

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. ДОДЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, А. К. КРАСИН,
А. Н. ЛЕЙБУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, И. П. ПАЛЕЙ,
Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

И. П. Ларский, П. П. Корешков, П. И. Моисейев. Уровни внешнего облучения персонала при работах с различными источниками излучений 463

Г. Б. Усатин. Расчет состава топлива и характеристика быстрого энергетического реактора в установившемся режиме 466

В. И. Гришков, В. А. Афанасьев, Г. А. Сапковский, Р. А. Шугам, И. Н. Соколов, Ю. А. Соловьев. Исследование системы автоматического регулирования атомной энергетической установки с кипящим реактором 469

В. И. Павловский, Л. Л. Финштейн. К выводу уравнения динамики паросодержания в парогенерирующих каналах при кипении перегретой воды 474

Р. Г. Васильков, В. И. Гольдманский, Я. В. Еришманов, О. С. Лукиндин, Б. А. Нименов. Нейтронные выходы и потоки тепловых нейтронов в системе сшивки — вода, бомбардируемой протоками высоких энергий 479

А. П. Тугаринов, Г. Е. Ордынец, Р. И. Щенякова, Е. И. Крыськов. Об использовании палладий изотопного состава свинца при изменении уранового региона 483

В. С. Ермеев. Исследование динамики углерода на монокарбиде урана в молибдене и полибране 489

А. В. Давыдов, Е. С. Давышин, И. Н. Палей, Р. А. Прибылова. Соединения ионов Pa(V) в растворах галогеноводородов 493

Ю. А. Сахаровский, Я. Д. Бельвенский. Экспериментальное определение значения коэффициента распределения при обменном обмене между жидким амальгамом и водородом 499

И. А. Копан, Л. И. Козаровицкая, И. М. Подгорный, В. А. Рязанов, В. П. Смирнов, А. М. Спектор, Д. А. Франк-Камецкий. Нагрев плазмы магнитно-звуковыми волнами 503

Г. В. Яковлевский, Ю. И. Серебряков. Развитие пучков устойчивости пучка электронов в магнитном ускорителе 507

А Н О Т И Ц И И Д Е Н О Н И Р О В А Н Н ы Х С Т А Т Е Й

Г. А. Сапковский, В. П. Гришков, Л. Л. Полтавцева, В. И. Плотинский. Методика исследования устойчивости водо-водяного кипящего реактора 514

В. Б. Дубровский, Ш. Ш. Ибрагимов, М. Я. Екин, А. Р. Тадыгин, Б. К. Пергаменцев. Устойчивость серпентинного б 515

Г. Я. Рязанов, В. С. Дмитриева. Исследования в задаче о быстрых нейтронах в среде с пустым 516

И. А. Иванов, Н. Ф. Прандок. Возможности использования молибдена и вольфрама для оценки относительного распределения изотопов быстрых нейтронов в реакторе 517

Л. Л. Бродер, С. А. Колосовский, в. С. Клыжуров, К. К. Попков, А. А. Сметанин. Прохождение быстрых нейтронов и γ -излучения через прямоуг 517

И. П. Зольников, К. А. Суханова, Б. Л. Двининин. Энергетическое и пространственное распределение обратно рассеянного γ -излучения 518

И. К. Карпенко. Полоидальные волны в минимум среднего магнитного поля в двухзачодном стеллараторе 518

И. К. Карпенко. Возможность существования магнитной ямы в комбинированном поле одного двухзачодного стелларатора 519

М. И. Авраменко, В. С. Кузнецов. К вопросу о расчете фазовой фокусировки итенициных ионных пучков 520

П И С Ь М А В Р Е Д А К Ц И Ю

Э. А. Стумбур. О некоторых интегральных соотношениях в теории реакторов 522

О. А. Мизлер, А. М. Демидов, Ф. И. Овчинников, Л. И. Голубев, М. А. Сумчаганов. Гамма-спектры теплоносителя реактора первого блока Ново-Воронежской АЭС 524

Г. Г. Завени, И. А. Горак, Н. Т. Скаир, И. А. Тонанй. Сечение радиационного захвата быстрых нейтронов изотопами Cu^{63} , Cu^{65} и W^{186} 526

С. Б. Ермагамбетов, Г. Н. Смиреники. Сечение деления Pu^{238} быстрыми нейтронами 527

А. Г. Добинко, В. Е. Козесов, В. П. Королева, В. А. Толстиков, Ю. Н. Шубин. Сечение радиационного захвата нейтроном с энергией 0,2—3 Мэв ядрами Te^{128} и Te^{130} 529

Л. И. Прохорова, Г. Н. Смиреники, Ю. М. Турчин. Среднее число мгновенных нейтронов при спонтанном делении Pu^{242} 530

236052



РЕПОЗИТОРИЙ ИМЕНА Ф. СКОРИНЫ

гии (Женева, 1958). Избр. докл. иностр. ученых. Т. 8. М., Атомиздат, 1959, стр. 22.
 2. Р. Кэннон, Л. Стиф, Т. Стерн. Там же, стр. 31.

3. Д. Я. Суражский, А. И. Тугаринов. «Атомная энергия», 9, 21 (1960).
 4. А. И. Тугаринов и др. В сб. «Вопросы прикладной радиогеологии». Вып. 2. М., Атомиздат, 1967.

Исследование диффузии углерода из монокарбида урана в молибден и вольфрам

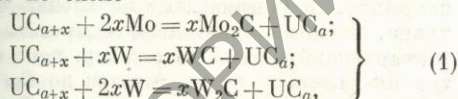
В. С. ЕРЕМЕЕВ

УДК 621.039.578.53

В качестве высокотемпературных конструкционных материалов для атомных реакторов могут быть использованы тугоплавкие металлы, карбиды, нитриды и другие соединения. В связи с этим изучение их взаимодействия представляет большой практический интерес. В работе [1], по-видимому, впервые приводятся данные по вычислению карбидных слоев, образующихся на молибдене и вольфраме в результате диффузии углерода из монокарбида урана при температуре 1000°С. Настоящая работа посвящена количественному описанию процесса диффузии углерода из монокарбида урана в молибден и вольфрам при температурах 1000—1800°С.

Решение уравнения диффузии

Из термодинамических данных следует, что молибден и вольфрам не должны взаимодействовать с монокарбидом урана по крайней мере при температуре до 1400°С. [2, 3]. Тем не менее отмечалось образование карбидов на молибдене и вольфраме после контактирования с монокарбидом урана даже при 1000—1200°С [4, 5]. Вероятно, это связано с тем, что реакция происходит по схеме



где индекс $a+x$ соответствует исходному содержанию углерода в монокарбиде урана; индекс a — составу UC_a , находящемуся в равновесии с молибденом или вольфрамом. Из-за отсутствия термодинамических данных для реакции (1) будем считать, что состав UC_a совпадает с нижним пределом области гомогенности монокарбида урана. Величина концентрации углерода C_{11} , соответствующей индексу a , приведена в табл. 1 (по данным работы [6, 7]).

При рассмотрении скорости образования слоев на молибдене можно пренебречь кинетически

ми факторами, связанными с фазовой перестройкой, а также встречной диффузией молибдена и вольфрама, так как коэффициенты диффузии углерода в карбидах на несколько порядков больше, чем коэффициенты диффузии металлов [7].

С учетом сделанных предположений задача сводится к решению уравнения диффузии:

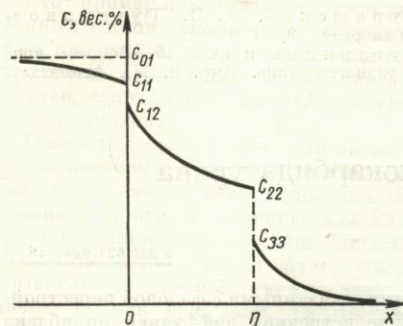
$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где i равно 1, 2, 3 (индекс 1 соответствует монокарбиду урана, 2 — образующемуся карбиду, 3 — контактируемому металлу); D_i — коэффициенты диффузии углерода, которые, строго говоря, зависят от концентрации [8], но для упрощения задачи будем считать их постоянными; C_i — концентрация углерода в i -й фазе; t — время; x — координата.

На рис. 1 приведено распределение углерода к моменту времени t . Здесь C_{01} — концентрация углерода в исходном UC ; C_{11} — значение нижнего предела области гомогенности UC ; C_{12} — концентрация на поверхности образующегося карбида (из физических соображений C_{12} не может быть больше верхнего предела C_{12}^* области гомогенности образующегося карбида); C_{22} — значение нижнего предела области гомогенности образующегося карбида; C_{33} —

Значения нижнего предела области гомогенности C_{11} монокарбида урана [6] и коэффициентов диффузии углерода D в карбидах урана [7], молибдена и вольфрама

Температура карбида, °С	Значение C_{11} для UC , вес. %	Значение D , см ² /сек		
		Mo ₂ C	UC	W ₂ C
1000	4,757	$1,08 \cdot 10^{-11}$	$5,71 \cdot 10^{-11}$	$1,28 \cdot 10^{-16}$
1180	4,710	$1,64 \cdot 10^{-10}$	$6,72 \cdot 10^{-10}$	$5,73 \cdot 10^{-14}$
1400	4,572	$1,29 \cdot 10^{-8}$	$6,52 \cdot 10^{-9}$	$1,55 \cdot 10^{-11}$
1600	4,410	$1,88 \cdot 10^{-7}$	$3,22 \cdot 10^{-8}$	$8,91 \cdot 10^{-10}$
1700	4,375	$5,52 \cdot 10^{-7}$	$6,04 \cdot 10^{-8}$	$4,89 \cdot 10^{-9}$
1800	4,360	$1,63 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-7}$	$2,30 \cdot 10^{-8}$



Р и с. 1. Распределение углерода к моменту времени t .

предел растворимости углерода в молибдене или вольфраме.

Точное решение уравнения (2) затруднительно, поэтому рассмотрим два предельных случая: а) бесконечное тело, когда образец из монокарбида урана является практически бесконечным источником углерода; б) конечное тело, когда учитывается конечное содержание углерода.

Толщина карбидного слоя η , образующегося на металле при его контактировании с УС в случае бесконечного тела определяется формулой [1]

$$\eta = 2a \sqrt{D_2 t}, \quad (3)$$

где константа a находится из трансцендентного уравнения

$$\frac{C_{01} - C_{11}}{C_{22}} \sqrt{\frac{D_1}{\pi D_2}} = a \exp(a^2). \quad (4)$$

При выводе формул (3) и (4) образованием твердого раствора углерода в молибдене и вольфраме пренебрегалось. Подобное упрощение оправдано при условии выполнения одного из неравенств $C_{33} \sqrt{D_3} < C_{22} \sqrt{\pi D_2}$ или $C_{22} \eta > C_{33} d$, где d — толщина образцов металла. В рассматриваемом случае концентрация C_{12} в образующемся карбиде на границе при $x = 0$ равна

$$C_{12} = C_{22} + (C_{01} - C_{11}) \sqrt{D_1/D_2} \operatorname{erf}(a). \quad (5)$$

Если окажется, что $C_{12} \geq C_{12}^*$, то для определения параметра a вместо (4) нужно использовать следующее выражение [9]:

$$\frac{C_{12}^* - C_{22}}{C_{22}} = a \sqrt{\pi} \operatorname{erf}(a) \exp(a^2), \quad (6)$$

полученное решением уравнения диффузии для граничных условий $c_2(0, t) = C_{12}^*$, $c_2(\eta, t) = C_{22}$, $c_3(x, t) = 0$ при $x \geq \eta$, т. е. для слу-

чая, когда количество углерода, диффундирующего из монокарбида урана к границе раздела, больше того количества, которое необходимо для обеспечения максимальной скорости роста слоя при реакционной диффузии.

В случае конечного тела толщина слоя η определяется из выражения

$$\eta = \frac{l(C_{01} - C_{11})}{2C_{22}} \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_1 \pi^2 t}{l^2}\right) \right]. \quad (7)$$

Здесь l — толщина образца из монокарбида урана, который контактирует с металлом одновременно двумя гранями. Формула (7) справедлива для достаточно больших времен, когда $(D_1 \pi^2 t / l^2) \geq (0,1 \div 0,2)$.

Вычисление параметров взаимодействия и сравнение с экспериментальными данными

Выражения (3) и (7) дополняют друг друга. Формула (3) справедлива для времен $t < t_0$, когда содержание углерода в монокарбиде урана достаточно велико. При $t > t_0$ следует использовать формулу (7). Согласно выражению (7), взаимодействие в принципе должно прекратиться при достаточно больших значениях t , когда содержание углерода в монокарбиде урана уменьшится до нижнего предела области гомогенности. Однако вследствие неустойчивости температуры в этом случае возможно появление жидкой фазы при $T \geq 1130^\circ \text{C}$ (температура плавления урана), механизм образования которой приведен на рис. 2.

На рис. 2 схематично показана линия, отделяющая двухфазную область на диаграмме состояния U — C [6]. Если при температуре T_1 содержание углерода в монокарбиде урана уменьшится до C_{11} , то снижение температуры, например, до T_2 приведет к появлению жидкого урана, который будет диффундировать в контактирующий металл до тех пор, пока концентрация углерода не увеличится до C_2 . Последующее увеличение температуры до T_1 вызовет появление избытка углерода, пропорционального $C_2 - C_{11}$. Процесс разрушения материалов в этом случае перестает подчиняться закону (7). Обозначим это предельное время t_1 . Найденные решения (3) и (7) позволяют определить величину t_1 . Допустим, что отклонение от средней рабочей температуры не превышает значения ΔT . Неустойчивость температуры вызывает изменение нижнего предела области гомогенности на величину ΔC . Тогда уменьшение концентрации углерода в УС до значения $C_{11} + \Delta C$ приведет к появлению жидкого.

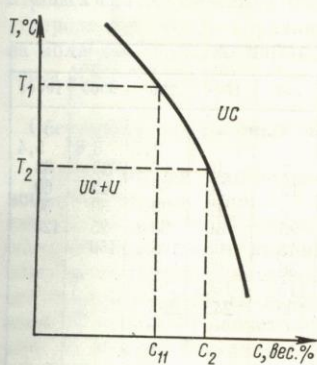


Рис. 2. Граница раздела фазовых областей $UC + U$ и UC на диаграмме состояния.

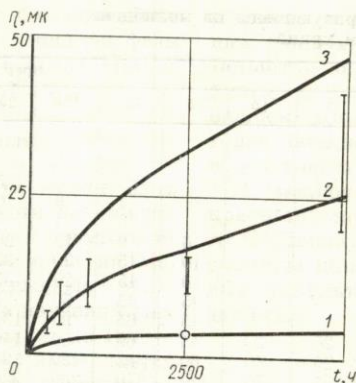


Рис. 3. Расчетные (кривые 1—3) и экспериментальные данные, характеризующие взаимодействие в системе $Mo - UC$ при $1000^\circ C$:

1 — 4,8 вес. % C; 2 — 5,0 вес. % C; 3 — 5,2 вес. % C; экспериментальное значение: 1 — $5,0 \div 5,2$ вес. % C; 0 — 4,8 вес. % C.

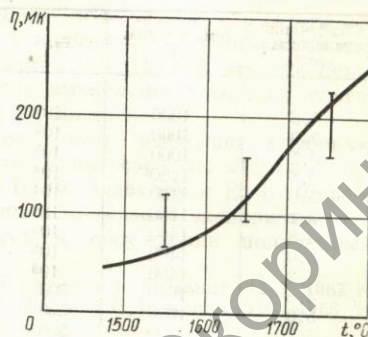


Рис. 4. Вычисленные (кривая) и экспериментальные данные, характеризующие взаимодействие в системе $Mo - UC$ ($5,0$ вес. % C).

урана. Так как для карбидов молибдена и вольфрама $C_{12} \approx C_{22}$, то можно показать, что жидкая фаза начнет образовываться, когда толщина слоя на металле достигнет величины

$$\eta = \frac{l(C_{01} - C_{11} - \Delta C)}{2C_{22}} \quad (8)$$

Коэффициент 2 в знаменателе означает, что процесс идет с обоих торцов. Тогда t_1 , согласно выражениям (7) и (8), определится из равенства

$$t_1 = \frac{l^2}{D_1 \pi^2} \ln \left(\frac{\pi^2}{8} \cdot \frac{C_{01} - C_{11}}{\Delta C} \right) \quad (9)$$

С целью выяснения влияния содержания углерода в монокарбиде урана на скорость роста образующихся слоев выберем следующие исходные концентрации углерода C_{01} : 4,8; 5,0 и 5,2 вес. % или соответственно 0,624; 0,650 и 0,676 г/см³. Значения C_{11} для UC [6] приведены в табл. 1. Концентрации углерода на границах области гомогенности равны [10]: для Mo_2C $C_{12} = 0,536$ г/см³, $C_{22} = 0,491$ г/см³; для W_2C $C_{12} = 0,554$ г/см³, $C_{22} = 0,466$ г/см³. Коэффициенты диффузии углерода в Mo_2C и W_2C определялись методом контактного взаимодействия молибдена и вольфрама с графитом в температурном интервале соответственно 1000—1780 и 1700—2050° C. Измерив толщину карбидного слоя на металле и вычислив величину a из формулы [6], можно определить коэффициент диффузии углерода из равенства [3]. Найденные таким образом коэффициенты диффузии в карбидах Mo_2C и W_2C согласуются

с данными работ [11, 12] и описываются следующими формулами:

$$D = 8 \cdot 10^2 \exp(-33000/RT) \text{ см}^2/\text{сек} \text{ для } Mo_2C; \quad (10)$$

$$D = 3 \cdot 10^3 \exp(-12500/RT) \text{ см}^2/\text{сек} \text{ для } W_2C. \quad (11)$$

В табл. 1 приведены коэффициенты диффузии углерода в монокарбиде урана [7] и значения D , вычисленные по формулам работ [11, 12].

При низких температурах возможна преимущественная диффузия углерода по границам зерен, поэтому при температурах 1000 и 1180° C для карбида молибдена в табл. 1 приведены экспериментально найденные значения.

Константа a , характеризующая скорость образования слоя на металле при контактировании его с UC , вычислялась по равенству (4) при всех температурах для системы $UC - Mo$ и для точек 1700° C (4,8 вес. % C) и 1800° C (4,8 и 5,0 вес. % C) в системе $UC - W$. Остальные значения a определялись из уравнения (6), так как концентрация C_{12} , вычисленная из выражения (5), оказалась выше C_{12}^* .

Вычисленные значения t_0 и толщин слоев, образующихся на молибдене и вольфраме после контактирования с таблеткой монокарбида урана толщиной 0,3 см, приведены в табл. 2 и 3.

Для проверки расчетной схемы исследовалось взаимодействие молибдена с монокарбидом урана по методике, описанной в работе [1]. Экспериментально полученные значения (рис. 3 и 4)

Вычисленные толщины слоев (мм), образующиеся на молибдене после контактирования с монокарбидом урана

Таблица 2

Содержание углерода, вес. %	Температура, °C	t_0 , ч	Время, ч											
			5	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	
4,8	1000	10^5										2,7	3,8	5,4
5,0	1000	10^5							5,2	7,4	10	17	23	33
5,2	1000	10^5				4	6	10	15	20	30	45	60	80
4,8	1180	10^4						6	9	12	20	25	40	60
5,0	1180	10^4						4	6	9	12	20	30	50
5,2	1180	10^4			6	9	12	20	25	40	60	85	120	
4,8	1400	10^3						10	15	20	35	45	65	105
5,0	1400	10^3						10	15	20	35	50	65	95
4,8	1400	10^3						25	35	50	80	115	160	195
5,0	1400	10^3						45	65	90	130	190	245	295
5,2	1400	10^3						20	30	45	65	90	140	
4,8	1600	500	20	30	45	65	90	140	190	230	320			
5,0	1600	500	25	40	60	85	120	190	230	320				
5,2	1600	500	55	75	120	170	230	320						
4,8	1700	50	35	45	70	105	150	240						
5,0	1700	50	60	85	135	180	240							
5,2	1700	50	75	105	170	235	315							
4,8	1800	25	60	75	120	100								
5,0	1800	25	95	120	180	250								
5,2	1800	25	120	150	240	320								

Вычисленные толщины слоев (мм), образующиеся на вольфраме после контактирования с монокарбидом урана

Таблица 3

Содержание углерода, вес. %	Температура, °C	t_0 , ч	Время, ч											
			5	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	
4,8—5,2	1000													
4,8—5,2	1180											4,5	6,5	0,4 9
4,8	1400	5000			8	10	15	25	35	50	75	100	150	
5,0—5,2	1400	20000			8	10	15	25	35	50	75	105	150	
4,8	1600	25		40	55	70	100	140	155	160				
5,0	1600	500		40	60	85	120	190	255	260				
5,2	1600	500		40	60	85	120	190	270	340				
4,8	1700	10		60	85	120	160	195	200					
5,0	1700	250		75	120	120	220	275	280					
5,2	1700	250		75	120	170	240	380	400					
4,8	1800	10	55	75	115	160	190	200						
5,0	1800	10	80	115	175	235	285	300						
5,2	1800	10	120	155	230	315	380	400						

удовлетворительно согласуются с расчетными данными.

По формуле (9) можно вычислить время t_1 , после которого начинает образовываться жидкая фаза. Пусть колебание температуры не пре-

вышает $\Delta T = 50^\circ \text{C}$. При температуре 1500—1700° C подобная нестабильность температуры вызывает изменение нижнего предела области гомогенности UC на величину $\Delta C \approx 0,0045 \text{ г/см}^3$. В случае использования таблетки из моно-

карбида урана толщиной 0,3 см с содержанием углерода 4,8 вес. % образование жидкой фазы на молибдене должно наблюдаться при 1700°С через 160 ч и при 1800°С через 80 ч.

Обсуждение полученных данных

Предложенная схема расчета может быть использована для оценки скорости взаимодействия в системе $Me_1C - Me_2$, если отсутствует обменная реакция, а карбидные слои на Me_2 образуются за счет уменьшения углерода в области гомогенности Me_1C . В случае изучения системы $UC - Mo(W)$ расчет справедлив до 1600—1800°С. В первой стадии ($t < t_0$) выполняется параболический закон роста слоя. В интервале $t_0 < t < t_1$ процесс становится затухающим, а при $t > t_1$ начинает образовываться жидкая фаза. Как видно из табл. 2 и 3, толщина слоев на молибдене и вольфраме тем меньше, чем меньше углерода в исходном монокарбиде урана. Однако использование монокарбида урана с меньшим содержанием углерода сокращает время t_1 .

Наибольшая ошибка, возникающая при расчетах, связана с определением коэффициентов диффузии и концентрации C_{ij} (см. рис. 1). В работе [9] указывается, что в области гомогенности карбида Mo_2C коэффициент диффузии может изменяться на порядок. Поэтому перенесение данных, полученных при реакционной диффузии в системе $C - Me$, где реализуется вся область гомогенности, на систему $Me_1C - Me_2$, когда возникает не вся область гомогенности, в общем случае приводит к завышению вычисленных значений. Кроме того, другая трудность связана с определением концентрации C_{11} в UC на границе контакта с металлом. В настоящей работе в качестве C_{11} принималось значение концентрации углерода на нижнем пределе области гомогенности UC , что также могло

привести к некоторому завышению вычисленных данных. Однако сравнение с экспериментальными значениями показывает, что эти эффекты лежат в пределах экспериментальных ошибок, хотя при 1000—1180°С заметно некоторое завышение вычисленных толщин слоев, образующихся на молибдене.

В заключение автор выражает глубокую признательность профессору П. Л. Грузину, А. С. Панову, Б. Ф. Ушакову и Е. В. Фивейскому за помощь в получении экспериментальных результатов и обсуждение полученных данных.

Поступила в Редакцию 12/X 1967 г.
В окончательной редакции 8/II 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Еремеев и др. Proceedings of the Symposium on Thermodynamics with Emphasis on Nuclear Materials. V. II. Vienna, IAEA, 1966, p. 161.
2. L. Eberle et al. Ber. Dtsch. keram. Ges., 43, 146 (1966).
3. А. И. Евстюхин и др. В сб. «Металлургия и металлостроение чистых металлов». Под ред. В. С. Емельянова. Т. V. М., Металлургиздат, 1966, стр. 99.
4. A. Weinberg, L. Yang. Advanced Energy Conversion, 3, 101 (1963).
5. S. Katz. J. Nucl. Materials, 6, 172 (1962).
6. E. Storms. Proceedings of the Symposium on Thermodynamics with Emphasis on Nuclear Materials. V. I. Vienna, IAEA, 1966, p. 309.
7. W. Chubb et al. BMI-1551, 1961.
8. В. С. Еремеев. «Физ. металлов и металлостроение», 23, 240 (1967).
9. В. Зайт. Диффузия в металлах и сплавах. М., Изд-во иностр. лит., 1949.
10. Г. В. Самсонов. Тугоплавкие соединения. М., Гостехиздат, 1963.
11. Г. С. Креймер, Л. Д. Эфрос, Е. А. Воронкова. ЖТФ, 22, 859 (1952).
12. Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. Покрытия из тугоплавких соединений. М., Металлургиздат, 1964.
13. М. Хансен, К. Андерко. Структуры двойных сплавов. М., Металлургиздат, 1962.

Состояние ионов Pa(V) в растворах галоидоводородных кислот

А. В. ДАВЫДОВ, Е. С. ПАЛЬШИН, П. Н. ПАЛЕЙ, Г. А. ПРИБЫЛОВА

УДК 546.796

В настоящее время достаточно хорошо изучено состояние ионов Pa(V) в солянокислых и в меньшей степени — во фторидных растворах (см. работы [1, 2]).

Данные о состоянии ионов этого элемента в растворах HBr и HI в литературе отсутствуют.

В солянокислых растворах протактиний образует в зависимости от концентрации кислоты различные катионные и анионные формы, состав которых может быть представлен в общем виде

