

пусам на промежутке $[0, 2\pi]$ приводится к виду (1)

$$\delta(\varphi) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\gamma}{1-k^2m^2} \cos 2km\varphi,$$

$$R^2 = 2p^2/\alpha, \quad \gamma = (\alpha - 1)/\alpha, \quad \alpha = 1 + \frac{k}{\pi} \sin \frac{\pi}{k}. \quad (17)$$

Подставив уравнение (17) в формулу (15), для правильной призмы с числом сторон $2k$ получим

$$\xi_0^{(2)^2} = v_{01}^2 \left(1 - \frac{\pi}{k} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{k} \right) \gamma^2 -$$

$$- \sum_{n, m=1}^{\infty} \frac{c_{2kn, m}^2}{v_{2kn, m}^2 v_{01}^2} \left\langle v_{01}^2 \left(1 - \frac{\pi}{k} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{k} \right) \gamma^2 \right. \quad (18)$$

$$B^2 = \zeta (v_{01}^2 + \xi_0^{(2)^2}) / R_0^2, \quad \zeta = \alpha \frac{k}{\pi} \operatorname{tg} \frac{\pi}{2k}. \quad (19)$$

Результаты оценки второго приближения отношения геометрического параметра рассматриваемых фигур к геометрическому параметру эквивалентного круга $B_0^2 = v_{01}^2 / R_0^2$ радиуса R_0 при расчете до $m = 10$ по формуле (19) приведены в таблице. Внесенные в таблицу точные значения B^2/B_0^2 для шестиугольника получены в работе [3] методом Рита, а для эллипса — в работе [4] с помощью разложения функций точного решения (функций Матье) в ряд по функциям Бесселя. Как видно из таблицы, второй порядок теории возмущений обладает достаточной для практики точностью, а простая формула (16) хорошо описывает все табулированные в публикации [4] значения геометрического параметра эллипса.

Оценки геометрического параметра реакторов разной формы

Геометрия сечения реактора	B^2/B_0^2		
	Второе приближение	Точное значение	Погрешность, %
Квадрат	1,094	1,086	0,8
Шестиугольник	1,028	1,026	0,2
Эллипс:			
$\varepsilon = 0,452$	1,011	1,011	0,0
$\varepsilon = 0,473$	1,128	1,127	0,1
$\varepsilon = 0,801$	1,641	1,616	1,6

В заключение отметим, что аналогичным образом можно рассмотреть влияние на критичность реактора малого отклонения его формы от сферической или кубической.

Авторы благодарят Г. А. Батя, А. Д. Галанина, В. А. Рубана за плодотворное обсуждение настоящей заметки, С. А. Артамонова и И. А. Шляхтера за помощь в численных расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мигдал А. Б., Крайнов В. П. Приближенные методы квантовой механики. М., «Наука», 1966.
2. Стумбур Э. А. Применение теории возмущений в физике ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1976.
3. Плинов Г. И. В кн.: Физика ядерных реакторов. Т. 1. Обнинск, изд. ОНТИ ФЭИ, 1966, с. 374.
4. Gast P., Bournia A. «Nucleonics», 1956, v. 14, № 4, p.109.

Поступило в Редакцию 22.10.79

УДК 621.3.035.45:537.311.3:546.16'33'34'841

Электропроводность бинарных расплавов тетрафторида тория с фторидами лития и натрия

ДЕСЯТНИК В. Н., КОВЕРДА А. П., КУРБАТОВ Н. Н., БЫСТРОВ В. В.

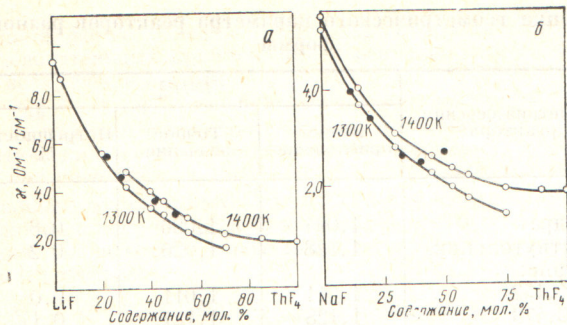
Проблема разработки ядерного реактора на расплавленных солях тесно связана с исследованием теплофизических свойств возможных топливных композиций, в частности, имеющих относительно невысокую температуру плавления, низкое давление паров, малую вязкость расплавов фторидов щелочных металлов с фторидами урана, тория и плутония.

Практически неограниченная растворимость фторида тория в расплавах фторидов щелочных металлов позволяет осуществлять расширенное воспроизводство топлива на медленных нейтронах [1]. Некоторый недостаток данных об электропроводности фторидных расплавов при относительно большой концентрации тория, по-видимому, объясняется сложностью подбора конструктивных элементов измерительной ячейки ввиду высокой коррозионной агрессивности этих расплавов [2].

Измерение удельной электропроводности фторидных расплавов проводили в реторте из нержавеющей стали. Футерованную внутри молибденом реторту помещали в печь сопротивления. Высокотемпературная зона реторты отделялась от холодной части системой никелевых экранов. Капиллярами служили трубки из MgO с диаметром отверстия 2,0 мм. Электроды, тигель с исследуемым расплавом и чехол термопары были изготовлены из никеля.

Сопротивление измеряли с помощью моста переменного тока Р568 на частоте 50 кГц. Напряжение, подаваемое на электроды, не превышало 30 мВ. Постоянную капилляра определяли путем экспериментов с расплавом KCl при 1070—1225 К, причем использовали опубликованные значения электропроводности KCl [3]. При более высокой и низкой температурах применяли экстраполяцию, справедливость которой проверяли калибровкой капилляра по 1 н. раствору NaCl при комнатной температуре. Максимальная погрешность при определении постоянной капилляра, по оценкам, составляла 1%. Максимальная расчетная погрешность измерения удельной электропроводности равна 2%.

В эксперименте большое внимание было уделено приготовлению безводных солей. Тетрафторид тория готовили из ThO₂, которую растворяли в кипящей азотной кислоте. Из полученного раствора плавиковой кислотой осаждали тетрафторид в виде ThF₄·nH₂O. Осадок промывали на фильтре дистиллированной водой, сушили в никелевой чашке при 100 °С в течение суток, затем прокаливали в печи под вакуумом, постепенно нагревая до температуры плавления. При химическом анализе полученного тетрафторида тория обнаружено присутствие не более 1 мас.% примесей.



Изотермы удельной электропроводности расплавов системы LiF—ThF₄ (а) и NaF—ThF₄ (б): ○ — настоящая работа; ● — данные [2]

Фториды лития и натрия марки о. с. ч. сушили в течение 3—4 ч при 300 °С под вакуумом, затем переплавляли и кристаллизовали в атмосфере аргона. В целях гомогенизации расплавов смеси солей требуемого состава выдерживали 3—4 ч при температуре, превышающей точку плавления на 50—80 °С, затем температуру поднимали до необходимой и измеряли электропроводность в процессе охлаждения расплава со скоростью 2—2,5 град/мин. После окончания эксперимента отдельные расплавы анализировали на содержание тория для контроля неизменности состава.

Удельную электропроводность расплавленных фторидов лития и тория, содержащих 20, 30, 40, 45, 55, 70, 85 и 100 мол. % ThF₄, и фторидов натрия и тория, содержащих 15, 30, 45, 53, 60, 75 и 90 мол. % ThF₄, а также чистых фторидов лития, натрия и тория измеряли в среде аргона, очищенного от следов воды и кислорода. Результаты измерения удельной электропроводности солевых расплавов были обработаны методом наименьших квадратов в виде уравнения

$$\kappa = a + bT + cT^2,$$

где κ — удельная электропроводность, Ом⁻¹·см⁻¹; T — температура, К; a , b , c — коэффициенты уравнения. В качестве показателя точности описания уравнением данного вида экспериментальных значений было рассчитано значение стандартного отклонения — S (см. таблицу).

На рисунке приведены изотермы удельной электропроводности изученных солевых расплавов, а также опубликованные [2] значения электропроводности при 1300 К. Значения удельной электропроводности, полученные при концентрации ThF₄ до 40 мол. %, хорошо согласуются

Коэффициенты уравнения температурной зависимости удельной электропроводности расплавленных солевых систем

Содержание ThF ₄ , мол. %	Коэффициент уравнения			Стандартное отклонение, S	Температурный интервал, К
	$-a$	$b \cdot 10^2$	$-c \cdot 10^6$		
LiF—ThF ₄					
0	8,1086	2,1400	6,0606	0,0034	1140—1300
20	6,3708	1,3095	3,0219	0,0018	860—1340
30	8,6232	1,3713	2,9674	0,0044	900—1400
40	6,2508	0,8504	0,8802	0,0041	980—1400
45	3,5151	0,4244	-0,5796	0,0029	1060—1400
55	6,8017	0,7696	-0,5598	0,0027	1120—1400
70	1,2523	-0,0837	-2,3639	0,0034	1240—1480
85	9,8144	1,0680	1,6071	0,0018	1340—1480
100	1,8653	-0,1064	-2,6339	0,0033	1380—1480
NaF—ThF ₄					
0	-0,7451	0,3900	0,3842	0,0025	1280—1440
15	5,5903	1,0517	2,6080	0,0021	1180—1400
30	4,9297	0,8530	2,0095	0,0027	960—1420
45	4,3189	0,6498	1,1118	0,0030	1020—1440
53	6,3829	0,8751	1,7888	0,0031	1080—1440
60	6,8455	0,8409	1,3858	0,0018	1140—1480
75	7,4516	0,8201	1,0664	0,0034	1280—1480
90	7,1091	0,5845	0,1191	0,0041	1360—1480

с известными [2], но с увеличением концентрации ThF₄ от 40 до 50 мол. % растет расхождение данных. Эксперименты показывают, что электропроводность этих расплавов монотонно уменьшается по мере увеличения содержания ThF₄.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бликин В. Я., Новиков В. М. Жидкосолевые ядерные реакторы. М., Атомиздат, 1978, с. 111.
2. Janz G. e.a. «J. Phys. Chem. Ref. Data», 1974, v. 3, N 1, p. 1.
3. Справочник по расплавленным солям. Т. 1. Л., «Химия», 1971, с. 24.

Поступило в Редакцию 22.10.79

УДК 621.039.531

Влияние термообработки на блистеринг молибденового сплава ЦМ-6

СКОРОВ Д. М., ГУСЕВА М. И., КАЛИН Б. А., ЯКУШИН В. Л.

Тугоплавкие металлы (молибден, ванадий, ниобий) и сплавы на их основе считаются перспективными конструкционными материалами для первой стенки разрядной камеры энергетических термоядерных реакторов [1]. При взаимодействии плазмы с материалом стенки наблюдается эрозия стенки вследствие распыления и блистеринга.

В работе [2] показано, что исходная структура мишени оказывает значительное влияние на параметры блистерообразования и эрозию материалов. Так, холоднокатаные образцы ванадия и ниобия, облученные при комнатной температуре ионами гелия энергией 500 кэВ, имеют гораздо меньшие размеры блистеров и коэффициенты эрозии вследствие их разрушения по сравнению с рекристаллизованными образцами. Известно, что термообработка является одним из способов изменения структуры и свойств

металлов и сплавов, поэтому для практического использования материалов в термоядерном реакторе важно знать, как влияет термообработка на их эрозию при ионном облучении.

В настоящей работе изучали гелиевый блистеринг молибденового сплава ЦМ-6 (Mo — 0,13 мас. % Zr — 0,002 мас. % С — 0,0015 мас. % В) в зависимости от термообработки образцов. Были исследованы материалы в следующих состояниях: исходное состояние (теплая прокатка), рекристаллизованное, закаленное и состаренное. Закалку образцов проводили в жидкий галлий после выдержки в вакууме $2,6 \cdot 10^{-3}$ Па при температуре 2000° С в течение 1 ч. Согласно [3], закалка в жидкий галлий обеспечивает высокую скорость охлаждения материала, что приводит к наиболее полной фиксации пересыщенного