

Применительно к многокомпонентной смеси одноатомных газов это выражение примет вид

$$\epsilon_{см} = \sum_{i=1}^n \left[ \sqrt{\frac{M_{см}}{M_i}} g_i / \left( 1 + \frac{1}{x_i} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_{ij} x_j \right) \right]. \quad (11)$$

Для смеси He—Ar при обработке экспериментальных данных по ДТС при  $T_{пов} = 100$  К [8] методом наименьших квадратов получены коэффициенты  $A_{12} = 6,32$  и  $A_{21} = 0,16$ , им соответствует кривая 2 на рисунке.

Анализ формул (5)—(11) показывает, что в формуле (11) можно использовать коэффициенты  $A_{ij}$ , найденные по данным для теплопроводности смеси. Для теплопроводности смеси одноатомных газов существует область значений коэффициентов  $A_{ij}$ , которые хорошо описывают экспериментальные данные [6]. Однако для расчета ДТС смеси эта область, по-видимому, сужается. Так, для смеси He—Ar из области значений  $A_{ij}$  [6] лучшее соответствие дают пары значений, у которых  $A_{12}$  — наибольшее, а  $A_{21}$  — наименьшее. Обработка экспериментальных данных [8] по теплопроводности смеси He—Ar при температуре 1000 К дала значения  $A_{12} = 2,63$ ,  $A_{21} = 0,38$  (см. рисунок, кривая 3).

Такое расхождение в коэффициентах  $A_{ij}$  можно объяснить, вероятно, влиянием разнородных атомов на KA, а следовательно, на коэффициент  $K$ , что не учитывалось при выводе зависимости (11). Кроме того, расчеты показыва-

ли наличие зависимости коэффициентов  $A_{ij}$  для ДТС от температуры (очень слабой в случае теплопроводности смеси), что также связано с влиянием температуры на KA.

Зависимость (11) была проведена также на экспериментальных значениях ДТС для смеси He—N<sub>2</sub> [4] (кривая 4;  $A_{12} = 2,94$ ,  $A_{21} = 0,34$ ). Для дальнейшего анализа полученной зависимости необходимы экспериментальные данные о ДТС для смесей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямников В. С., Маланченко Л. Л. «Атомная техника за рубежом», 1969, № 2, с. 21.
2. Коленчиц О. А. Теплового аккомодация систем газ—твердое тело. Минск, «Наука и техника», 1977.
3. Ullman A. e.a. «J. Nucl. Mater.», 1974, v. 5, N 1, p. 277.
4. Vickerman R., Harris R. «Trans. Amer. Nucl. Soc.», 1975, v. 22, p. 522.
5. Godesar R. e.a. «Nucl. Appl. Techn.», 1970, August, p. 205.
6. Шашков А. Г., Абраменко Т. Н. Теплопроводность газовых смесей. М., «Энергия», 1970.
7. Ямников В. С., Маланченко Л. Л. «Атомная энергия», 1977, т. 2, вып. 4, с. 322.
8. Шашков А. Г., Марченко Е. И. «Весті АН БССР. Сер. фіз.-енерг. навук», 1975, № 3.
9. Kennard E. «Kinetic Theory of Gases». N. Y., McGraw-Hill Book Co., 1938.

Поступило в Редакцию 23.11.79

УДК 539.12.04:621.039.616

## Влияние способа имплантации гелия на блистеринг нержавеющей стали

ГАНН В. В., НЕКЛУДОВ И. М., ПИВОВАР Л. И., РЫБАКОВ В. Ф., ТОЛСТОЛУЦКАЯ Г. Д., ЧЕБОТАРЕВ О. Г.

Распределение имплантированных высокоэнергетических ионов гелия в материале первой стенки термоядерного реактора (ТЯР) характеризуется пологим максимумом и большой полусириной [1]. Это обстоятельство может повлиять на эрозию поверхности материалов, в связи с чем было исследовано внедрение гелия в образцы нержавеющей стали 0X16H15M3B в условиях, обеспечивающих форму профиля внедрения, близкую к ожидаемой в термоядерном реакторе. Образцы бомбардировали пучком ионов He<sup>+</sup> энергией 1 МэВ и плотностью потока  $5 \cdot 10^{13}$  ион/(см<sup>2</sup>·с). Для получения уширенного профиля был предварительно рассчитан по стандартной программе [2] набор углов падения пучка ионов, обеспечивающий требуемое [1] суммарное распределение гелия. На основании расчетов найдено 14 значений углов падения в диа-

пазоне 0—74°. Получаемый в этом случае профиль внедрения (рис. 1) качественно подобен ожидаемому для высокоэнергетических ионов гелия в ТЯР.

Облучению подвергались две серии образцов при температуре ~50 °С. В первом случае облучали сканирующим по глубине пучком ионов гелия (с последовательно изменяющимся углом падения от 0 до 74°); во втором — пучком ионов He<sup>+</sup>, падающим по нормали к поверхности. Образцы второй серии облучали дозой  $2 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Суммарная доза облучения для каждого образца первой серии составила  $2,8 \cdot 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> ( $2 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> при каж-

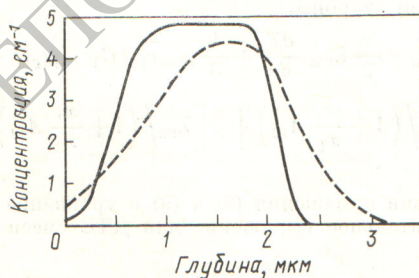


Рис. 1. Расчетные нормированные профили распределения гелия в материале: — облучение сканирующим пучком ионов энергией 1 МэВ; ---- облучение He высокоэнергетическими ионами гелия в условиях ТЯР [1]

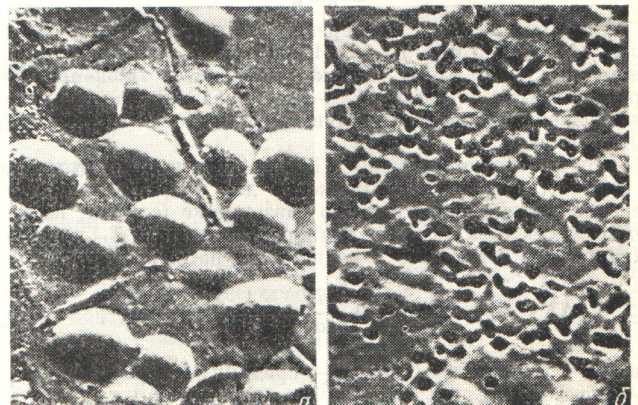


Рис. 2. Фрагменты поверхности образцов стали 0X16H15M3B после отжига при 1000°С, предварительно облученных нормально падающим (а) и сканирующим по глубине (б) пучками ионов гелия ( $\times 1000$ )

дом угле падения). Максимальная концентрация гелия для обеих профилей распределения была одинаковой, причем ниже критической, вызывающей блистеринг [4]. Поэтому структура поверхности образцов обеих серий не изменилась. Однако после отжига в течение 1 ч при 1000 °С на поверхности образцов второй серии образовались блистеры средним диаметром ~15 мкм в количестве ~10<sup>5</sup> см<sup>-2</sup> (рис. 2, а), тогда как на образцах первой серии возникали кратеры диаметром менее 1 мкм в количестве ~10<sup>8</sup> см<sup>-2</sup> (рис. 2, б).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что уширение профиля внедрения гелия может существенно влиять на эрозию материала, как это отмечалось и ранее на примере внедрения гелия в ниобий [3]. Это обстоятельство необходимо учитывать при прогнозировании поведения материалов первой стенки ТЯР.

## Новые книги

Шведов В. П., Седов В. М., Рыбальченко И. Л., Власов И. Н. **Ядерная технология**. Учебн. пособие для вузов. Под общ. ред. И. Д. Морехова. М., Атомиздат, 1979, 336 с. 1 р. 60 к.

Книга посвящена химическим аспектам ядерного топливного цикла современной ядерной энергетики и имеет ярко выраженную инженерную химико-технологическую направленность. В отечественной научно-технической, особенно учебной, литературе эти важные для научно-технического прогресса в народном хозяйстве вопросы освещались довольно скупо. В этой связи издание учебного пособия более широкого плана, включающего данные последнего десятилетия, трудно переоценить. Оно составлено на основе лекционного материала курсов нескольких специальных дисциплин. Авторы — преподаватели старших курсов инженерного физико-химического факультета Ленинградского технологического института им. Ленсовета — высококомпетентные специалисты-технологи. Таким образом, пособие концентрирует теоретические и практические знания в данной области науки и техники.

Представлена богатая информация по главнейшим аспектам химической технологии обращения с радиоактивными продуктами, образующимися на всех стадиях использования атомной энергии. Изложены научные основы ядерного топливного цикла: цепные ядерные реакции, принципы их реализации в условиях работы атомных реакторов, характеристика ядерного топлива и изменений, происходящих в нем в реакторном цикле. Подробно освещены вопросы переработки облученных твэлов, в особенности экстракционные процессы, которые, как известно, доминируют в современной практике.

Особый интерес представляют инженерные вопросы эксплуатации радиохимических систем ядерных энергетических установок. Впервые в отечественной монографической и учебной литературе подробно и последовательно рассмотрены сложные вопросы хранения и транспортировки высокоактивного отработавшего ядерного топлива. То же самое можно сказать и о главе, посвященной водно-химическому режиму ЯЭУ, в частности принципам очистки теплоносителя от накапливающихся примесей, в том числе и радионуклидов. Раздел интересен как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Но, пожалуй, наиболее интересен, оригинален и актуален материал, изложенный в четвертой части. Это очень обстоятельное и целенаправленное изложение технологии обезвреживания и удаления радиоактивных отходов ядерного топливного цикла — важнейшей проблемы, имеющей глобальное значение в мирном использовании атомной энергии. Не будет преувеличением, если скажем, что развитие ядерной энергетики в будущем зависит от успеш-

В заключение авторы выражают благодарность О. А. Опалеву, К. М. Хургину и В. Д. Луценко за помощь при измерениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bauer W. «J. Nucl. Mater.», 1978, v. 76 (77), p. 3.
2. Гани В. В., Юдин О. В. В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. Вып. 1(9). Харьков, изд. ХФТИ АН УССР, 1979, с. 37.
3. Дас С. и др. «Атомная энергия», 1979, т. 46, вып. 3, с. 161.

Поступило в Редакцию 26.06.79  
В окончательной редакции 27.08.79

ного и достаточно исчерпывающего решения проблемы надежного и безопасного удаления радиоактивных отходов. Изложены международные нормативно-правовые аспекты обращения с радиоактивными отходами, принципы их сбора, хранения и транспортировки, научные и технические обоснования их обезвреживания применительно к различным видам отходов: жидким, твердым, газообразным и с различным уровнем активности. Должное внимание уделено современным, новейшим и перспективным методам обращения с радиоактивными отходами и удаления в целях защиты биосферы от их воздействия. Серьезное внимание обращено на дезактивацию аппаратуры и помещений радиохимических производств и материально-технические средства для эффективного осуществления процессов дезактивации.

Существенно, что наряду с изложением физико-химических основ и практических приемов обсуждаются принципы построения заводских сооружений, технологического оборудования и специальных лабораторий для работы с радионуклидами.

Следует отметить высокий научный уровень, тесную связь теоретических обоснований и интерпретаций с инженерными задачами и решениями, что особенно ценно для учебного пособия. В этой связи можно заметить, что еще больше внимания, на наш взгляд, следовало уделить экономическим аспектам регенерации ядерного топлива и переработки отходов. Экономика внешнего топливного ядерного цикла оказывает существенное влияние на общую экономику АЭС, и ее значение все время возрастает. Сейчас имеется довольно много публикаций на эту тему, и их обобщение было бы крайне желательно, поскольку вопросы конкретной экономики очень важны в образовании современных инженеров-технологов.

В качестве частного замечания можно отметить, что при рассмотрении удаления радиоактивных отходов в реки, моря и другие водоемы, а также практики рассеивания радиоактивных загрязнений в атмосфере авторы недостаточно энергично и четко подчеркивают принципиальную негативную позицию Советского Союза по отношению к таким методам решения проблемы удаления радиоактивных отходов атомной промышленности.

В целом же рецензируемое учебное пособие весьма полезно, и выход его своевременен. Можно добавить, что книга хорошо отредактирована и оформлена, иллюстрирована удачно подобранными и редкими схемами, чертежами и рисунками. Хочется отметить удачную и четкую рубрику и общий системный порядок построения книги. Несомненно, она представляет большой интерес не только как учебное пособие для студентов, но полезна для широких кругов инженерно-технических работников.

ГРОМОВ Б. В.