

На правах рукописи

АРАКЧЕЕВ Алексей Сергеевич

**ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ МОЩНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НАГРУЗКЕ**

01.04.08 – физика плазмы

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

НОВОСИБИРСК – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

ЛОТОВ – доктор физико-математических наук, доцент,
Константин Владимирович Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт ядерной физики
им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

БУДАЕВ – доктор физико-математических наук,
Вячеслав Петрович Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт», г. Москва, старший
научный сотрудник.

ЛОГАЧЕВ – доктор физико-математических наук,
Павел Владимирович член-корреспондент РАН, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО
РАН, заместитель директора по научной работе,
г. Новосибирск.

ВЕДУЩАЯ – Национальный исследовательский ядерный
ОРГАНИЗАЦИЯ университет «Московский инженерно-
физический институт», г. Москва.

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2013 г.
в «_____» часов на заседании диссертационного совета Д 003.016.03
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской
академии наук.

Адрес: 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики
имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан «_____» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

А.А. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Проблема механической устойчивости конструкционных материалов возникала во многих областях науки и техники. Для каждого приложения специфичны свои требования к устойчивости (работа при высоких/низких температурах, многократные пластические деформации, устойчивость к трению и так далее). В процессе развития установок для удержания и нагрева плазмы с целью реализации управляемого термоядерного синтеза мощность потока энергии на стенки установки выросла настолько, что главными механизмами, ограничивающими срок службы материалов стенки, стали механические процессы разрушения [1]. Главным ориентиром по мощности плазменной нагрузки сейчас является проект ITER [2] с прогнозируемым коэффициентом теплового воздействия при импульсных явлениях более $10 \text{ МДж м}^{-2} \text{ с}^{-1/2}$. Кроме механической устойчивости, от материала стенки и дивертора термоядерной установки требуются химическая стойкость к контакту с водородом при высокой температуре, малая нейтронная активация, высокая теплопроводность, малое распыление. Поэтому в данный момент основными твердыми материалами, предлагаемыми в таком качестве, являются графит, вольфрам и материалы на их основе (композитные материалы и сплавы). Они не относятся к классическим конструкционным материалам. При атмосферном давлении графит во время нагрева остается хрупким до температур более 2000°C . Вольфрам имеет высокую для конструкционных металлов температуру перехода из хрупкого состояния в вязкое ($\sim 300^\circ\text{C}$). Опускание температуры ниже этой величины при высоких градиентах температуры может приводить к механическому разрушению. Кроме того, температура выше температуры рекристаллизации (для вольфрама $\sim 1600^\circ\text{C}$) приводит к ухудшению механических свойств. В таких жестких условиях именно хрупкое разрушение ограничивает срок службы материала стенок.

Хрупкое разрушение материала было обнаружено на установке ГОЛ-3 в ИЯФ СО РАН при облучении графита [3]. Графит в этих экспериментах под воздействием мощного плазменного потока рассыпался на мелкие частицы. Позже хрупкое разрушение при плазменной нагрузке было экспериментально обнаружено в виде образования сети трещин на поверхности вольфрама. В данный момент это явление стало популярной темой для исследований [4]. Механическая устойчивость материалов к плазменным нагрузкам изучалась во множестве работ. Аналитическим оценкам и численным расчетам механических повреждений при плазменных нагрузках посвящены работы [5, 6]. Но при типичных параметрах импульсной плазменной нагрузки на материалы в термоядерных уста-

новках есть малые параметры (например, отношение толщины нагретой области к остальным характерным размерам, отношение времени прохождения звуковой волны через нагретую область к времени облучения и так далее), позволяющие аналитически решать задачу, учитывающую одновременно упругость, пластичность и хрупкость материала. Прозрачность аналитической модели позволяет существенно продвинуться в понимании процессов, происходящих в материале при импульсной плазменной нагрузке.

Механические напряжения, в результате которых происходит это хрупкое разрушение, возникают в результате теплового расширения при сильно неоднородном нагреве. Механические повреждения, образующиеся в результате таких напряжений, имеют ряд особенностей, отличающих их от классических случаев приложения механических напряжений к материалам, рассматриваемых в теории сопротивления материалов. Первая особенность: механические напряжения при тепловой нагрузке возникают без приложения поверхностных сил. В уравнении механического равновесия появляется член, выражающийся через градиент температуры. Это отличие существенно изменяет математические расчеты и их результаты. Вторая особенность: механические напряжения при тепловой нагрузке возникают синхронно с повышением температуры. Стандартные механические испытания и расчеты производятся при постоянном распределении температуры. Существенная зависимость от температуры не только численных параметров материала, но и его качественного поведения при приложении механического напряжения (хрупко-вязкий переход металлов) требует дополнительного анализа.

Таким образом, создание аналитической модели хрупкого разрушения материалов при мощной плазменной нагрузке является актуальным и востребованным для проектирования термоядерного реактора.

Цель диссертации

Работа посвящена исследованию механизмов и свойств хрупкого механического разрушения материалов при мощной плазменной нагрузке и формулировке моделей дробления хрупких материалов на пылевые частицы и образования трещин на материалах с хрупко-вязким переходом.

Основной причиной хрупкого разрушения являются механические напряжения, возникающие при плазменной нагрузке в материале из-за теплового расширения. Графит, являясь хрупким материалом, имеет только упругие механические напряжения. Поэтому для описания образования пылевых частиц при облучении графита требуется создать модель дробления материала вследствие упругих напряжений.

Для объяснения образования трещин на поверхности вольфрама и

вольфрамовых сплавов стационарных упругих напряжений недостаточно. Поэтому целью работы является проверка возможности образования таких трещин вследствие неустойчивости упругих напряжений.

Другой возможной причиной образования трещин являются пластические напряжения. Для проверки этой гипотезы требуется создание модели, учитывающей следующие явления: распространение тепла в материале, тепловое расширение, упругость, пластичность и хрупкость материала.

Личный вклад автора

Все результаты диссертации получены либо лично автором, либо при его решающем участии. Автор активно участвовал в постановке задач диссертации в рамках предложенного ему направления работы. Кроме того, автор участвовал в экспериментах по лазерной симуляции мощной плазменной нагрузки на вольфрам в установке PSI-2 в исследовательском центре в Юлихе (Германия). Полученные в ходе этих экспериментов данные стали материалом для сравнения с теоретическими результатами.

Научная новизна

До выполнения данной работы теория хрупкого разрушения материалов при мощной плазменной нагрузке была представлена аналитическими оценками [5] и множеством численных расчетов [6, 7].

Новые результаты по образованию трещин на вольфраме получены благодаря использованию точных аналитических методов расчета механических напряжений в материале, вызванных расширением при тепловой нагрузке. Для упрощения формул и доведения их до возможности прямого применения к результатам, получаемым на экспериментальных установках, активно использовались малые параметры, характерные для теории сопротивления материалов и условий мощной плазменной нагрузки:

- малость деформации;
- малое отношение толщины нагретой области к размерам нагреваемой поверхности;
- малое время установления механического равновесия по сравнению с характерным временем облучения.

Использование аналитических методов с упрощенными благодаря малым параметрам формулами позволило сделать процедуру вычисления механических напряжений (упругое, пластическое и полное) простой и прозрачной. При этом точность используемых базовых физических мо-

делей отдельных физических явлений не уступает соответствующим моделям, лежащим в основе численных кодов.

Максимальный известный измеренный диапазон размеров пылевых частиц, в котором было произведено измерение распределения по размеру, составляет 4 порядка. Показательное распределение приводит к тому, что значение функции распределения на концах этого интервала отличается более чем на 10 порядков [8]. Это делает численный расчет образования таких частиц очень затратным по требуемой вычислительной мощности. Именно поэтому вычисление распределения образующихся при мощной плазменной нагрузке графитовых частиц по размеру было произведено аналитически. Для этого использовались соображения размерности и самоподобия дробления. Благодаря аналитическому подходу впервые удалось связать геометрию дробления материала на частицы с их распределением по размеру. Найдена связь использовавшегося метода с фрактальной геометрией.

Научное и практическое значение результатов

В попытках реализации управляемого термоядерного синтеза строятся все более мощные плазменные установки. Вместе с мощностью нагрева плазмы растет и плотность потока мощности на стенки плазменных установок. Кроме постоянной нагрузки, в плазменных установках появились еще и импульсные события, приводящие к многократному росту потока мощности на короткий промежуток времени. На данный момент проблема принятия потоков плазмы из термоядерного реактора остается нерешенной.

В работе теоретически получены условия механического разрушения материалов под мощной плазменной нагрузкой, а также некоторые геометрические характеристики получающихся в результате механического разрушения пылевых частиц и трещин. Полученная теоретическая процедура вычисления механических напряжений (упругих, пластических и полных) позволяет количественно анализировать процесс разрушения материалов с точки зрения механизмов, приводящих к механическим повреждениям. Такой анализ позволяет количественно предсказывать, какие свойства материалов необходимы для лучшей устойчивости к мощным потокам плазмы.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие положения:

1. Степенное распределение пылевых частиц, образовавшихся в результате хрупкого разрушения, аналитически полученное на основе гипотезы масштабного подобию дробления. Показатель распределе-

ния пылевых частиц, больших толщины разрушенного слоя, в интервале от -3 до -2 , для меньших – от -4 до -3 , в предположении регулярности формы частиц для пылинок. Наилучшее соответствие экспериментальных данных с касательными упаковками шаров.

2. Инкремент неустойчивости пластины с нагретым поверхностным слоем. Отсутствие этой неустойчивости в технически значимых для первой стенки и дивертора термоядерных установок случаях.
3. Аналитическая модель, описывающая пластические деформации материала с хрупко-вязким переходом при нагревом приповерхностном слое. Условия образования трещин при импульсной тепловой нагрузке. Зависимости глубины трещин от мощности поверхностного нагрева. Совпадение теоретических результатов с экспериментальными данными.
4. Постановка математической задачи, необходимой для расчета развития трещин на материалах с хрупко-вязким переходом. Решение стационарной задачи теории упругости для четверти пространства с однородными вдоль ребра силами.

Апробация результатов работы

Работы, положенные в основу диссертации, неоднократно докладывались и обсуждались на семинарах в ведущих отечественных и зарубежных центрах, таких как ИЯФ СО РАН (г. Новосибирск), исследовательский центр Юлих (г. Юлих, Германия). Кроме того работы докладывались на международных конференциях:

- 8th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Novosibirsk, Russia, July 5-9, 2010);
- European Physical Society 38th Conference on Plasma Physics (Strasbourg, France, 27th June - 1st July, 2011);
- 2nd International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Julich, Germany, September 19 - 21, 2011);
- 4th International Workshop on Plasma Material Interaction Facilities for Fusion Research (Oak-Ridge, USA, September 9 - 13, 2013).

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и одного приложения. Текст диссертации содержит 112 страниц, 21 рисунок и 2 таблицы. Список литературы состоит из 60 работ.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приведено описание современного состояния дел в изучении взаимодействия плазмы с материалами с механическим разрушением последних. Обсуждены цели и план их реализации в диссертации, а также дана оценка актуальности работы.

Первая глава посвящена описанию хрупкого разрушения графита с образованием пылевых частиц. Для описания графита как хрупкого материала, то есть материала без пластических деформаций и напряжений, достаточно знать зависимость упругих напряжений от распределения температуры. Их вычисление приведено в приложении А. С помощью выражений для упругих напряжений показан характер хрупкого разрушения графита, а также обосновано, что в предположении масштабного подобия дробления материала распределение получающихся пылевых частиц по размерам является степенным. Последнее сделано при помощи специально разработанной модели дробления материала со следующими основными уравнениями, представляющими рекуррентную схему:

$$V_n = V_{n-1} - c_1 r_n^3, \quad (1)$$

$$S_n = S_{n-1} + c_2 r_n^2, \quad (2)$$

$$r_{n+1} = c_3 V_n / S_n, \quad (3)$$

где V_n и S_n – объем и площадь поверхности тела, оставшегося от исходного после удаления n -ого по размеру фрагмента, r_n – размер n -ого фрагмента, c_1 , c_2 и c_3 – коэффициенты, зависящие от формы удаляемых фрагментов. Выведена связь показателя этого степенного распределения с геометрией дробления:

$$f(r) \propto r^{-\gamma}, \quad \gamma = 3 + \frac{1}{1 + c_1 c_3 / c_2}. \quad (4)$$

Показано, что возможный диапазон показателя функции распределения для дробления двумерного тела от -3 до -1 , а для трехмерного от -4 до -1 . Таким образом, получение экспериментально измеренного значения показателя функции распределения по размеру фрагментов твердого тела меньше -3 свидетельствует об объемном типе хрупкого разрушения. При предположении регулярности формы фрагментов допустимые диапазоны показателя сужаются: для двумерного от -3 до -2 , для трехмерного от -4 до -3 . Такие непересекающиеся интервалы позволяют однозначно указать тип разрушения (объемный и поверхностный) по измеренному показателю функции распределения. Найдена связь указанной выше модели с фрактальной геометрией. Показатель распределения

по размерам связан с размерностью остаточного множества:

$$\gamma = 1 + D. \quad (5)$$

Наилучшее совпадение с экспериментальными результатами дает модель дробления, аналогичная касательным упаковкам шаров и дисков.

Во второй главе исследовалась устойчивость упругих механических напряжений, возникающих в результате нагрева приповерхностного слоя. В рамках нелинейной теории упругости решалась задача о дисперсионном соотношении поверхностных акустических волн в пластине с модельным распределением температуры. С помощью сформулированного матричного формализма был численно найден инкремент неустойчивости пластины с нагретым приповерхностным слоем. Оказалось, что пластина может быть механически неустойчивой, но при этом возмущение не может быть локализовано в нагретой области, а, следовательно, длина волны неустойчивости всегда много больше толщины пластины. Соответственно, неустойчивость не развивается во всех технически значимых для термоядерных установок случаях.

Третья глава посвящена анализу пластических деформаций и напряжений в материалах, переходящих при нагреве из хрупкого состояния в вязкое (например, в вольфраме). Благодаря тому, что при нагреве тонкой приповерхностной области в материале возникают только изотропные упругие напряжения вдоль поверхности (вывод в приложении А), пластические напряжения обладают теми же свойствами. Так как упругие напряжения зависят только от локальной температуры (вывод в приложении А), то все напряжения на заданной глубине зависят только от того, как меняется температура на этой глубине. Это позволяет проанализировать синхронное изменение температуры и упругого, пластического и полного напряжений на заданной глубине. Такие синхронные графики представлены на рисунке 1. Цикл нагрева и охлаждения содержит пять стадий:

- упругое сжатие;
- пластическое сжатие;
- обращение полного напряжения;
- пластическое растяжение;
- упругое растяжение.

В результате анализа поведения полного напряжения были получены три условия образования трещин:

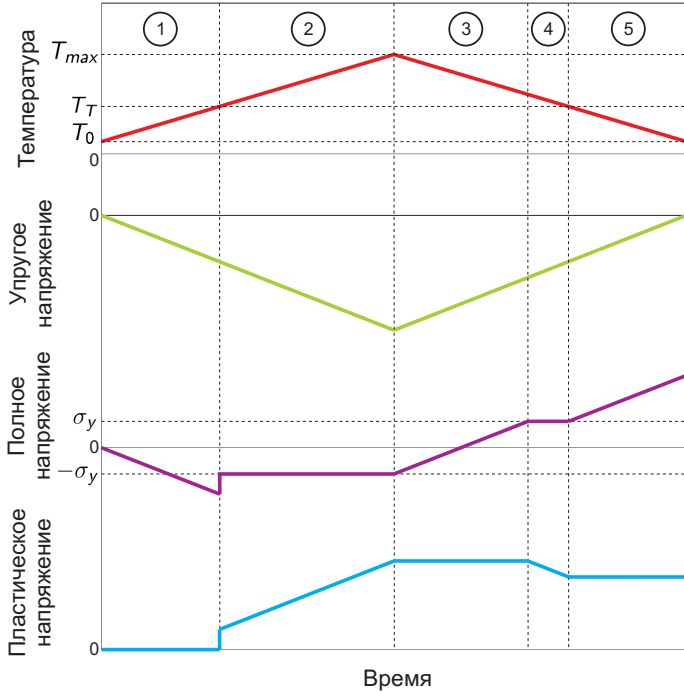


Рис. 1. Схематическое изменение температуры, упругого, полного и пластического напряжений в слое во время первого цикла нагрева и охлаждения. Графики нарисованы без соблюдения масштаба.

$$T_{max} > T_T, \quad (6)$$

$$-\sigma_y + \frac{\alpha E}{1 - \sigma} (T_{max} - T_0) > \sigma_t, \quad (7)$$

$$T_0 < T_T - \frac{1 - \sigma}{\alpha E} (\sigma_t - \sigma_y), \quad (8)$$

где T_{max} – максимальная температура слоя, T_T – температура перехода из хрупкого состояния в вязкое, T_0 – температура, при которой материал считается недеформированным, σ_y – предел текучести, σ_t – предел прочности на разрыв, E – модуль Юнга, σ – коэффициент Пуассона. От параметров облучения в этих условиях зависит только максимальная температура слоя. В случае поверхностного нагрева максимальная температура достигается на поверхности после окончания облучения, и для

нее существует известная формула:

$$T_{max} = T_0 + 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi C_P D}} W, \quad (9)$$

где τ – длительность облучения, C_P – удельная теплоемкость, D – теплопроводность, W – плотность мощности поверхностного нагрева. Условие образования трещин может быть представлено в виде области в координатах: начальная температура (T_0) и коэффициент теплового воздействия ($W\sqrt{\tau}$). Такое представление изображено на рисунке 2.

На основе полученных условий образования трещин в терминах максимальной температуры слоя за цикл нагрева и охлаждения численно получена зависимость глубины трещин от мощности облучения.

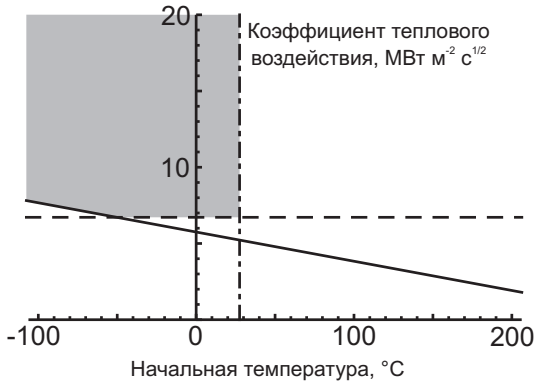


Рис. 2. Условия облучения вольфрама для образования трещин. Серым отмечена область, в которой выполняются условия появления трещин. Линиями нарисованы границы выполнимости условий: первое условие (6) – сплошная линия, второе (7) – пунктирная линия, третье (8) – штрих-пунктирная линия.

Теоретические результаты совпали с экспериментальными данными, полученными на установках JUDITH-1 (Юлих, Германия), PSI-2 (Юлих, Германия) и ГОЛ-3 (Новосибирск, Россия).

Четвертая глава посвящена развитию трещин на материалах с хрупко-вязким переходом. Рассматривается вопрос о вычислении геометрических характеристик трещин и условий образования трещин, параллельных поверхности материала. Показано, что для этого необходимо решить задачу, учитывающую упругость, пластичность и хрупкость, для тела с трещиной, неоднородным нагревом и силами, приложенными к

стенкам трещин. Решена вспомогательная силовая задача линейной теории упругости для четверти пространства. Для решения этой задачи она сведена к уравнению Фредгольма второго рода, имеющему решение в виде быстро сходящегося ряда.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Теоретически показано, что в графите плазменная нагрузка может приводить к хрупкому разрушению только в виде дробления на пылевые частицы. На основе гипотезы масштабного подобия дробления аналитически получено степенное распределение таких пылевых частиц. Получено выражение для показателя распределения по размерам через геометрию дробления. Проанализировано влияние различных дополнительных механизмов на геометрию дробления и распределение по размерам частиц. Показано, что в предположении регулярности формы частиц для пылинок, больших толщины разрушенного слоя, показатель распределения находится в интервале от -3 до -2 , для меньших – от -4 до -3 . Переход между этими интервалами может использоваться для определения толщины разрушаемого слоя. Наилучшее соответствие экспериментальных данных получено с касательными упаковками шаров.

2. Решена задача о неустойчивости пластины с нагретым поверхностным слоем. Показано, что неустойчивое возмущение не может быть локализовано в нагретом слое. Поэтому эта неустойчивость не возникает в технически значимых для первой стенки и дивертора термоядерных установок случаях.

3. Подобраны модели всех физических явлений, необходимых для описания образования трещин на вольфраме. На их основе сформулирована аналитическая модель, описывающая пластические деформации материала с хрупко-вязким переходом при нагревом приповерхностном слое. Анализ синхронного поведения температуры и напряжений позволил получить условия образования трещин при импульсной тепловой нагрузке и зависимость глубины трещин от мощности поверхностного нагрева. Продемонстрировано совпадение теоретических результатов с экспериментальными данными. Показано, что условия образования трещин могут выполняются сначала на некоторой глубине, а не на поверхности.

4. Для описания дальнейшего развития трещин сформулирована математическая задача, учитывающая упругость, пластичность и хрупкость материала. Решена вспомогательная стационарная задача теории упругости для четверти пространства с однородными вдоль ребра силами.

В приложении А показано, что для описания упругих механических напряжений в стенках термоядерных установок при импульсной

плазменной нагрузке можно использовать выражение:

$$\sigma_{zz}^e = \sigma_{xy}^e = \sigma_{xz}^e = \sigma_{yz}^e = 0, \quad (10)$$

$$\sigma_{xx}^e = \sigma_{yy}^e = -\frac{\alpha E(T(z) - T_0)}{(1 - \sigma)}, \quad (11)$$

где ось z направлена по нормали к поверхности, σ_{ij}^e – упругая часть тензора напряжений.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. A.S. Arakcheev, K.V. Lotov. Formation of Small Dust Particles by Brittle Destruction. // Fusion Science & Technology. 2011. V. 59(1T). P. 265-267.
2. А.С. Аракчеев, К.В. Лотов. Аналитическая модель хрупкого разрушения на основе гипотезы масштабного подобия. // ЖЭТФ. 2012. Том 142, вып. 2. С. 271-278.
3. A.S. Arakcheev, K.V. Lotov. Model of brittle destruction based on hypothesis of scale similarity. // Abstracts of 38th EPS Conference on Plasma Physics. 2011. P1.063. URL: <http://ocs.ciemat.es/EPS2011PAP/pdf/P1.063.pdf> (дата обращения: 14.10.2013).
4. E.I. Soldatkina, A.S. Arakcheev and P.A. Bagryansky. Experiments in support of the Gas Dynamic Trap based facility for plasma-material interaction testing. // Fusion Engineering and Design. 2013. V. 88(11). P. 3084-3090.

Список литературы

- [1] Ph. Mertens, V. Thompson, G.F. Matthews, et al. Bulk tungsten in the JET divertor: Potential influence of the exhaustion of ductility and grain growth on the lifetime. // Journal of Nuclear Materials. 2013. V. 438. P. S401-S405.
- [2] R. Aymar, P. Barabaschi and Y. Shimomura. The ITER design. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2002. V. 44. P. 519-565.
- [3] A.V. Burdakov, M.N. Chagin, V.V. Filippov, et al. On a Possibility of Explosive Material Erosion under Conditions of Iter Disruption Eventa. // Journal of Nuclear Materials. 1996. V. 233, Part 1. P. 697-700.

- [4] M. Wirtz, J. Linke, G. Pintsuk, L. Singheiser, et al. Comparison of the thermal shock performance of different tungsten grades and the influence of microstructure on the damage behaviour. // Physica Scripta. 2011. V. T145. P. 014058.
- [5] S.E. Pestchanyi, J. Linke. Simulation of cracks in tungsten under ITER specific transient heat loads. // Fusion Engineering and Design. 2007. V. 82. P. 1657-1663.
- [6] H. Wurz, B. Bazylev, I. Landman, et al. Macroscopic erosion in tokamak off normal events. // Fusion Engineering and Design. 2001. V. 56-57. P. 397-401.
- [7] Pestchanyi, S. Simulation of residual thermostress in tungsten after repetitive ELM-like heat loads / S.Pestchanyi, I.Garkusha, I.Landman. // Fusion Engineering and Design. 2011. V. 86. P. 1681-1684.
- [8] K. Koga, S. Iwashita, S. Kiridoshi, et al. Characterization of Dust Particles Ranging in Size from 1nm to 10 μ m Collected in the LHD. // Plasma and Fusion Research: Regular Articles 2009. P. 034.

АРАКЧЕЕВ Алексей Сергеевич

**Особенности поведения материалов
при мощной плазменной нагрузке**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Подписано в печать 23.10.2013 г.

Сдано в набор 24.10. 2013 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 0.9 печ.л., 0.7 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 27

Обработано на РС и отпечатано
на ротапринте ИЯФ СО РАН,

Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11