

ным продолжать и интенсифицировать исследования в этом направлении.

С этой целью совещание рекомендует МАГАТЭ рассмотреть пути обеспечения дальнейшего обмена информацией между странами, заинтересованными в развитии газовых реакторов-размножителей, либо в рамках существующей Международной рабочей группы по быстрым реакторам, либо другим удобным способом.

В целом совещание показало, что интерес к быстрым реакторам с газовым охлаждением растет и что в ряде стран развиваются научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, направленные на создание прототипных установок.

Материалы совещания будут опубликованы МАГАТЭ.

Н. М. СИНЕВ, В. М. ШМЕЛЕВ

VI Международный симпозиум по влиянию облучения на конструкционные материалы

С 26 по 28 июня 1972 г. в Лос-Анжелесе (США) проходил VI Международный симпозиум по влиянию облучения на конструкционные материалы, организованный американским обществом испытания и материалов (ASTM).

В симпозиуме приняли участие ведущие специалисты американских национальных центров и фирм, проводящих исследования и разработки в области ядерной энергетики, а также представители исследовательских центров и университетов других стран. Было представлено 44 доклада по следующим разделам: 1) механика разрушения сталей корпусов реакторов; 2) влияние структуры и примесей на свойства корпусных сталей; 3) микроструктурные изменения под действием нейтронного облучения (образование пор, выделение фаз, образование пор под действием заряженных частиц); 4) математическое моделирование; 5) механические свойства (пластичность, ползучесть, усталость, прочность).

Доклады первого раздела были посвящены главным образом разработке основанных на механике разрушения критериев надежности корпусов и нахождению корреляций между этими критериями и стандартными механическими свойствами. Рассматривалась возможность определения коэффициента вязкости разрушения на обычных образцах типа Шарпи с предварительно введенной усталостной трещиной в надрезе, а также некоторые новые методы оценки сопротивления хрупкому разрушению (сопротивления распространению трещины) при статических и динамических испытаниях на изгиб.

Как известно, поведение различных малоуглеродистых и низколегированных сталей, используемых для корпусов реакторов, по отношению к охрупчиванию, вызываемому облучением, различно. В ряде докладов о влиянии состава корпусных сталей на их радиационную стойкость рассмотрен механизм действия отдельных примесей (меди, азота, углерода) с точки зрения их взаимодействия с дефектами. При этом подчеркивалась роль примесей азота и состояния, в котором он находится в стали (в твердом растворе или в связанном состоянии в виде нитридов и карбонитридов). Эти работы вносят известную ясность в понимание механизма вредного влияния меди на радиационную стойкость стали и на температурную устойчивость изменений, вызванных облучением.

Наиболее детально обсуждена проблема радиационного повреждения нержавеющей сталей и прежде всего образование пор и распухание сталей. Приведены данные о распухании нержавеющей сталей при облучении интегральными потоками нейтронов более 10^{23} нейтр/см² или эквивалентными этим потокам

дозами облучения тяжелыми ионами (C⁺, Ni⁺, Ta⁺) при температурах 450—700°С. Наиболее существенные выводы из этих докладов: 1) при интегральных потоках 10^{23} — $8 \cdot 10^{23}$ нейтр/см² насыщение эффекта распухания нержавеющей сталей отсутствует; 2) распухание увеличивается примерно в линейной зависимости от дозы облучения. По данным облучения в быстром реакторе (EBR-II) распухание стали 304 при интегральном потоке $1,1 \cdot 10^{23}$ нейтр/см² составило 11 об.%. (Р. Фиш и др., США).

При облучении тяжелыми ионами сталей 304 и 316 дозами $3 \cdot 10^{23}$ нейтр/см² распухание достигает 30%. Сталь 304 распухает до 30 об.%, при интегральных потоках до $2 \cdot 10^{23}$ нейтр/см².

Следует отметить, что предварительная деформация сталей снижает их распухание (в два-три раза по сравнению с аустенизированной) только в области температур менее 600°С (В. Джонстон и др., США). При интегральных потоках $(3 \div 4) \cdot 10^{23}$ нейтр/см² и температуре 625°С распухание практически одинаково как для аустенизированной, так и для предварительно холоднодеформированной сталей. Хотя все эти данные получены при облучении на ускорителях тяжелыми ионами, вряд ли может быть сомнение в их представительности. Проведенные подробные исследования показывают достаточно хорошую корреляцию между данными облучения в реакторе и на ускорителях в широком интервале доз облучения.

В этом отношении заслуживают внимания методы прямого измерения распухания тонких образцов, облученных на ускорителях. С помощью этих методов удалось показать достаточную представительность и количественный характер результатов, полученных при использовании электронной микроскопии на просвет.

Таким образом, представленные на симпозиуме результаты свидетельствуют о том, что при реализации проектов быстрых реакторов, рассчитанных на большие выгорания (интегральные потоки $(2 \div 4) \cdot 10^{23}$ нейтр/см²), могут встретиться некоторые затруднения, связанные как с выбором материала, так и с решением инженерных вопросов активной зоны реакторов. Следует отметить, что предварительная холодная деформация стали, казавшаяся ранее решением вопроса о распухании, при больших интегральных потоках и повышенных температурах оказывается недостаточно эффективной и может дать реальный выигрыш только при уменьшении температуры ниже 600°С.

Говоря о путях снижения распухания материалов за счет легирования, нужно отметить, что пока нет единой точки зрения на характер и механизм влияния легирующих компонентов на поведение материалов.

В ряде работ симпозиума (К. Гарр и др., США; В. Эпплеби, У. Волф, США; К. Эрлих, Н. Пакан; ФРГ) показана существенная роль выделения избыточных фаз внутри зерна, которые в некоторых случаях могут стать зародышами для образования пор. Отсюда отрицательная оценка стабилизированной стали 347 по сравнению с нестабилизированными сталями типа 304 и 316. В то же время показано меньшее распухание стабилизированной стали 15Gr — 13Ni — Nb (4988) производства ФРГ по сравнению со сталями 304 и 316. Отмечается также меньшее распухание стали 321 по сравнению со сталями 304 и 316.

Интересными с точки зрения оценки влияния состава на распухание являются результаты исследования высоконикелевых сплавов (Х. Брегер, Дж. Страалзунд, США), в которых обнаружено небольшое по сравнению со сталями распухание. Предполагают, что в дисперсионнотвердеющих сплавах (например, PE-16) распухание сдерживается дисперсными частицами (Ni_3Nb и Ni_3Ti), препятствующими образованию дислокационных петель и тем самым способствующими взаимной аннигиляции пар Френкеля. Отсутствие существенного распухания в сплавах, не имеющих в своей структуре дисперсных выделений (инкалой-800), пока не находит достаточно обоснованной интерпретации. Обладая преимуществами по сравнению со сталями в отношении распухания, эти сплавы, однако, подвержены достаточно сильному высокотемпературному охрупчиванию.

Среди работ, не относящихся непосредственно к практическим аспектам изучения действия облучения на материалы, следует отметить работы по исследованию эффекта образования упорядоченной структуры пор и дислокационных петель в чистых металлах. Обобщение, сделанное на симпозиуме (Дж. Кульгински и Дж. Бримелл, США), дает основание полагать, что в дальнейшем здесь может быть получена ценная информация относительно механизма порообразования и способов управления распуханием.

Характерным для симпозиума было представление докладов по исследованию таких свойств нержавеющей стали для быстрых реакторов, которые в значительно меньшей степени рассматривались применительно к тепловым реакторам: усталости, ползучести, длительных прочности и пластичности. Данные, представленные в докладах, свидетельствуют о существенном влиянии облучения быстрыми нейтронами на длительные прочностные характеристики (уменьшение длительной прочности и пластичности, повышение скорости ползучести). Величина этих изменений (например, увеличение скорости ползучести в 10—100 раз) указывает на необходимость детального учета этих эффектов при расчете элементов конструкций активных зон быстрых реакторов.

Следует отметить работы по исследованию действия облучения на механические свойства сплава циркалой-2. Исследовалась ползучесть образцов и труб из этого сплава в условиях облучения (Д. Вуд, Англия). Получены уравнения, связывающие скорость ползучести с условиями испытания при времени испытания до 40 тыс. ч. Изучались свойства трубок из сплава циркалой-2, облученных в виде оболочек твэлов (Д. Харди, Канада). Существенный вывод последней работы — исходная пластичность сплава для обеспечения работоспособности оболочек твэлов должна составлять 25—30%.

Помимо исследований, связанных с использованием материалов в тепловых и быстрых реакторах, были представлены работы по изучению действия облучения на тугоплавкие материалы (ниобий и его сплавы) применительно к использованию их в качестве конструкционных материалов термоядерных установок.

Таким образом, был рассмотрен широкий круг наиболее актуальных материаловедческих проблем реакторостроения. Материалы симпозиума предполагается опубликовать в виде сборника в начале 1973 г.

П. А. ПЛАТОНОВ

Заседание Международного комитета по ядерным данным

Международный комитет по ядерным данным (МКЯД — INDC) известен под таким названием с 1968 г. Ранее существовала Международная рабочая группа по ядерным данным. Очередное (шестое) заседание МКЯД проходило в Вене с 17 по 21 июля 1972 г. В его работе приняли участие представители многих стран мира, а также МАГАТЭ, Евратома и Центра по ядерным данным в Сакле. Председатели комитета меняются каждые два года; с 1 января 1972 г. им является представитель СССР (Л. Н. Усачев).

После утверждения протокола предыдущего заседания, рассмотрения выполнения конкретных рекомендаций и отчета председателя МКЯД за 1970 — 1971 гг. Г. Колстеда (США) комитет перешел к обсуждению экспериментальных исследований, выполненных за прошедший год.

Основное внимание продолжает уделяться измерениям констант в областях наибольших расхождений данных для изотопов, определяющих работу реакторов: величины α для U^{235} , Pu^{239} , сечения деления U^{235} , Pu^{239} и других изотопов, неупругого рассеяния и захвата нейтронов U^{238} , среднего числа и спектров нейтронов

деления, а также сечения захвата для делящихся и конструкционных материалов. Опыты характеризуются не только уменьшением величины погрешности данных при измерениях в отдельных точках, но и стремлением получать возможно более точные результаты в широкой области энергий нейтронов при одних и тех же экспериментальных условиях. Например для α Pu^{239} получены значения от 0,02 эв до 400 кэв (США), для α U^{235} и Pu^{239} от 0,01 до 1 Мэв (СССР), для (η, f) U^{235} от 0,8 до 30 Мэв (ФРГ). Однако за прошедший год не удалось выяснить причин расхождения данных, полученных в разных условиях, для таких важных величин, как значение $\bar{\nu}$ для Cf^{252} или характеристики спектров мгновенных нейтронов деления U^{235} и Pu^{239} ; последнему вопросу было посвящено специальное международное совещание консультантов в августе 1971 г., рекомендации которого были одобрены комитетом.

При сравнении результатов экспериментов, выполненных с большой точностью, значительную роль играют используемые опорные стандартные сечения. На заседании были утверждены представленные подкомитетом МКЯД по стандартным сечениям следующие реакции,