

с диверторной системой PDX. Можно ожидать, что в 1978—1979 г. исследования, проводимые на этих установках, позволят ответить на некоторые вопросы, определяющие дальнейшее развитие программы по токамакам. К ним относятся:

определение законов подобия поведения плазмы при температуре до 4 кэВ в бесстолкновительном (реакторном) режиме (PLT);

сравнительная оценка различных методов контроля уровня примесей в плазме (ISX-B, PDX);

определение предельных значений β в токамаках (PLT, ISX-B);

проверка концепций оптимизации формы поперечного сечения плазменного шнура («Dublet III», ISX-B);

экспериментальная оценка эффективности ВЧ-методов нагрева на ионно-циклотронной и нижней гибридной частотах (PLT, «Alcator-C», D IIA);

экспериментальная проверка системы инжекции в плазму топливных крупинок (ISX-B). Кроме того, на токамаке «Alcator-C» можно ожидать получения параметра удержания плазмы $\tau \sim 10^{14}$ см⁻³·с при температуре ионов ~ 1 кэВ.

По программе открытых магнитных ловушек интересные результаты в плане перспектив повышения

коэффициента усиления мощности в термоядерной системе ожидается получить на амбиполярной (гандемпной) установке ТМХ (Tandem Mirror eXperiment), сооружаемой в настоящее время в Лоуренсовской лаборатории в Ливерморе. Установка ТМХ (см. рисунок) представляет многопробочную прямую систему с усиленными магнитными пробками по торцам. Общая длина установки ~ 8 м. В качестве торцевых пробок будут использоваться ловушки, аналогичные действующей ловушке 2ХПВ. Предполагается, что n в торцевых пробках составит $\sim 5 \cdot 10^{11}$ см⁻³ при плотности $5 \cdot 10^{13}$ см⁻³, а в центральной части соответственно $3 \cdot 10^{11}$ см⁻³ при $2 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Пучки нейтральных частиц будут инжектироваться в торцевые пробки.

Общий объем финансирования исследований термоядерных систем с магнитным удержанием плазмы в 1979 фин. г. составит 334 млн. долл. (в 1978 фин. г. 348 млн. долл.). Этот уровень ассигнований обеспечивает развитие основных исследовательских программ как по основному направлению (токамаки), так и по открытым магнитным ловушкам. Однако планировавшиеся ранее широкие развертывание работ по инженерным проблемам УТС несколько сократилось.

ЕЛИСЕЕВ Г. А.

Конференции, совещания

Конференция по реакторному материаловедению

Реакторное материаловедение в связи с интенсивным развитием ядерной энергетики, а также разработкой проблемы управляемого термоядерного синтеза и т. п. приобретает в настоящее время особо важное значение. Рассмотрению научно-технических проблем материалов, предназначенных для использования в ядерных энергетических реакторах, была посвящена конференция, проведенная ГКАЭ СССР 29 мая — 1 июня 1978 г. на базе отдыха ХФТИ АН УССР в Алуште. В ней участвовало около 200 советских и зарубежных специалистов. Всего было представлено более 90 докладов, из них 21 доклад сделали зарубежные специалисты.

Конференцию открыл академик А. А. Бочвар, который в своей речи осветил состояние и уровень работ по ядерной энергетике и отметил важность задач, стоящих перед учеными и инженерами, работающими в области реакторного материаловедения.

На трех пленарных заседаниях были заслушаны обзорные доклады о топливных и конструкционных материалах для твэлов ядерных энергетических реакторов и о физике радиационных повреждений. На конференции работали три секции: топливных материалов, где было зачитано 22 доклада, конструкционных материалов (16 докладов) и физики радиационных повреждений (52 доклада).

Топливные материалы. Как показала конференция, сблизились точки зрения специалистов в отношении требований к гомогенности смешанного топлива, оценки эффекта сегрегации плутония в процессе работы твэлов. Отмечалась необходимость высокой автоматизации производственных процессов получения сердечников и твэлов из керамического топлива. На конференции были представлены диаграммы состояний U — C — N — O и Pu — C — O — N, данные о некоторых

термодинамических свойствах плутониевых систем и испаряемости плутония. Эти данные представляют значительный интерес для специалистов, работающих над проблемами использования смешанного ядерного топлива. Высказано общее мнение о возможности и перспективности применения виброуплотненного топлива. Радиационные исследования смешанного окисного топлива показали возможность уверенного достижения глубины выгорания до 10%. Отмечено существенное взаимодействие сердечника из смешанного уран-плутониевого топлива со стальной оболочкой в присутствии углерода и повышенного соотношения кислорода к металлу.

На конференции были рассмотрены также вопросы применения ядерного топлива из металлического урана. Были обсуждены предъявляемые к топливу требования и намечены пути дальнейшего усовершенствования окисного, включая получение топлива повышенной плотности.

Конструкционные материалы. Наибольшее внимание на конференции было уделено циркониевым сплавам и сталям для оболочек твэлов.

Советские исследователи представили данные о разработанных сплавах циркония с ниобием и их поведении при испытаниях в воде в условиях облучения. Работы, выполненные советскими специалистами по механизму окисления циркониевых сплавов и фазовому составу окисных пленок γ -резонансной спектроскопией, являются новаторскими. Канадские специалисты в докладах привели данные о факторах, определяющих коррозию циркониевых сплавов, в том числе под облучением. Отмечалось, что ползучесть является сложным процессом, зависящим от состава сплавов и условий испытания, и обусловлена влиянием термических и радиационных факторов.

В докладах советских и зарубежных исследователей, посвященных радиационной стойкости сталей для оболочек твэлов, отмечается значительный прогресс в понимании явлений охрупчивания, радиационной ползучести и распухания конструкционных сталей. Проведено исследование дозных и температурных зависимостей распухания сталей различного состава в зависимости от флюенса и условий облучения. Проведены массовые исследования оболочек твэлов, достигших выгорания до 10% и более в БОР-60 и БР-10. Предложены направления работ по совершенствованию и созданию новых более радиационно-стойких материалов. Однако отмечалось, что эта проблема продолжает оставаться одной из наиболее актуальных. Особого внимания требует изучение поведения сталей в условиях облучения быстрыми нейтронами и при больших флюенсах (более $2 \cdot 10^{23}$ нейтр./см²).

Физика радиационных повреждений. Анализ докладов, представленных на конференцию, показал, что за последние годы в СССР достигнуты определенные успехи как в исследованиях физики радиационных повреждений, так и в понимании механизмов, ответственных за радиационную повреждаемость материалов под облучением в условиях эксплуатации в ядерных реакторах. Разработан и реализуется комплексный корреляционный эксперимент, задачей которого является выработка общего подхода к постановке, проведению и интерпретации результатов исследований по различным проблемам физики радиационных повреждений и радиационному материаловедению.

Получены новые результаты исследования первичных процессов взаимодействия излучения с веществом, определены потери энергии, обусловленные этим взаимодействием, теоретически исследованы каскады столкновений, возбуждаемые в твердом теле быстрыми частицами, проведены теоретические и экспериментальные исследования ориентационных эффектов в кристаллах. В последние 5—7 лет широкое развитие получило математическое моделирование радиационных повреждений в направлении создания системно-программных комплексов, описывающих влияние различных видов облучения на свойства материалов. На основе фундаментальных и прикладных исследований разработан новый метод расчета спектров первично-выбитых атомов, основанный на современных ядерных моделях, что позволяет существенно сократить объем экспериментальных исследований.

Советские специалисты рассказали о новых подходах к решению задач об энергетических потерях осколков деления и создаваемого радиационного повреждения как машинным моделированием, так и аналитическими методами. Большую роль в установлении механизмов радиационного повреждения материалов играют имитационные исследования, выполненные с помощью пучков заряженных частиц и γ -квантов. Советские ученые предложили и экспериментально обосновали новый способ имитации радиационных повреждений в микроскопических образцах с помощью пучков высокоэнергетических электронов и γ -квантов.

Большое внимание уделяется исследованию механизмов влияния облучения на механические свойства материала: радиационное упрочнение, охрупчивание,

ползучесть. Эксперименты, проведенные в Советском Союзе по облучению материалов α -частицами, протонами, ионами лития, электронами и γ -квантами с энергией выше и ниже порога ядерных реакций, позволили однозначно показать важную роль гелия в явлении высокотемпературного радиационного охрупчивания.

За рубежом интенсивно изучается ползучесть материалов, в частности, с использованием пучков заряженных частиц. Исследования направлены на выяснение ее механизмов, прогнозирование поведения материалов при большой плотности потоков нейтронов. В Советском Союзе эти исследования только начинаются.

В докладах советских и зарубежных ученых показано, что в настоящее время необходимо уделять серьезное внимание выделению избыточных фаз, кинетике развития дислокационной структуры в процессе облучения, а также определению роли легирующих элементов на поведение материалов в условиях эксплуатации ядерных реакторов.

На конференции было представлено два доклада советских ученых, посвященных исследованию на ускорителях важного для быстрых реакторов вакансионного распухания. За рубежом такие исследования интенсивно развиваются.

Как показала конференция, в области физики радиационных повреждений разработки топливных и конструкционных материалов для ядерного реакторостроения в Советском Союзе и за рубежом развиваются в одних и тех же направлениях. Актуальным остается изучение конкретных проявлений радиационной повреждаемости материалов — вакансионного распухания, ползучести под облучением, низко- и высокотемпературного радиационного охрупчивания, радиационного роста. Следует развивать работы по коррозии и совместности материалов под облучением, а также совершенствовать и создавать новые методы получения ядерного топлива керамического типа.

Доклады, представленные на конференцию, и дискуссия подтвердили важность и необходимость решения проблемы физики радиационных повреждений для реакторного материаловедения. Радиационная стойкость материалов является одним из главных факторов, определяющих создание надежно и долговременно работающих реакторных конструкций в условиях воздействия на них быстрых и тепловых нейтронов.

Академик АН УССР В. Е. Иванов в своем выступлении, в частности, отметил, что на Украине около 50% всех вводимых энергетических мощностей будут базироваться на использовании реакции деления урана. К 2000 г. в мире около 50% энергии будет производиться АЭС. В действующих энергетических реакторах (на тепловых нейтронах) используется всего лишь до 1% потребляемого урана. Увеличение коэффициента использования природного урана (особенно значительное при применении быстрых реакторов) может быть достигнуто путем решения ряда научно-технических проблем, в том числе повышением стойкости материалов в поле ядерных излучений.

Труды конференции будут изданы ЦНИИАтоминформом.

ГУСАРОВ М. С.