

По-видимому, наметился прогресс в систематизации как барионных, так и мезонных резонансов в рамках совместной симметрии $SU(6) \oplus O(3)$ с привлечением идей кварковых моделей для описания динамики взаимодействия кварков внутри адронов. Теперь классификация адронов состоит в отождествлении семейств частиц с представлениями $SU(6)$ - и $SU(3)$ -симметрий в виде

$$[SU(6)]_n L^P, [SU(3), 2S_q + 1]_n Y^P.$$

Здесь n и L — квантовые числа группы $O(3)$ из динамики взаимодействия; S_q — полный спин кварков в адроне. Теперь известные адроны распределяются по таким мультиплетам; в то же время открывается очень много вакантных мест для адронных состояний, которые еще надо искать.

В этом кратком обзоре мы сознательно акцентировали внимание на экспериментальных аспектах физики элементарных частиц, подчеркнув только наиболее

существенные направления ее современного развития. Здесь не рассматривались теоретические аспекты, где развиваются разнообразные направления, появляются новые идеи, но сказать, что наметились какие-либо решающие сдвиги, пока нельзя. Это было показано на примере идей единых калибровочных теорий слабых и электромагнитных процессов. И все же можно утверждать, что в последнее время в физике высоких энергий получены результаты большой научной важности, существенно расширившие наши знания о микромире, и в ближайшем будущем мы станем свидетелями еще большего прогресса в этой области, поскольку в ведущих исследовательских ядерно-физических центрах мира строятся новые ускорительные установки на высокие энергии, создается уникальная аппаратура для проведения исследований, и в целом как фронт, так и глубина исследований получают все новое развитие.

ЧУВИЛО И. В.

Седьмой международный симпозиум по влиянию облучения на конструкционные материалы

11—13 июня 1974 г. в Гетлинбурге (шт. Теннесси, США) проходил Седьмой международный симпозиум по влиянию облучения на конструкционные материалы, организованный Американским обществом испытаний материалов (ASTM). В симпозиуме участвовали представители американских исследовательских центров, университетов и фирм, ведущих работы в области ядерной энергетики, а также исследовательских центров Англии, Италии, СССР, ФРГ, Японии и других стран.

На симпозиуме было зачитано 43 доклада, сгруппированных в пять секций: материалы реакторов на тепловых нейтронах, влияние облучения на механические свойства материалов, ползучесть конструкционных материалов и другие эффекты, радиационная пористость, моделирование и имитация радиационных дефектов.

Доклады по материалам для тепловых реакторов в основном были сосредоточены вокруг проблемы надежности корпусов водо-водяных реакторов, которая до сих пор продолжает оставаться весьма актуальной. Создание реакторов большой единичной мощности (1000 Мвт и более) вызвало необходимость применять высокопрочные корпусные стали, например А-533 и А-543, вместо «мягких» котельных сталей. На симпозиуме были доложены результаты исследования радиационной стойкости стали А-533 (Дж. Хауторн и др., США), включая исследования промышленных плавок, которые показали, что эта сталь может быть использована в реакторных системах с высокими потоками нейтронов на стенку корпуса. Однако требуются достаточно жесткие ограничения по примеси меди, которая даже в сравнительно небольших количествах (0,2—0,3 вес.%) резко ухудшает радиационную стойкость стали.

Большое внимание было уделено математическому моделированию радиационных дефектов в малоуглеродистых сталях; новым направлением в этой области было моделирование радиационных дефектов в металлах с примесями внедрения и дефектами (М. Брумевски, СССР).

В числе материаловедческих проблем тепловых реакторов были рассмотрены некоторые вопросы радиа-

ционной стойкости технологических каналов с трубами из циркониевых сплавов. Весьма интересны результаты исследования ползучести труб из сплава циркаллоид-2 (Д. Вуд, Англия). В этом докладе рассмотрены различные методы экстраполяции результатов испытаний на ползучесть для оценки ресурса каналов и показано, что даже при способе экстраполяции, дающем верхнюю оценку деформации труб, последние обеспечивают работоспособность технологических каналов английских тяжеловодных кипящих реакторов.

Центральное место занимала проблема радиационного повреждения оболочек твэлов быстрых реакторов, главным образом распухание нержавеющей сталей при больших дозах облучения. Следует подчеркнуть, что количественные данные подтверждают полученные ранее и, в частности, опубликованные в трудах предыдущего симпозиума. Таким образом, новые сведения не изменили сложившихся представлений об актуальности этой проблемы. Вместе с тем в докладах более ясно наметились пути управления радиационным распуханием.

Результаты исследований влияния состава сталей на их распухание (Е. Блум и др.; Х. Брегер; К. Р. Гарр; США) показывают, что легирование является эффективным средством сдерживания распухания. Благоприятно сказывается стабилизация титаном (сталь 316, стабилизированная 0,2—0,3 вес.% титана, стали 321 и 12R72 «Сандвик»). Положительные результаты получены при легировании стали 316 кремнием, когда с увеличением содержания кремния до 1,5—2 вес.% по сравнению со стандартным (0,5%) распухание существенно уменьшалось, что достигалось за счет уменьшения количества пор при некотором увеличении их размера.

Представленные в докладах симпозиума данные (например, доклад Дж. Ф. Бейта, США) свидетельствуют, что даже небольшие отклонения в составе сталей, укладывающиеся в пределы спецификации, могут заметным образом влиять на распухание; анализ поведения оболочечных труб из стали 316, отличающейся по составу, показал, что примесями, уменьшение которых отрицательно сказывается на сопротивлении распуханию, являются углерод, марганец, фосфор, кремний.

Исследование большого числа композиций системы железо — никель — хром показывает, что склонность к распуханию уменьшается по мере увеличения содержания никеля. В этом отношении стали 304 и 316 представляют собой далеко не лучшие варианты композиций. Тенденция к уменьшению распухания с увеличением содержания никеля сохраняется не только для сплавов типа НИМОНИК, упрочненных γ' -фазой (например, хорошо известный сплав PE-16), но и для сплавов из чистых компонентов, представляющих собой твердые растворы (В. Г. Джонстон, США).

Таким образом, распухание можно эффективно сдерживать как за счет изменения основного состава, так и небольших примесей.

В литературе до сих пор встречаются довольно противоречивые сведения относительно влияния предварительной холодной деформации на распухание материалов. Новые данные более систематических исследований показывают, что, по-видимому, это противоречие может быть объяснено критическим характером влияния холодной деформации на радиационное распухание; для каждой дозы облучения существует своя критическая степень деформации, которая резко подавляет распухание, но вместе с тем более высокая деформация не оказывает дальнейшего влияния на распухание (К. Д. Челленджер и Т. Лоритцен, США). Электронно-микроскопические исследования показывают, что на распухание большее влияние оказывают равномерность распределения дислокаций и устойчивость этого распределения, чем общая плотность дислокаций.

Уже с самого начала делались предположения, что измельчение зерна и введение дисперсий в материалы могут способствовать увеличению сопротивления распуханию за счет увеличения концентрации эффективных стоков. Представленные на симпозиуме данные (Б. С. Сайн,

Дания) свидетельствуют об эффективности этого пути борьбы с распуханием — образование пор в аустенитной стали с размером зерна около 0,5 мкм полностью подавляется.

Как и на предыдущем симпозиуме, значительное внимание было уделено методам имитации и моделирования радиационных дефектов. Представленные результаты подтверждают, что ускорители тяжелых ионов и высоковольтные электронные микроскопы дают исследователям эффективные средства имитации облучения высокими потоками нейтронов. Разработаны методические приемы (предварительное сравнительно кратковременное облучение в реакторе), дающие возможность при облучении электронами в микроскопе получать структуры, аналогичные получаемым при длительных облучениях в реакторе. Вместе с тем доказано, что простой пересчет повреждения по числу смещений на атом может привести при сравнении электронного или протонного облучения с нейтронным к большим ошибкам (Д. Г. Доран и др., США).

В нескольких докладах рассматривались материальноведческие проблемы термоядерных реакторов. Были доложены результаты исследования тугоплавких материалов как возможных материалов первой стенки, а также результаты сравнения радиационного повреждения и накопления газообразных продуктов ядерных реакций при облучении в термоядерном реакторе и различных облучательных устройствах (тепловые и быстрые реакторы, нейтронные генераторы). При этом показано (Дж. Кульчински, США), что существующие облучательные устройства не обеспечивают удовлетворительного моделирования одновременно радиационного повреждения и накопления гелия.

Труды симпозиума предполагается опубликовать в 1975 г.

ПЛАТОНОВ П. А.