

Теплофизические свойства металлокерамических композиций системы $Al_2O_3 - Mo$

В. А. ОСИПОВА, Х. А. КЯАР

УДК 536.21:223.621.76

Настоящая работа является продолжением начатых исследований [1], которые позволили определить теплофизические свойства металлокерамических композиций $80\% Al_2O_3 + 20\% Mo$ и $60\% Al_2O_3 + 40\% Mo$ (вес.%) при температурах $500-1300^\circ K$. Исходным порошком керамического компонента служит окись алюминия. Химический состав молибденового порошка приведен ниже (вес.%):

Mo	W	Ta	Nb	Ti	Zr
99,91	0,046	0,03	0,01	0,03	0,03

Дисперсионный анализ показал, что 90% исходного порошка состоит из частиц размером $0,001-0,003$ м.м., а 10% — размером $0,005-0,01$ м.м. Средняя плотность образца $80\% Al_2O_3 + 20\% Mo$ составляет 4450 кг/м³, а у образца $60\% Al_2O_3 + 40\% Mo$ она равна 5120 кг/м³. Общая пористость металлокерамических композиций лежала в пределах $1-4\%$. Опытные образцы были получены путем спекания, их диаметр составлял 40 м.м., а высота ~ 70 м.м. Образцы были набраны из отдельных дисков толщиной $5-10$ м.м.

В основу исследования теплофизических свойств был положен комплексный динамический метод монотонного нагревания. Он позволяет в результате проведения одного опыта найти комплекс теплофизических параметров (λ , a и c_p) во всем температурном интервале нагревания. Высокотемпературная вакуумная установка описана в работе [2]. Другой вариант опытной установки рассмотрен в работе [3].

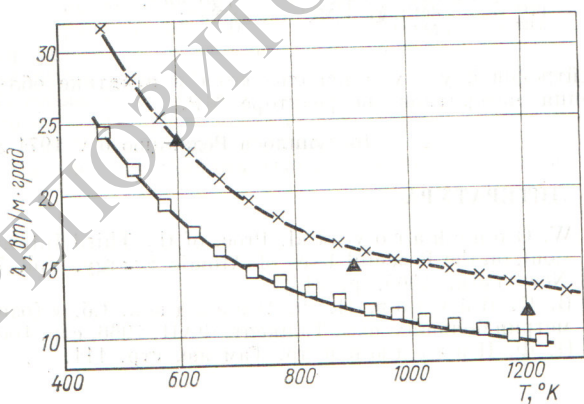
Тепловой поток измеряется методом эталонного тела. Эталонном по теплоемкости является образец из спектральной чистой α -модификации окиси алюминия. Разработанная система автоматического регу-

лирования обеспечивает постоянство теплового потока на поверхности исследуемого образца. Контроль за процессом регулирования осуществляется с помощью диаграммной ленты ЭПП-09. В исследуемом интервале температур максимальное отклонение от заданной температуры не превышало $5^\circ K$.

В эксперименте использовались хромель-алюмелевые термопары диаметром $0,2$ и $0,3$ м.м. и вольфрам-ренийевые термопары ВР5/ВР20 диаметром $0,2$ м.м. Предварительно проводился отбор термопар по критерию совпадения термоэлектрических характеристик для измерения перепада температур и времени запаздывания. Так как в исследуемом интервале температуры образцы представляют собой электроизоляторы, расчетный перепад температур по радиусу опытного образца измеряется по дифференциальной схеме. В течение одного эксперимента удается получить $50-60$ опытных точек. Результаты осреднялись графическим способом. Максимальная относительная погрешность результатов при определении коэффициента теплопроводности составила 11% , а коэффициента температуропроводности — 7% . Опыты проводились при постоянной плотности теплового потока 8000 Вт/м² в температурном интервале $500-1300^\circ K$. Результаты

Теплопроводность λ (Вт/м $\cdot^\circ K$) и температуропроводность a ($\times 10^6$ /м²/сек) металлокерамических композиций

T, °K	80% Al ₂ O ₃ + 20% Mo		60% Al ₂ O ₃ + 40% Mo	
	λ	a	λ	a
473	24,5	6,8	31,8	10,5
573	19,4	5,0	25,3	6,8
673	15,9	3,9	21,0	5,4
773	13,8	3,2	18,3	4,6
873	12,2	2,8	16,4	4,1
973	11,1	2,5	15,2	3,7
1073	10,1	2,3	14,5	3,3
1173	9,5	2,1	13,4	3,1
1273	—	—	12,8	2,9



Теплопроводность металлокерамических композиций:

□ — $80\% Al_2O_3 + 20\% Mo$; × — $60\% Al_2O_3 + 40\% Mo$; ▲ — расчетные данные [4].

измерений приведены в таблице и на рисунке. Температурная зависимость коэффициента температуропроводности аналогична зависимости коэффициента теплопроводности.

На рисунке экспериментальные данные для композиции $60\% Al_2O_3 + 40\% Mo$ сравниваются с зависимостью, полученной расчетным путем для матрицы системы [4]. Микроструктурный анализ образцов показал, что окись алюминия является матрицей, куда вкраплены частицы молибдена. В основу расчета положены надежные данные [5] по теплопроводности окиси алюминия и теплопроводности молибдена [5-7].

Поступило в Редакцию 20/I 1971
В окончательной редакции 8/VII 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Осипова, М. И. Пак. «Атомная энергия», № 72 (1969).
 2. М. И. Пак, В. А. Осипова. «Теплоэнергетика», № 12, 68 (1966); № 6, 63 (1967).
 3. В. А. Осипова. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М., «Энергия», 1969.

4. В. И. Одолевский. ЖТФ, XXI, 667 (1951).
 5. Thermophys. Propert. of High Temper. Solid Mater. N. Y.—London, 1967.
 6. А. Агте, И. Вацек. Вольфрам и молибден. М., «Энергия», 1964.
 7. И. Н. Макаренко, Л. Н. Труханова, Л. П. Филиппов. «Теплофизика высоких температур», 8, 445 (1970).

Электроперенос углерода в бериллии

В. П. ГЛАДКОВ, В. С. ЗОТОВ, Д. М. СКОРОВ

УДК 539.125.525

Изучение электропереноса примесных элементов в твердых металлах дает возможность получить ряд важных характеристик материалов. Например, известно [1], что с помощью пропускания постоянного тока через образец бериллии во время зонной очистки эффективность удаления углерода удалось увеличить. Правда, авторы объясняют этот результат влиянием не только электропереноса, но и эффекта Пельтье, создаваемого температурный градиент в расплавленной зоне.

В связи с этим был изучен электроперенос углерода в твердом бериллии с ГПУ-решеткой. Для исследования использовали поликристаллический порошковый металл со средней крупностью зерна 56 мкм. Содержащие примеси по результатам химического анализа следующие (в вес. %): кислорода — 0,15; углерода — 0,06; азота — 0,05; железа — 0,1; кремния — 0,07; хрома — 0,02; меди — 0,03; марганца — 0,02; никеля — 0,01; магния — 0,002.

Образцы диаметром 0,5 см и длиной 0,6 см нарезали, а затем покрывали суспензией элементарного углерода C¹⁴ в цапонлаке. Пары таких образцов, соединенных активными сторонами, зажимали между бериллиевыми токоподводами и помещали в вакуумную камеру (~10⁻⁴ торр) для отжига. Во время отжига через образцы пропускали постоянный ток плотностью 100 А/см².

Размер образцов до рабочих температур производили влиянием нагревателем, а температуру опыта контролировали Pt — Pt + 10% Rh термпарой с точностью не хуже ±5° С. После отжига анодные и катодные части пары образцов посылно анализировали спектром типа Т-25-БФД (диаметр слюдяного окна 2 мм, толщина слюды 1,0 мг/см²). В результате такого анализа получали зависимость, характеризующую распределение углерода по глубине образцов.

Количество нанесенного углерода обеспечивало граничные условия, соответствующие диффузии из «постоянного источника».

Уравнение диффузии из постоянного источника в поле направляющей силы имеет вид:

$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c(x, t)}{\partial x^2} \pm \Phi \frac{\partial c(x, t)}{\partial x}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} c(0, t) = c_0, \quad t > 0; \\ c(x, 0) = 0, \quad x \geq 0; \\ c(\infty, t) = 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $c(x, t)$ — концентрация диффундирующего элемента; D — коэффициент диффузии, не зависящий от концентрации; Φ — направленная скорость перемещения

вещества под воздействием вынуждающей силы; c_0 — постоянная концентрация, соответствующая пределу растворимости изучаемой примеси в металле. В общем случае решение уравнения (1) с краевыми условиями (2) имеет вид [2]

$$c(x, 0) = \frac{c_0}{2} \exp\left(\frac{\Phi}{D} x\right) \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x + \Phi t}{2\sqrt{Dt}}\right) + \exp\left(-\frac{\Phi}{D} x\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x - \Phi t}{2\sqrt{Dt}}\right) \right]. \quad (3)$$

При изменении направления поля концентрации в полубесконечных пространствах связаны между собой выражением

$$c(x, t)_+ = c(x, t) - \exp\left(\frac{\Phi}{D} x\right), \quad (4)$$

где $c(x, t)_+$ и $c(x, t)_-$ — концентрация в анодной и катодной частях пары образцов соответственно.

Для расчета эффективного заряда можно воспользоваться выражением [3]

$$z^* = \alpha \frac{kT}{e j \rho} \cdot \frac{\Phi}{D}, \quad (5)$$

где k и e — постоянная Больцмана и заряд электрона; j — плотность тока; ρ — удельное электросопротивление образца; α — коэффициент, учитывающий кристаллическую структуру металла ($\alpha = 0,78$ [4]). Отношение Φ/D вычислялось по уравнению (4).

Результаты измерений электропереноса углерода в бериллии при трех температурах приведены в таблице.

Электроперенос углерода в бериллии

Температура опыта, °К	ρ , мком·см [5]	D , см ² /сек	$\Phi \cdot 10^{-8}$, см/сек	Подвижность U , см/ч в/см	z^*
1473±4	46,0	1,3·10 ⁻⁹	2,34	2,02·10 ⁻⁴	-0,254
1373±5	41,5	2,2·10 ⁻⁹	2,49	3,48·10 ⁻⁴	-0,164
1273	37,5	2,0·10 ⁻¹⁰	2,56	2,71·10 ⁻⁶	-26,5

При выбранных температурах происходит электроперенос углерода к аноду, и, следовательно, эффективный заряд углерода в бериллии отрицателен. Электроперенос вызван взаимодействием электрического поля с электрически заряженными активированными