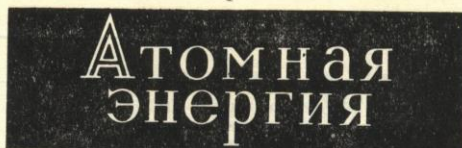


Ж 53
A92

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР



Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ТРИНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 25 ■ Ноябрь ■ Вып. 5

Главный редактор
М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ

Заместители главного редактора
Н. А. ВЛАСОВ, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, И. Н. ГОЛОВИН,
Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, А. К. КРАСИН,
А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, П. Н. ПАЛЕЙ,
Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО

СОДЕРЖАНИЕ

СЕДЬМОЙ КОНГРЕСС МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ (секция «Атомные электростанции»)		355
А. П. Александров. Ядерная энергетика и ее роль в техническом прогрессе		356
С. М. Фейнберг. Атомные электростанции		363
А. И. Лейпунский, И. И. Африкантов, О. Д. Казачковский, В. В. Орлов, М. С. Пинхасик, М. Ф. Троянов. Развитие ядерной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах в СССР		380
Н. А. Доллежал, Ю. И. Корякин. Некоторые вопросы работы АЭС в энергосистемах		387
А. И. Чурин, В. А. Клячко, Ю. И. Корякин, Г. М. Соловьев, А. А. Логинов, В. В. Рыбачев. Совмещение крупных атомных электростанций с опреснительными установками		394
А. И. Лейпунский, И. И. Африкантов, И. С. Головин, Ф. М. Митенков, В. В. Орлов, М. С. Пинхасик, А. А. Ринейский, В. В. Стекольников, М. Ф. Троянов, В. И. Ширяев. Атомная электростанция с реактором БН-600		403
В. В. Стекольников, В. А. Сидоренко, В. П. Татарников, Б. С. Язвенко, В. П. Денисов. Атомная электростанция с двумя реакторными блоками мощностью по 440 Мвт (2 × 440 Мвт)		408
Рефераты иностранных докладов секции «Атомные электростанции»		416
АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ		
Н. С. Николаев, А. Т. Садигова. Комплексные соединения гексафторида урана с фторидами щелочных металлов (Сообщение первое)		422
В. А. Храмченков. Радиолиз смесей насыщенных и ароматических фторуглеродов		423
В. Н. Смирнов, М. И. Ушкова, А. М. Новиков. Использование изотопа Te^{125m} качестве источника рентгеновского излучения		424
Е. М. Войнов, Г. Д. Ефремова, Н. А. Колокольцов. Теоретическое и экспериментальное исследование естественной конвекции газа в замкнутом контуре		425
Б. В. Окулов. О зависимости интенсивности тормозного излучения от энергии ускоренных электронов		426
С. А. Чурин. Расчет матричным методом спектрально-угловых характеристик излучения внутри плоских барьеров		426
ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ		
Ю. А. Шуколюков, Г. Ш. Ашкенадзе. Определение константы скорости спонтанного деления U^{235} по накоплению изотопов ксенона в урановых минералах		428
А. В. Безносикова, Е. С. Смотряцкая, Н. Т. Чеботарев. Структура соединения PuPd		430
Н. Т. Чеботарев, Ю. Н. Сокурский, М. А. Андрианов, А. А. Иванов. Магнитная восприимчивость сплавов плутония с палладием		431
Л. В. Павлинов. Диффузия урана в титан-молибденовых сплавах		434
А. А. Лукьянов, С. А. Эль-Вакиль. Многоуровневое описание энергетической структуры нейтронных сечений		435
Ф. Насыров. Средние по спектру нейтронов деления сечения реакций $(n, 2n)$, (n, p) , (n, α)		437
Э. Т. Шипатов, Б. А. Кононов. Энергетическое распределение протонов с энергией 6,72 Мэв, прошедших через монокристаллы		439
В. Н. Байер, В. А. Хоае. Эффекты рассеяния частиц внутри пучков поляризованных электронов в накопителях		440
А. М. Кольчужкин, В. В. Учайкин. К расчету прохождения γ -излучения через неоднородный барьер		442
В. Д. Виленский, В. В. Емельянов. Концентрация Si^{32} в атмосфере		444

235408



РГ

Диффузия урана в титан-молибденовых сплавах

Л. В. ПАВЛИНОВ

УДК 621.039.53:621.039.543.4

Самодиффузия и диффузия металлических примесей, в том числе урана, в о. ц. к.-решетке титана характеризуется низкими значениями энергии активации Q , частотного фактора D_0 и высоким уровнем диффузионной подвижности [1—3]. Считая наиболее вероятной причиной указанных диффузионных аномалий влияние дефектов кристаллической решетки, возникающих при полиморфном превращении и последующем росте зерен [4], можно ожидать значительного снижения уровня диффузионной подвижности и повышения энергии активации и частотного фактора при легировании титана элементами, стабилизирующими о. ц. к.-решетку.

Диффузия урана в двойных титан-молибденовых сплавах исследовалась при концентрациях молибдена 5—30 ат.%. Молибден относится к числу элементов, наиболее эффективно стабилизирующих о. ц. к.-решетку титана. При легировании молибденом существенно снижается температура полиморфного $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -превращения (с 882° С для чистого титана до 650° С для сплава с 15 ат.% Мо) и существенно повышается температура плавления.

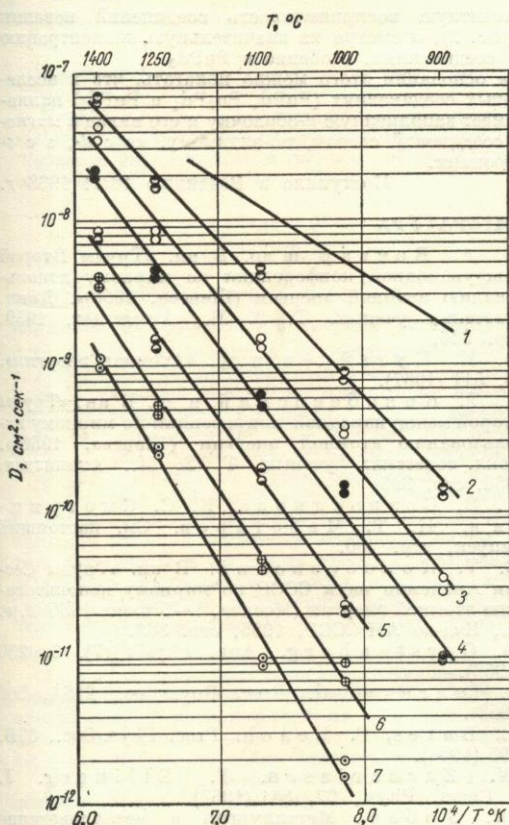
Двойные сплавы титана с 5; 10; 15; 20; 25 и 30 ат.% молибдена выплавлялись в дуговой печи в атмосфере очищенного аргона с использованием в качестве исходных металлов титана (99,62%) и молибдена (99,98%). Для гомогенизации структуры все образцы из указанных сплавов отжигались при температуре 1200° С в течение 5 ч.

Коэффициенты диффузии урана определялись методом интегрального остатка [5] с использованием α -излучения U^{235} при температурах 900, 1000, 1100, 1200 и 1400° С. Методика эксперимента подобна описанной ранее [2, 4, 6].

На рисунке представлены экспериментальные результаты определения зависимости коэффициента диффузии от обратной величины абсолютной температуры. В таблице приведены рассчитанные значения

Значение энергии активации и частотного фактора для диффузии урана в титан-молибденовых сплавах

Концентрация молибдена, ат.%	Энергия активации Q , кал/моль	Частотный фактор D_0 , см ² /сек
0 [2]	29 300	$5,1 \cdot 10^{-4}$
5	49 300	0,26
10	56 700	1,45
15	59 600	2,88
20	64 000	2,69
25	69 000	6,03
30	75 000	33,0



Температурная зависимость коэффициента диффузии D урана в титан-молибденовых сплавах:

1 — чистый титан; 2 — 5 ат.% Мо; 3 — 10 ат.% Мо; 4 — 15 ат.% Мо; 5 — 20 ат.% Мо; 6 — 25 ат.% Мо; 7 — 30 ат.% Мо.

энергии активации и частотного фактора. Для сравнения в таблице представлены также данные о диффузии урана в чистом титане [2].

Анализ полученных результатов показывает, что легирование молибденом существенно снижает коэффициенты диффузии урана в титане. Так, при 1000° С коэффициент диффузии в сплаве с 30 ат.% Мо в 3000 раз меньше коэффициента диффузии в чистом титане. С повышением температуры разница в коэффициентах диффузии несколько уменьшается. Например, при температуре 1400° С коэффициент диффузии в сплаве с 30 ат.% Мо в 60 раз меньше коэффициента диффузии в чистом титане. Легирование оказывает также существенное влияние на параметры температурной зависимости коэффициента диффузии — энергию активации и частотный фактор. Из таблицы видно, что наиболее существенное повышение энергии активации и частотного фактора происходит при введении 5 ат.% Мо. Энергия активации возрастает с 29 300 до 49 300 кал/моль, а частотный фактор с $5,1 \cdot 10^{-4}$ до 0,26 см²/сек. При дальнейшем повышении концентрации молибдена происходит более плавный рост энергии активации и частотного фактора. При этом во всем исследованном интервале концентраций (5—30 ат.% Мо) зависимость энергии активации и логарифма частотного фактора от концентрации может быть представлена линейными соотношениями

$$Q = 46\,000 + 933 \cdot C$$

и

$$\lg D_0 = -0,88 + 0,075 \cdot C,$$

где энергия активации выражается в *кал/моль*, а концентрация в атомных процентах. Значения энергии активации и частотного фактора для чистого титана ($Q = 46\,000$ кал/моль и $D_0 = 0,13$ см²/сек), полученные экстраполяцией к нулевой концентрации урана, значительно превышают соответствующие величины, полученные непосредственным измерением скорости диффузии урана в титане. Существенное различие указанных величин может быть обусловлено различием механизма диффузии или структурного состояния чистого титана и сплавов с концентрацией более 5 ат. % Мо. В чистом титане при полиморфном превращении и последующем росте зерен возможно образование дефектов кристаллической структуры, таких, как вакансии, дислокации, поверхности раздела, макроскопические поры и др., оказывающих существенное влияние на процесс диффузии. Образование указанных дефектов ведет к повышению уровня диффузионной подвижности и снижению энергии активации. При наличии избыточных вакансий, концентрация которых существенно не меняется с изменением температуры, измеряемая экспериментально энергия активации должна быть близкой к энергии движения атома или к половине полной энергии активации для равновесной структуры. Исследованные сплавы титана с молибденом в области существования о. ц. к.-решетки обладают более стабильной структурой по сравнению с чистым титаном. Поэтому можно полагать, что диффузионное перемещение атомов в рассматриваемых сплавах происходит с участием термически равновесных вакансий и энергия активации такого процесса равна сумме энергии образования вакансии и энергии перемещения атома в вакантный узел. Следовательно, разность значений энергии активации, полученных экстраполяцией к нулевой концентрации молибдена и при непосредственном исследовании диффузии урана в чистом титане, должна соответствовать энергии образования

вакансии. Легирование титана молибденом до 5 ат. % вызывает изменение структуры и частично механизма диффузии: в чистом титане диффузия происходит с участием атермических несовершенств кристаллической решетки, в сплавах — с участием термически равновесных дефектов. Повышение концентрации молибдена от 5 до 30 ат. % ведет к дальнейшему повышению энергии активации и снижению уровня диффузионной подвижности вследствие увеличения сил межатомного взаимодействия в твердых растворах титана с молибденом.

Полученные результаты показывают, что в отличие от чистого титана с «аномально» низкими значениями энергии активации и частотного фактора сплавы титана с молибденом во всем исследованном интервале концентраций имеют параметры диффузии, соответствующие современным представлениям о диффузии в твердых растворах по вакансионному механизму.

Поступило в Редакцию 19/VI 1967 г.
В окончательной редакции 6/III 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Murdock, T. Lundy, E. Stansbury. *Acta Metallurgica*, 12, 1033 (1964).
2. Л. В. Павлинов, А. И. Наконечников, В. Н. Быков. «Атомная энергия», 19, 521 (1965).
3. Л. В. Павлинов. «Физ. металлов и металловедение», 24, 272 (1967).
4. Л. В. Павлинов. Кандидатская диссертация. Обнинск, 1966.
5. П. Л. Грузин. «Докл. АН СССР», 86, 289 (1952).
6. В. С. Ляшенко, В. Н. Быков, Л. В. Павлинов. «Физ. металлов и металловедение», 8, 362 (1959).

Многоуровневое описание энергетической структуры нейтронных сечений

А. А. ЛУКЬЯНОВ, С. А. ЭЛЬ-ВАКИЛЬ*

Интерес к проблеме детального описания основных закономерностей энергетической структуры сечений в резонансной области связан как с улучшением экспериментального разрешения в диапазоне интерферирующих уровней, так и с прогрессом статистического анализа энергетических флюктуаций сечений [1, 2]. Все эти результаты непосредственно используются при изучении пространственно-энергетического распределения быстрых нейтронов в средах [3, 4].

Основная трудность практического применения для этой цели аппарата формальной теории ядерных реакций связана с необходимостью введения большого числа параметров. Однако если эти параметры не зависят от энергии (по крайней мере в интервале порядка среднего расстояния между резонансами), можно ввести некоторые статистические предположения относительно распределения их величин около средних значений в достаточно широком энергетическом интервале. При этом можно вычислять средние по энергии значения сечений и различные получаемые экспериментально функционалы сечений, зная лишь средние параметры.

* Атомный центр ОАР, Каир.

УДК 539.125.5

Качественное рассмотрение основных особенностей энергетической структуры сечений может быть проведено сравнительно просто в одноканальном случае. Используя формализм Вигнера — Айзенбуда (этот формализм позволяет параметризовать общую задачу с помощью не зависящих от энергии величин [5]), можно представить сечение взаимодействия в виде

$$\sigma(E) = \sigma^0 \left[\sin^2 \varphi + \frac{\cos 2\varphi - X(E) \sin 2\varphi}{1 + X^2(E)} \right], \quad (1)$$

где

$$2X^{-1}(E) = \sum_{\lambda} \frac{\Gamma_{\lambda}}{E_{\lambda} - E}; \quad (2)$$

σ^0 — максимальное сечение в резонансе; φ — фаза потенциального рассеяния; E_{λ} — положение уровня λ ; Γ_{λ} — ширина резонанса. Энергетическая зависимость сечения в рассматриваемом энергетическом интервале $\Delta E \ll E$ определяется функцией $X(E)$. В двухуровневом приближении (сумма по λ содержит только два члена) нетрудно проанализировать энергетическую структуру сечения при наличии интерференции как резонансного и потенциального рассеяний, так и интер-