало, что в процессе облучения происходило распыление, плавление и испарение их ПС. Оплавленная поверхность, как правило, имела волнообразный рельеф и содержала различные структурные дефекты: типа кратеров, наплывов, капель, пор, микротрещин и др. Ниже рассмотрены особенности повреждаемости и изменения топографической структуры поверхности облученных сталей в зависимости от их типа и от условий облучения.

На рис. 2 показаны фотографии сканирования электронным пучком облученных участков поверхности образцов сталей 10Cr12Mn20W (эксперимент №3), 25Cr12Mn20W (эксперимент №1), 10Cr12Mn20W+0,05%Sc и 10Cr12Mn20W+0,05%La (эксперимент №2, см. табл. 2).

Из фотоснимков видно, что наименьшее образование дефектов на облученной поверхности наблюдается для стали 10Cr12Mn20W. В других сталях происходят заметные скопления поверхностных дефектов: поры, пузыри, образования типа кратеров с плоским дном, конфигурации в виде тороидальных колец, микротрещины и т.п. Небольшое содержание дефектов на поверхности стали 10Cr12Mn20W связано с более высокой интенсивностью действовавших на нее ЭЭП по сравнению с условиями облучения других сталей (см. п. 3.1. и 3.2).

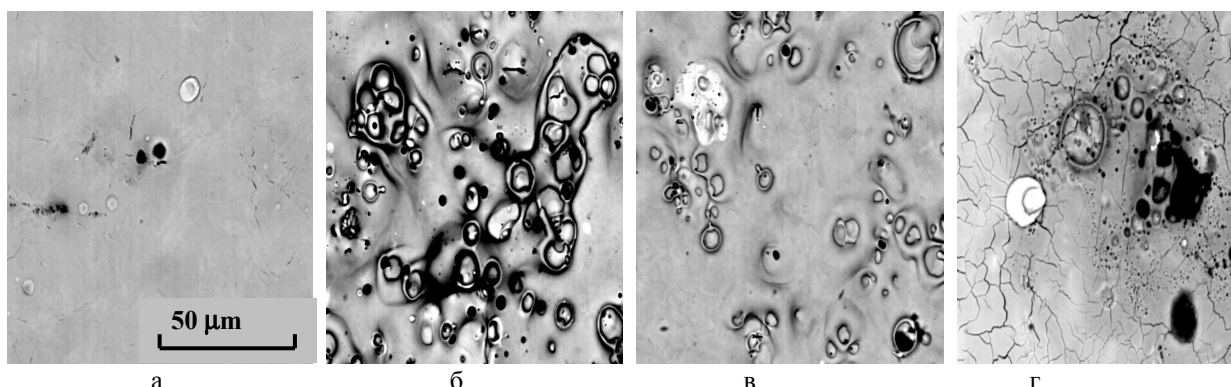


Рис. 2. Сканирование в обратно рассеянных электронах облученных участков поверхности образцов аустенитных сталей: а – 10Cr12Mn20W (экс. №3, 5 мкм.); б – 25Cr12Mn20W (экс. №1, 8 мкм.); в – 10Cr12Mn20W+0,05Sc (экс. №2, 5 мкм.); г – 10Cr12Mn20W+0,05La (экс. №2, 5 мкм.)

Анализ показал, что условия облучения данной стали в эксперименте №3 (плотность мощности на образце достигала значений $q \sim 109 \text{ Вт/см}^2$) соответствовали режиму «разрушения имплантации» [19].

При таком режиме прослеживалась интенсивная эрозия (утонение) ПС, и имплантированный в материал дейтерий практически полностью из него удалялся в результате суммарного термического воз-

действия ионного и плазменного потоков. Поэтому значительная часть дефектов, генерируемая таким воздействием, так же была удалена из облученного ПС стали 10Cr12Mn20W. Остальные же образцы сталей были облучены при $q = 107 \dots 108 \text{ Вт/см}^2$ в так называемом режиме “detachment” [19] (частичного экранирования поверхности от воздействия потока плазмы).

Следует отметить, что в проведенных экспериментах повреждаемость и тип поверхностных дефектов сталей 10Cr12Mn20W и 25Cr12Mn20W заметным образом отличаются от соответствующих характеристик этих сталей в ранее выполненных нами экспериментах на установке PF-1000 [15-17]. В частности, в данной работе мы не наблюдали на поверхности стали 10Cr12Mn20W пузырей типа радиационных блистеров, а на выпуклых участках поверхности стали 25Cr12Mn20W достаточно глубоких кратеров. С другой стороны, в сталях 25Cr12Mn20W и 10Cr12Mn20W+0,05Sc наблюдается формирование специфических поверхностных

структурных дефектов типа «тороидальных колец» и кратеров с достаточно плоским дном (см. рис. 2,б,в). Сталь же с примесью лантана после облучения содержала множество микротрещин (см. рис. 2,г). Очевидно, что наблюдаемые различия связаны с разными режимами облучения образцов в сопоставляемых экспериментах. Главное отличие рассматриваемых здесь экспериментов от опытов, описанных в работах [15-17], заключается в генерации мощных ионных потоков в импульсах, действующих на мишень почти одновременно с ВТП, а также в использовании в качестве рабочего газа дейтерия вместо водорода.

3.4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

На рис. 3 изображены участки поверхности образца стали 10Cr12Mn20W+0,05%La, полученные при сканировании в обратно рассеянных электронах и в характеристическом рентгеновском излучении Fe, Cr, Mn, Cu и W.

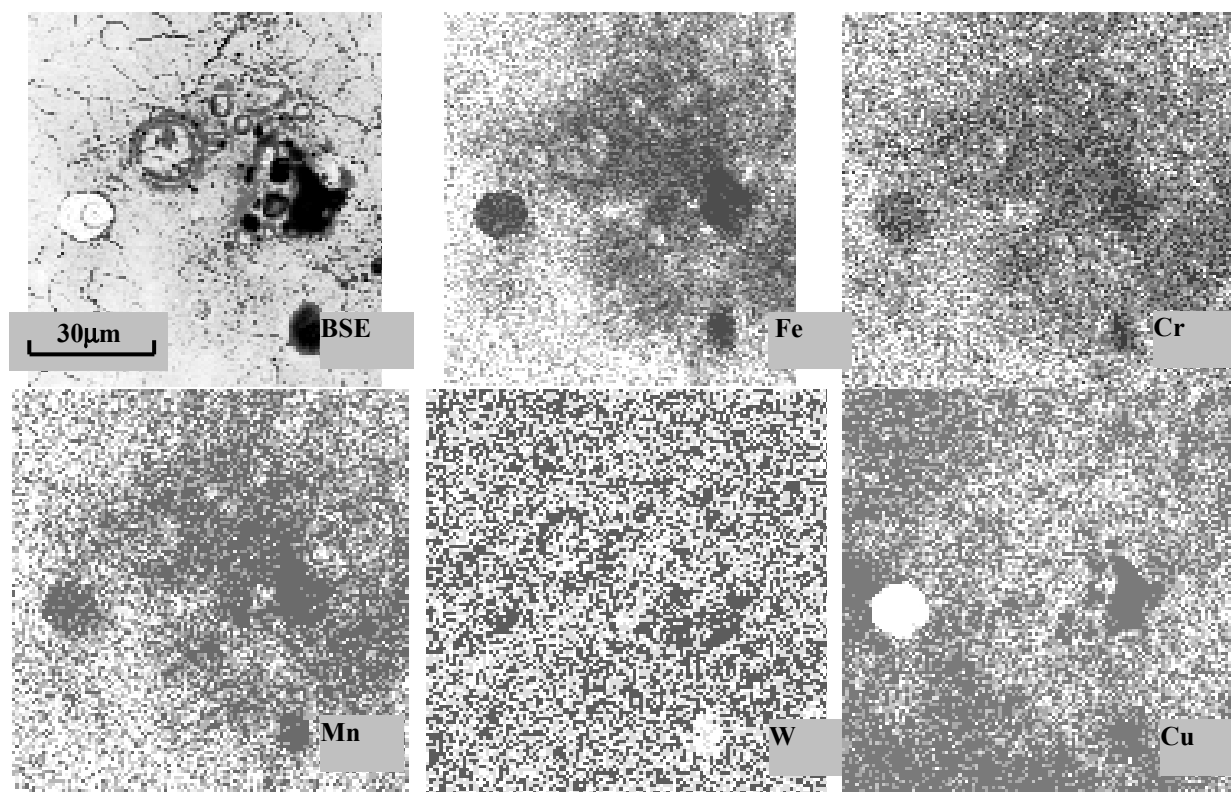


Рис. 3. Сканирование участка поверхности образца стали 10Cr12Mn20W+0.05%La в обратно рассеянных электронах и в характеристическом рентгеновском излучении элементов после 5 импульсов воздействия потоков ионов дейтерия и плазмы

Видно, что в центральной части облученного участка несколько снизилось содержание основных компонентов стали: Fe, Cr и Mn. Этот эффект, вероятно, связан с тем, что указанная область достаточно равномерно покрыта слоем меди (см. рис. 3), который снижает интенсивность характеристического рентгеновского излучения анализируемых элемен-

тов. Локальный рентгеноспектральный анализ позволил также установить, что Cu, а также легкие элементы Al, Si, Ca, которые не входили в состав исходных образцов, присутствовали на поверхности облученной стали в виде отдельных капель. Очевидно, что различные конструкционные и функциональные материалы в объеме камеры содержали

указанные легкие элементы. В процессе импульсных воздействий ЭЭП они, как и упомянутая выше медь (см. п. 3.2), могли испаряться и затем осаждаться на поверхность образцов – мишеней. Осаждение указанных компонентов на поверхность облученных сталей частично компенсировало убыль массы образцов вследствие испарения, а при определенной ситуации (повышенная эффективность генерации релятивистского электронного пучка и его воздействия на анод при сниженном к.п.д. потока быстрых ионов дейтерия) приводило даже к возрастанию их массы по сравнению с исходным состоянием (см. п. 3.2). Этот эффект, однако, являлся также следствием того обстоятельства, что в данных экспериментах использовалась конструкция «сплошного» анода без отверстия в его центре.

Следует заметить, что при реализованных режимах облучения в исследуемых сталях не происходило перераспределения компонентов, которое наблюдалось в наших экспериментах при иных условиях облучения [15, 17].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что импульсное воздействие потоков ионов дейтерия и дейтериевой плазмы в диапазоне микросекундной длительности на исследуемые малоактивируемые аустенитные стали при реализованных режимах облучения в установке PF-1000 приводит к необычному характеру повреждаемости и структурных дефектов, возникающих в поверхностном слое. Максимальная плотность мощности излучения $q \sim 109 \text{ Вт/см}^2$ способствует наиболее интенсивной эрозии облученной поверхности, наблюдаемой для стали 10Cr12Mn20W. Снижение же q до величины $107 \dots 108 \text{ Вт/см}^2$ приводит к заметному увеличению концентрации поверхностных дефектов, обнаруженному для той же стали при небольших добавках скандия или лантана, а также в стали 25Cr12Mn20W. Помимо обычных пор, пузырей, микротрещин, здесь отмечена также и нетрадиционная форма дефектов, возникших на облученной поверхности, а именно – повреждения в виде тороидальных колец и кратеров с плоским дном.

Полученные результаты указывают на более низкую стойкость исследованных аустенитных сталей к воздействию импульсных экстремальных энергетических потоков высокой плотности мощности и малой длительности по сравнению с ферритной сталью 10Cr9WV, изученной нами ранее [15].

В прикладном аспекте результаты данной работы подтверждают широкие возможности в использовании установок ПФ для ионно-плазменной обработки материалов с целью создания модифицированных поверхностных слоев с измененными свойствами и развития на этой основе новых импульсных технологий.

Исследования по данной проблеме частично поддержаны Программой ОХНМ РАН (Гос. контракт №1-03) и Международным Агентством по атомной энергии (контракты: № 11943/R0 и 11943/R1 – с

ИМЕТ РАН, Россия), которым авторы выражают свою признательность.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.G. Kalinin, W. Gauster, R. Matera, A-A.F. Tavassoli, A. Rowcliffe, S. Fabritsiev, H. Kawamura // *Journal of Nuclear Materials*. 1996, v. 233–237, p. 9–16
- 2.K. Lackner, R. Andreani, D.J. Campbell, M. Gasparotto, M. Pick // *10th Int. Conf. on Fusion Reactor Materials, Abstracts 01.PL.2, 14-19 Oct. 2001, Baden-Baden, Germany*.
- 3.R.L. Klueh, D.S. Gelles, S. Jitsukawa, A. Kimura, G.R. Odette, B. Van der Schaaf, M. Victoria, *ibid*, 02A.01.1, 3.
- 4.Л.И. Иванов, Ю.М. Платов. *Радиационная физика металлов и ее приложения*. М.: «Интерконтакт» «Наука», 2002, 300 с.
- 5.A.N. Bandura, V.V. Chebotarev, I.E. Garkusha, V.A. Makhraj, D.G. Solyakov, V.I. Tereshin, H. Wuerz // *10th Int. Conf. on Fusion Reactor Materials, Abstracts 17.PO.10, 378*.
- 6.V.S. Khmelevskaya, V.G. Malynkin, S.P. Solov'ev // *Journal of Nuclear Materials*. 1996, v. 233–237, p. 240–243
- 7.F. Abe, F.A. Garner, H. Kayano. Effect of carbon on irradiation hardening of reduced-activation 10Cr-30Mn austenitic steels // *J. Nucl. Mater.* 1994, v. 212–215, p. 760–765
- 8.RL. Klueh, EA. Kenik. Thermal stability of manganese-stabilised stainless steels // *J. Nucl. Mater.* 1994, v. 212–215, p. 437–441.
- 9.L.I. Ivanov, S.A. Maslyaev, V.N. Pimenov, E.V. Dyomina, Yu.M. Platov. The use of liquid metals in porous in materials for divertor applications // *J. Nucl. Mater.* 1999, v. 271–272, p. 405–409.
- 10.N.P. Lyakishev, E.V. Dyomina, L.I. Ivanov, V.P. Kolotov, V.I. Kashin, Yu.M. Platov, N.N. Savvateev, N.A. Vinogradova, Prospect of development and manufacturing of low activation metallic materials for fusion reactor // *J. Nucl. Mater.* 1996, v. 233–237, p. 1516–1522.
- 11.R. Behrisch, G. Federici, A. Kukushkin, D. Reiter // *10th Int. Conf. on Fusion Reactor Materials, Abstracts 17.PO.23, 14-19 Oct. 2001, Baden-Baden, Germany, 391*.
- 12.A.G. Zaluzhnyj, V.P. Kopytin, A.L. Suvorov, D.M. Uspenskij // *Proc. of the 15th Int. Conf. on Physics of Radiation Phenomena and Radiation Material Sciences, XV-ICPRP, 10-15 June 2002, Alushta, Crimea, 187 (in Russian)*.
- 13.V.V. Fyodorov, E.V. Dyomina, V.I. Pohmursky, M.D. Prusakova, L.I. Voloshin, N.A. Vinogradova. Alloying effect on diffusion parameters of hydrogen in low activated Cr12Mn20W steel // *Physics and chemistry of material treatment*. 1995, v. 4, p. 88–96 (in Russian).

- 14.S.A. Maslyaev, V.N. Pimenov, Yu.M. Platov, E.V. Dyomina, S.Ya. Betsofen, V.A. Gribkov, A.V. Dubrovsky // *Perspektivnye materialy (Advanced materials)*. 1998, v. 3, N 39 (in Russian).
- 15.V.N. Pimenov, E.V. Dyomina, L.I. Ivanov, S.A. Maslyaev, V.A. Gribkov, R. Miklaszewski, M. Scholz, A.V. Dubrovsky, I.V. Volobuev, Yu.E. Ugaste, F. Mezzetti, P. De Chiara, L. Pizzo, B. Kolman, A. Szydowski // *J. Nucl. Mater.* 2002, v. 307–311, part 1, p. 95–99.
- 16.V.N. Pimenov, V.A. Gribkov, A.V. Dubrovsky, F. Mezzetti, M. Scholz, Yu. E. Ugaste, E.V. Dyomina, L.I. Ivanov, S.A. Maslyaev, R. Miklaszewski, M. Borowetski, P. De Chiara, L. Pizzo, A. Szydowski, I.V. Volobuev // *Nukleonika*. 2002, v. 47, N 4, p. 155–162
- 17.В.Н. Пименов, В.А. Грибков, Л.И. Иванов, М. Шольц, Ю.Э. Угасте, Е.В. Демина, С.А. Масляев, А.В. Дубровский, Р. Миклашевский, Б. Колман, А.А. Коденцов // *Перспективные материалы*. 2003, N 1 p. 13–18.
- 18.V.A. Gribkov // *Journal of the Moscow Physical Society*. 1993, v. 3, p. 231.
- 19.V.A. Gribkov, V.N. Pimenov, L.I. Ivanov, E.V. Dyomina, S.A. Maslyaev, R. Miklaszewski, M. Scholz, U.E. Ugaste, A.V. Dubrovsky, F. Mezzetti, V.C. Kulikauskas, V.V. Zatekin // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2003, N 36, p. 1817–1825.

ЕКСТРЕМАЛЬНІ ІМПУЛЬСНІ ВПЛИВИ ЕНЕРГІЇ НА МАЛОАКТИВУЄМІ АУСТЕНІТНІ СТАЛІ

В.М. Піменов, В.А. Грибков, Л.І. Іванов, О.В. Дьоміна, С.А. Масляєв, А.В. Дубровський, М. Шольц, Р. Миклашевський, Ю.Е. Угастє, Б. Колман

Представлені результати впливу потужних імпульсних потоків іонів дейтерію та високотемпературної плазми на малоактивуючі аустенітні сталі різного складу. Розглянуто особливості пошкоджуваності матеріалів та структурних дефектів, які з'являються на опроміненій поверхні при різних режимах імпульсної обробки зразків, розташованих в катодній частині установки PF-1000. Визначені перспективи використання установок Плазмовий фокус для іонно-плазмової обробки матеріалів з метою створення нових імпульсних технологій.

EXTREME PULSED EFFECT OF ENERGY ON LOW-ACTIVATED AUSTENITIC STEELS

V.N. Pimenov, V.A. Gribkov, L.I. Ivanov, E.V. Demina, S.A. Masliyaev, A.V. Dubrovskiy, M. Sholtz, R. Miklashevskiy, Yu.E. Ugastie, B. Kolman

Results are presented on intense pulsed fluxes of deuterium ions and high-temperature plasma influence on low-activated austenitic steels of different composition. Singularities of materials damaging and structure defects on irradiated surfaces are examined under different conditions of sample treatment situated in cathode part of installation PF-1000. Prospects of installations Plasma focus use for ion-plasma treatment of materials are discussed from point of view of new pulsed technologies development.