

ментов с препятствий. При больших напряжениях возможно продвижение дислокации за счет прогиба неустойчивых сегментов. На базе диффузионного механизма роста пор разработаны две модели распухания. Зародышами пор считаются атомы He, образовавшиеся в результате (n, α)-реакции. Расчеты, проведенные для нержавеющей стали 304, позволили получить данные о распределении пор по размерам, о распухании, а также оценить влияние условий облучения на эти параметры.

В. В. Коломыткин (ИАЭ им. И. В. Курчатова) представил доклад, посвященный моделированию некоторых механизмов радиационной ползучести на начальной стадии реакторного облучения, когда наиболее существенными препятствиями для дислокаций являются обедненные зоны. С учетом экспериментальных данных, в частности полученных с помощью ионного проектора, проведено моделирование радиационного упрочнения платины. Предполагая, что поверхность обедненной зоны, возрастающая при пересечении зоны дислокацией, характеризуется поверхностной энергией γ , и что полученное расчетом по модели Формена — Мэйкина напряжение сдвига равно напряжению, необходимому для увеличения поверхности зоны, авторы получили $\gamma = 240$ эрг/см². Рассмотрены два механизма радиационной ползучести, действующие одновременно: 1) задержка скользящих краевых дислокаций обедненными зонами и 2) ускоренное облучением перемещение краевых дислокаций. Учитывается неоднородность дальнедействующих дислокационных полей. Результаты сравниваются с экспериментом для α -Zr.

В сообщении С. И. Зайцева и Э. М. Надгорного (Институт физики твердого тела АН СССР) изложены

результаты моделирования движения дислокации через точечные радиационные и иные дефекты. Исследована задача о движении дислокации в плоскости со случайно расположенными неподвижными препятствиями, обладающими собственным упругим полем, типичным для примесных и радиационных дефектов. Препятствие моделируется барьером с потенциалом типа Флейшера — Гиббса с критическим углом отгибания 150°. Движение дислокации рассматривается как последовательность мгновенных перемещений из одного равновесного положения в другое после некоторого времени ожидания. Место активации и время ожидания находятся методом Монте-Карло. Получены зависимости скорости дислокации от напряжения, температуры, высоты барьера, а энергии активации — от напряжения. Расчеты выполнялись для числа препятствий от 10^3 до 10^4 при разных формах площадок. Показано, что процесс активации идет коррелированно через «слабые» углы, а для движения дислокации существенно зарождение и распространение квазиперегиба. При низкой температуре и малом напряжении скорость дислокации зависит от ее длины, но при числе препятствий на дислокации, большем 100, такая зависимость исчезает.

Кроме перечисленных докладов на семинаре было сделано восемь кратких сообщений по моделированию на ЭМВ дислокаций, дислокационных скоплений, межфазных границ и микротрещин в твердых телах. В работе семинара участвовали 75 человек, которые представляли 21 научное учреждение из 10 городов СССР.

ТРУШИН Ю. В.

Международная конференция «Теория и практика ионного обмена»

В работе конференции, проходившей в Англии в Кембридже с 25 по 30 июля 1976 г., участвовало свыше 250 специалистов, представлявших 26 стран мира. Предыдущая конференция состоялась в 1969 г., и достигнутый с тех пор существенный прогресс в практическом применении ионообменных процессов вызвал необходимость в этой встрече ученых для обмена мнениями.

На конференции был заслушан и обсужден 41 доклад по пяти основным направлениям: развитие синтеза ионообменных смол (7 докладов), равновесие и кинетика ионного обмена (10), водоподготовка и очистка воды (10), процессы разделения органических и неорганических материалов (5), гидрометаллургия цветных, редких и радиоактивных элементов (9). Таким образом, основное внимание уделялось исследованиям равновесия и кинетики ионного обмена, использованию ионитов в процессах водоподготовки и переработки отходов, а также в гидрометаллургической промышленности.

Среди сообщений, посвященных развитию синтеза ионообменных смол и влиянию их структуры на реакционную способность, следует выделить доклады «Механизм образования полимерной сетки в стирол-дивинилбензольных сополимерах» (Л. Рубинск, Д. Смит, Англия) и «Влияние структуры смолы на механическую прочность ее зерен» (Л. Голден, Д. Ирвинг, Англия). В первом докладе был рассмотрен механизм образова-

ния макромолекулярного каркаса при сополимеризации стирола с техническим дивинилбензолом. Установлено, что в процессе сополимеризации этих компонентов имеют место спутывание цепей и неравномерное распределение поперечных сшивок. Первые продукты полимеризации обогащены дивинилбензолом (по сравнению со средним содержанием исходных компонентов). Однако неравномерность структуры сополимеров сглаживается вследствие спутывания и взаимного проникновения цепей стирола и дивинилбензола и в результате запаздывающей реакции этих цепей со второй винильной группой дивинилбензола. В итоге получают весьма компактную структуру ионообменных смол.

Во втором докладе сравнивались механические свойства ионитов, полученных на основе сополимеров стирола и акрилонитрила с дивинилбензолом. Выяснилось, что характер ионита и содержание воды в нем оказывают существенное влияние на механическую прочность и гелевые иониты на основе сополимеров стирола и дивинилбензола являются более жесткими, чем иониты на акрилатной основе, и поэтому легче раскалываются. Макропористые структуры осмотически более стойки, но легче деформируются, чем гелевые. Это следует учитывать при выборе типа смолы для практического применения.

В докладе американского специалиста Л. Голдринга «Окислительное разрушение ионообменных смол и его

предотвращение» приводились результаты изучения устойчивости катионообменных смол сульфостирольного типа, разрушаемых под действием перекиси водорода и кислорода в присутствии ионов металлов. Наиболее сильными катализаторами процесса окислительной деструкции ионообменных смол являются железо и медь. С целью ингибирования железо и медь переводят в инертные комплексные соединения путем введения в смолу производных этилендиаминотетрауксусных кислот.

Доклады по равновесию и кинетике ионного обмена посвящены изучению ионообменных процессов, осложненных комплексообразованием в фазе смолы и в растворе, а также изучению многокомпонентных смесей на примерах модельных растворов. Здесь можно отметить сообщение «Кинетика реакции распространяющегося слоя в ионообменных смолах» (Г. Шмуклер и др., Израиль), где на примере поглощения ионов водорода натриевой формой карбоксилатного катионита рассмотрена модель, согласно которой скорость ионного обмена определяется скоростью распространения насыщенного слоя вглубь зерна ионита. В докладе «Изучение медленно диффундирующих частиц в ионообменных смолах» (К. Баху и др., Англия) приведены результаты изучения кинетики сорбции плутония (IV) из азотнокислых растворов на винилпиридиновом анионите IonacXAX1284.

Применение ионного обмена для извлечения урана явилось темой доклада (Х. Гарднер, Р. Кунин, Англия), где рассматривалась возможность перехода от сильноосновных анионитов к слабоосновному аниониту Amberlite XE 229. Несмотря на более низкую емкость по урану (на 15%), слабоосновный анионит более селективен и легче десорбирует уран, что обеспечивает получение двуокиси урана высокого качества. Четырехлетний успешный опыт эксплуатации технологической схемы с использованием слабоосновного анионита Amberlite XE 229 подтверждает сделанный авторами вывод. Применению слабоосновных анионитов в урановой промышленности посвящен также доклад Д. Надена и Г. Вилли (Англия). На основании лабораторных экспериментов и результатов работы полупромышленной установки авторы пришли к выводу, что макропористые аниониты можно эффективно использовать в аппаратах с ожиженным слоем сорбента, особенно при получении высокочистого урана. Дальнейшее усовершенствование аппаратуры для ионного обмена рассматривалось в докладе А. Химсли и Е. Фаркаша (Канада). Особенностью анионообменной установки является применение на операции сорбции контактора тарельчатого типа, что позволяет при исходной концентрации раствора 1 г/л урана обеспечить насыщение смолы до 78 г/л при сбросе урана в фильтрат менее 1 мг/л и концентрации элюата 35 г/л урана.

В двух докладах указывалось на возможность практического применения процессов ионного обмена для извлечения и очистки сравнительно дешевых цветных металлов, таких, как медь и никель. Данные работ подтверждают перспективность ионообменной технологии в цветной металлургии.

Одной из особенностей конференции явились доклады по новому разделу ионообменной технологии — использованию импрегнированных полимерных материалов для разделения органических и неорганических соединений. Эти материалы получают введением жидких

комплексообразователей (экстрагентов) в структуру смолы в момент образования полимерной матрицы или путем пропитки экстрагентом уже готовой полимерной основы. В докладе Х. Каукзора и А. Мейера (ФРГ) описывались физико-химические свойства импрегнированных трибутилфосфатом (ТБФ) и ди(2-этилгексил)-фосфорной кислотой (ДЭГФК) макропористых стирол-дивинилбензольных сополимеров («Левекстрел») и рассматривалась возможность их применения для извлечения урана и плутония, отделения следовых количеств хрома и индия из концентрированных растворов тяжелых металлов, разделения тяжелых лантаноидов и очистки от радиоактивных загрязнений. Смолы «Левекстрел ТБФ» была успешно испытана в полупромышленных условиях. По мнению авторов, смолы этого типа сочетают в себе достоинства экстрагентов и сорбентов и могут быть применены для извлечения металлов из плотных пульп или разбавленных растворов подземного выщелачивания различных руд. Среди других докладов на эту тему можно отметить «Гидрометаллургическое применение смол, импрегнированных оксидом, оксихинолином и гидроксамовой кислотой» (Ф. Вернон, Х. Элес, Франция) и «Дальнейшее развитие экстракции металлов с применением импрегнированных смол» (А. Варшавский и А. Пачорник, Израиль), в которых обсуждаются различные жидкие комплексообразователи и полимерные матрицы для получения импрегнированных смол и возможные пути их использования в гидрометаллургических процессах.

Значительное место в работе конференции уделялось ионообменной очистке воды от загрязнений органического и неорганического характера, а также процессам диминерализации при подготовке воды для котлов и турбин высокого давления. В настоящее время ионообменная технология имеет некоторые неоспоримые преимущества перед другими технологическими процессами, что было убедительно продемонстрировано участниками конференции на практических примерах.

Среди докладов по применению ионообменных смол для разделения соединений несомненный интерес представляет сообщение «Ионная хроматография — принципы и применение» (Х. Смол, Д. Солж, США), где описывается новый аналитический метод анализа анионов и катионов в растворах, основанный на ионообменных принципах с использованием в качестве детектора датчика электропроводности раствора. В настоящее время в США налажен выпуск ионных хроматографов, позволяющих легко осуществлять анализ в растворах ионов щелочных и щелочно-земельных металлов, первичных, вторичных, третичных аминов и аммониевых оснований, анионов галогенидов, нитратов, нитритов, иодатов и других с чувствительностью 10^{-8} .

Работа конференции показала, что процессы ионного обмена находят все большее практическое применение в самых различных областях науки и техники, таких, как гидрометаллургия, охрана окружающей среды, аналитическая химия, атомная промышленность, водоподготовка, разделение и очистка органических и неорганических соединений. Дальнейший прогресс в этих направлениях связан с созданием новых ионообменных смол, с конструированием производительного оборудования для ионного обмена и разработкой эффективных технологических процессов с использованием новых ионообменных материалов и оборудования.

ЯКШИН В. В.