

к уравнению (18) зависимость $\tilde{r}_L = f(r_\Sigma)$, а также зона малого отличия оценок реактивности от ее истинного значения.

Поскольку всегда справедливое в рамках одnogрупповой модели соотношение (11) совпадает с соотношением (16), полученным при $y = \text{const}$, необходимо выяснить возможность использования в динамике приближенных связей, установленных в асимптотической области. Для этого была составлена специальная программа решения на ЭВМ уравнений (4) — (9). Наиболее иллюстративными для показа максимального рассогласования между реактивностью и ее оценками оказались режимы с выходом на постоянные уровни реактивности. На рис. 2 приведены линейные переходы из критического состояния в состояние с реактивностью 0,3 β ; 0,5 β ; —0,25 β ; —1,0 β . Там же для выхода на уровень 0,3 β показана реактивность, восстановленная из оценок $\tilde{r}_\Sigma$ и $\tilde{r}_L$ с помощью одnogрупповых асимптотических связей (17), (18), причем выражение (17) заменено линейной зависимостью с коэффициентом 0,85 (см. рис. 1), а в левую часть уравнения (18) для уменьшения рассогласования в асимптотической области введен коэффициент 0,9. Результаты расчета показали, что максимальное рассогласование истинной реактивности и восстановленной из оценки $\tilde{r}_\Sigma$ не превышает $\pm 10\%$, а из оценки $\tilde{r}_L \pm 15\%$ текущего значения реактивности.

Выводы. Предложенная форма записи инверсных уравнений кинетики реактора в логарифмических переменных устраняет трудности, связанные с необходимостью фильтрации обратного периода. Приближения инверсных уравнений позволяют получить оценки реактивности, пригодные для использования в задачах управления и защиты реакторов. Конкретный выбор оценки из числа рассмотренных следует делать в зависимости от ее назначения с учетом максимальной простоты реализации вычисления. При этом нужно иметь в виду следующее.

1. Наиболее упрощенная оценка $\tilde{r}_L$ по существу совпадает со сглаженным обратным периодом, отфильтрованным в процессе вычисления, и может быть использована для индикации достижения критического состояния.

2. Две другие оценки r_L и $\tilde{r}_\Sigma$ дают промежуточное значение между истинной реактивностью и $\tilde{r}_L$.

3. Все три аппроксимации практически совпадают с точной реактивностью для критического состояния. В надкритической области каждая из них может быть связана с реактивностью приближенной функциональной зависимостью.

4. В динамике отличие всех трех оценок реактивности от ее истинного значения не превышает их расхождения в асимптотической области.

5. В надкритической и слабо подкритической областях (до —0,3 β) возможно приближенное вычисление реактивности путем получения ее оценок с последующим их восстановлением. Удовлетворительные результаты наблюдаются при восстановлении многогрупповых оценок с помощью асимптотических функциональных связей, полученных для одной группы.

Некоторые результаты, приведенные в настоящей работе, можно использовать и для прямой задачи кинетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев В. Л. Аналоговое моделирование судовых ядерных паропроизводящих установок. Л., «Судостроение», 1971.
2. Stubbs G. «IEEE Trans. Nucl. Sci.», 1957, v. NS-4, N 1, p. 40.
3. Шульц М. Регулирование энергетических ядерных реакторов. М., Изд-во Иностран. лит., 1957.
4. Кипин Дж. Р. Физические основы кинетики ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1967.

Поступило в Редакцию 18.12.78

УДК 621.039:620.193.01

Состояние поверхности металла после различных химических воздействий при пуске АЭС

СЕДОВ В. М., КРУТИКОВ П. Г., НЕМИРОВ Н. В., БЛИЗНЮК Н. А.

В процессе подготовки систем и оборудования АЭС к пуску поверхности металлов претерпевают изменения в результате внешних воздействий при монтаже и подготовке оборудования к эксплуатации, особенно при изготовлении оборудования (на поверхности образуется термическая окисная пленка-окалина) [1], химическом удалении различных загрязнений [2], пассивации поверхностей. Методом сравнения анодных потенциодинамических зависимостей изучено состояние металлургических поверхностей с помощью потенциостата П-5837 и самопишущего потенциометра ПДП 4-002 в стандартной электрохимической ячейке ЯСЭ-2 при $20 \pm 1^\circ\text{C}$ и скорости смещения потенциала 0,8 мВ/с; в качестве электролита использован боратный раствор 0,5 М $\text{H}_2\text{BO}_3 + 0,05\text{M}$ NaOH (рН = 7,4).

Потенциалы измерены относительно насыщенного хлорсеребряного электрода. Химическая обработка (очистка) поверхности проводилась комплексно-цитратной композицией [3], пассивация — нитритным [4], гидразин-аммиачным и перхлоратно-нитратным [4] растворами.

Поверхность оборудования и трубопроводов из стали 20, поступающих для монтажа, покрыта продуктами окисления железа. Для выяснения состояния поверхности стали 20 снимались анодные поляризационные характеристики раз-

ных участков (рис. 1), различающихся при микроскопии ($\times 340$). Область активного растворения может уменьшаться и даже исчезать, что объясняется наличием на поверхности металла плотной окисной пленки, но может и значительно увеличиться. Плотность тока в пассивной области меняется от 0,001 до 0,6 мА/см². Стационарный потенциал стали 20 зависит от состояния поверхности. Для поверхности, покрытой плотной окисной пленкой, $E_{\text{стац}} = -0,005 \div 0,000$ В, для поверхности с дефектной окисной пленкой $E_{\text{стац}} = -0,24$ В, что можно объяснить большим числом дефектов (пор, трещин, сколов в термической окисной пленке) на поверхности металла.

Для механически защищенной поверхности стали X18H10T анодная потенциодинамическая зависимость приведена на рис. 2 (1). Сталь находится при потенциалах положительнее —0,1 В в пассивном состоянии с небольшим увеличением плотности тока от 0,003 до 0,006 мА/см² при изменении потенциала от 0,1 до 0,7 В. При потенциалах положительнее 1,1 В сталь находится в области перепассивации, при потенциале —0,1 В наблюдается нечетко выраженная область активного растворения с критической плотностью тока пассивации 0,5 мА/см². Поверхность стали X18H10T в состоянии поставки покрыта тонкой

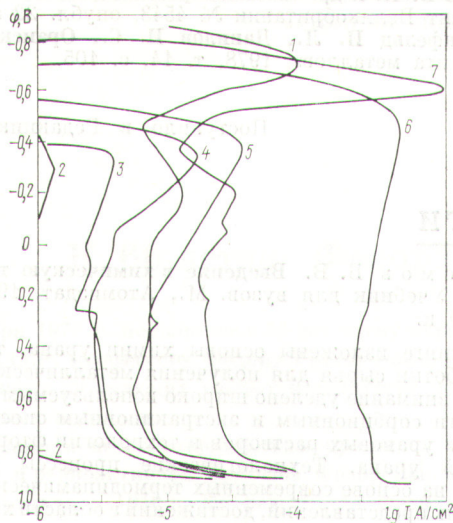


Рис. 1. Поляризационные характеристики стали 20: 1 — шлифованная; 2—6 — различные участки поверхности в состоянии поставки; 7 — после комплексно-цитратной промывки

серой окисной пленкой. На анодной поляризационной зависимости (см. рис. 2, позиция 3) отсутствует область активного растворения. При потенциалах положительнее $-0,2$ В плотность тока увеличивается от $0,003$ до $0,04$ мА/см^2 при $\phi = 0,8$ В.

Испытания конструкционных материалов показывают увеличенную скорость коррозии стали X18H10T в исходном состоянии (см. таблицу). Стационарный потенциал стали X18H10T составляет $-0,120$ В.

Рассмотрим состояние поверхности металлов после ее обработки химически агрессивными растворами. На рис. 1 и 2 приведены потенциодинамические зависимости для сталей 20 и X18H10T после обработки их комплексно-цитратной композицией. Общий вид зависимости $\phi - \lg I$ активированной поверхности стали 20 почти подобен виду зависимости $\phi - \lg I$ для механически зачищенной поверхности этой стали; поверхность стали X18H10T после химической обработки активизируется, появляется область активного растворения с потенциалом критической пассивации $I_{кр.п} = -0,55$ В и предельный ток пассивации $I_p = 0,04$ мА/см^2 . Пассивация стали происходит при изменении потенциала от $-0,55$ до $+0,35$ В. Видно, что обработка химически агрессивными веществами значительно увеличивает растворение стали в активном состоянии, при этом отсутствует область устойчивого пассивного состояния. При потенциалах от $0,7$ до $1,0$ В также наблюдается область активного растворения стали. Плотность анодного тока равна $0,045$ мА/см^2 , что почти на порядок превышает анодные токи для стали X18H10T в состоянии поставки.

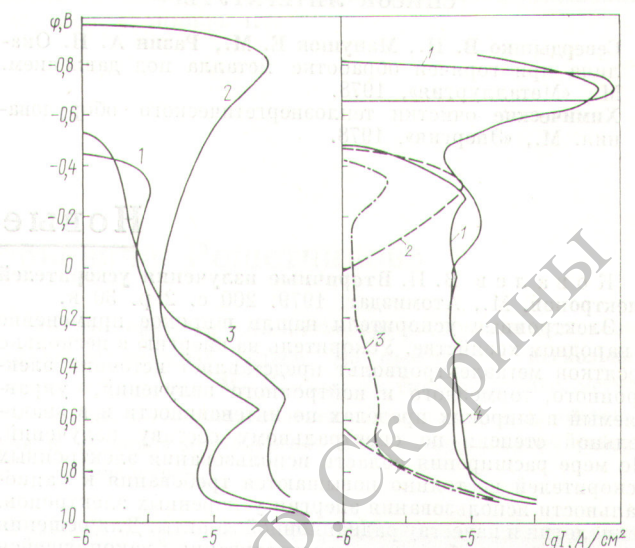


Рис. 2. (слева). Сталь ОХ18Н10Т механически зачищенная (1), после промывки (2) и в состоянии поставки (3)

Рис. 3. (справа). Поляризационная зависимость окисной пленки на стали 20, полученной после обработки растворами NaNO_3 (10 г/л, $\text{pH} = 10,5$) (1); $\text{NaNO}_3 + \text{NaClO}_4$ + активаторы (2), гидразин-аммиачным (3); механически зачищенная сталь (4)

Видно, что после обработки пассивирующими растворами сталь 20 переходит в устойчиво-пассивное состояние. На поляризационных зависимостях (рис. 3, позиции 2, 3) отсутствует область активного растворения. Металлографическое исследование показало наличие плотной пленки толщиной от 15 до 20 $\mu\text{м}$. При фазовом анализе на гамма-резонансном спектрофотометре ЯГРС-4 обнаружено, что пленка состоит из магемита $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ при пассивации в перхлоратно-нитратном растворе. В пассивной области плотность тока пассивации снижается до $0,001 - 0,002$ мА/см^2 , что говорит о значительном замедлении скорости коррозии. Аналогичными свойствами обладает и металлическая поверхность, обработанная гидразин-аммиачным раствором. Поляризационная зависимость поверхности стали 20 после обработки ее раствором NaNO_3 показывает (см. таблицу) повышенную скорость коррозии. Механизм взаимодействия реагента и защитное действие его подробно рассмотрены в работе [5].

При подготовке металлических систем и оборудования АЭС к пуску поверхность, покрытая термической окалиной, более подвержена коррозии, чем поверхность после механического или химического удаления окислы. Поверхность, обработанная химическими реагентами для удаления различных поверхностных загрязнений, имеет повышенную скорость коррозии по сравнению с поверхностью, зачищенной механически. Обработка металлической поверхности пассивирующими растворами создает защитные окисные пленки, которые значительно снижают скорость коррозии (см. таблицу).

Скорость коррозии конструкционных материалов, $\text{г/(м}^2 \cdot \text{сут)}^*$

Состояние поверхности	Сталь 20	X18H10T
Заводская поставка	34,37	2,7
После комплексно-кислотной промывки	9,12	0,896
Механически зачищенная	5,83	0,416
После обработки 1%-ным раствором NaNO_3	11,4	—
После обработки перхлоратно-нитратным раствором	8,4	—
После обработки гидразин-аммиачным раствором	1,84	—

* Коррозионные испытания проведены при $80 \pm 1^\circ\text{C}$ в воде высокой степени чистоты с естественным аэрированием при постоянном перемешивании

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Севердышко В. П., Манушок Е. М., Разин А. Н. Окалина при горячей обработке металла под давлением. М., «Металлургия», 1978.
2. Химические очистки теплоэнергетического оборудования. М., «Энергия», 1978.

3. Седов В. И. и др. «Теплоэнергетика», 1979. № 7, с. 17.
4. Патент Великобритании № 4543, опубл. 22 апр. 1976.
5. Розенфельд И. Л., Данилов И. С., Оранская Р. С., «Защита металлов», 1978, т. 14, с. 105.

Поступило в Редакцию 22.02.79

Новые книги

Ковалев В. П. Вторичные излучения ускорителей электронов. М., Атомиздат, 1979. 200 с. 2 р. 30 к.

Электронные ускорители нашли широкое применение в народном хозяйстве. Ускоритель на энергию в несколько десятков мегаэлектронвольт представляет источник электронного, тормозного и нейтронного излучений, управляемый в широких пределах по интенсивности и в значительной степени по спектральному составу излучений. По мере расширения области использования электронных ускорителей постоянно повышаются требования к радиональности использования энергии ускоренных электронов, технологии и качеству радиационной защиты. Для решения этих задач необходима систематизация накопившейся к настоящему времени экспериментальной и теоретической информации, а также обобщение опыта по формированию полей излучений. К сожалению, нет работ, которые бы обобщали данные и последовательно излагали закономерности генерации вторичных излучений в мишенях, особенно в толстых. Поэтому выход книги В. П. Ковалева представляется полезным и своевременным.

Книга написана на основе результатов работ зарубежных и советских исследователей, в том числе работ автора с соавт., и последовательно ведет читателя от теории к практике. Значительное место в книге отведено формированию широких равномерных полей тормозного и нейтронного излучений, а также применению вторичных излучений электронных ускорителей.

Главы книги, посвященные генерированию вторичных излучений, имеют то преимущество перед такими изданиями, как «Экспериментальная ядерная физика» под ред. Э. Серге 1955 г. издания и отдельные переводные тома американской серии «Методы экспериментальной физики» под ред. Л. Юана и Ву Цзяньсюна 1963 г., что посвящены более узкому разделу ядерной физики и содержат обширный теоретический и экспериментальный материал последних лет. Кроме того, в книге выбран дифференцированный подход к аналитическим расчетам. Это позволяет достаточно строго рассмотреть выход и пространственно-энергетические характеристики вторичных излучений для наиболее характерных практических случаев и внести соответствующие поправки для лучшего согласия расчетов с экспериментальными данными. Наличие в книге подробного анализа допущений и погрешностей следует отнести к достоинствам книги.

К моментам, снижающим впечатление от чтения, следует отнести разноплановость книги. Так, с подробным рассмотрением теоретических вопросов не совсем согласуется беглое описание вопросов практики. Представляется также, что автор не совсем удачно выбрал единицу измерения выхода фотонейтронов как число нейтронов на один падающий на мишень электрон. Было бы целесообразно выражать выход фотонейтронов на единицу энергии соответствующей части спектра тормозного излучения. Это упростило бы применение материала книги на область фотонейтронных источников, получаемых на пучках тормозного излучения. К досадным оплошностям следует отнести опечатки и несколько неточностей в написании формул. Тем не менее можно с уверенностью ожидать, что рецензируемая книга получит высокую оценку специалистов.

РОСЛИК С. Ф.

Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана. Учебник для вузов. М., Атомиздат, 1978. 336 с. 1 р. 10 к.

В книге изложены основы химии урана, технология переработки сырья для получения металлического урана. Особое внимание уделено широко используемым в промышленности сорбционным и экстракционным способам переработки урановых растворов и технологии фтористых соединений урана. Технологические процессы рассматриваются на основе современных термодинамических и кинетических представлений, достижений в области химии координационных соединений и научных исследований по химической переработке урановых руд. Материал книги охватывает все операции технологии переработки руд, которые иллюстрируются конкретными примерами экспериментальной и промышленной практики. Приводятся характеристики и требования к получаемой продукции и полупродуктам. Широко использованы данные эксплуатации промышленных ураноперерабатывающих предприятий, описываются основные характеристики и технологические операции и схемы отдельных заводов. Отражены наиболее удачные технические и инженерные решения современных перерабатывающих предприятий.

Автор уделяет необходимое внимание используемой технологическому оборудованию и обоснованию выбора конструкционных материалов, имеющих защитные и антикоррозионные свойства. В отдельной главе изложена комплексная переработка урансодержащих руд, извлечение урана из бедных руд и природных вод. Переработка и обезвреживание отходов, экологические аспекты также нашли должное отражение в книге. Автор справедливо отмечает, что химическая технология — наука о наиболее экономичных методах и процессах переработки сырья. Книга еще более выиграла бы, если бы в ней в большем объеме были отражены экономические вопросы, связанные с выбором методов и способов технологии, и был приведен сравнительный анализ различных систем.

В основу учебника положен курс лекций видного специалиста-технолога, читаемый автором в течение почти двух десятилетий студентам Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева. Используются также материалы международных конференций и совещаний, новейшие научно-исследовательские разработки в области урановой технологии и оборудования.

Следует отметить, что данная книга является удачным решением учебника с хорошей компоновкой материала. Контрольные вопросы в конце каждой главы ставят задачей проанализировать полученные знания, в каждом конкретном случае сравнить технологические операции и схемы, сформулировать основные недостатки и главные задачи по выбору рационального технологического цикла.

Материал книги несомненно обогатит знания студентов, изучающих технологию переработки урановых руд, и послужит хорошим пособием для инженерно-технических работников научно-исследовательских и промышленных предприятий.

ЗЕМЛЯНУХИН В. И., КНЯЗЕВ О. И.