

УДК 666.3:539.376

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Д. Н. ПОЛУБОЯРИНОВ, В. М. ГУЛАЕВ, В. С. БАКУНОВ,
Л. А. МУЗЫЧЕНКО

УСТАНОВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОЛЗУЧЕСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(Представлено академиком И. В. Тананаевым 27 I 1972)

В настоящее время принято считать (¹⁻³), что скорость ползучести ($\dot{\epsilon}$) поликристаллических материалов можно описать полуэмпирическим уравнением

$$\dot{\epsilon} = A e^{-Q/RT} \sigma^n \mu^{-m}, \quad (1)$$

где σ — приложенное напряжение, кГ/см²; μ — размер кристаллов в микронах; A , Q , n , m — эмпирические постоянные.

Известно (^{4, 5}), что могут существовать различные механизмы ползучести, каждый из которых характеризуется определенными значениями указанных постоянных. В то же время многочисленные экспериментальные данные (например, (^{6, 7})) показывают, что в широких интервалах изменения параметров (T , σ , μ) уравнение (1) описывает скорость ползучести неадекватно. Неясно, вызвано ли это существованием областей действия различных механизмов ползучести в данной области изменения параметров, или причина заключается в неадекватности выбранной функциональной зависимости.

В предлагаемой работе сделана попытка дать ответ на этот вопрос на примере изучения ползучести поликристаллической плотно спекшейся корундовой керамики. На первом этапе проведена проверка локальной адекватности уравнения (1), для чего оно было приведено к линейному виду. Затем пространство изменения переменных (1873—2173° К, $\sigma = 6$ —24 кГ/см², $\mu = 20$ —120 μ) было разбито на параллелепипеды, в вершинах которых были поставлены эксперименты. Координаты вершин представляли собой полный перебор по 3 из следующих значений: $T = 1873, 1923, 1973, 2023, 2073, 2123, 2173^\circ \text{ К}$; $\sigma = 6, 13, 24 \text{ кГ/см}^2$; $\mu = 20, 60, 120 \mu$. С целью сокращения времени на обработку результатов координаты вершин параллелепипедов преобразовали таким образом, чтобы для каждого параллелепипеда таблица значений переменных представляла собой ортогональную матрицу планирования 2³ (⁸). Найденные значения констант A , Q , n , m относили к центру соответствующего куба, который получался после преобразования координат. В качестве примера в табл. 1 приведены координаты центров нескольких кубов, полученные величины констант и некоторые статистические характеристики.

Как видно из приведенных данных, значения критерия Фишера (F) показывают, что уравнение (1) адекватно описывает процесс ползучести в пределах каждого из взятых параллелепипедов, поскольку табличное значение F_{α}^{∞} для 20% уровня значимости равно 2,4. Однако в пределах исследованной области величины констант уравнения (1) существенно изменяются, что указывает на действие в ней различных механизмов ползучести.

Для выявления областей существования этих механизмов и определения значений характеризующих их констант было проведено распределение центров кубов по классам, для чего значения каждой из констант

Таблица 1

№№ опытов	T, °K	σ	μ	$\lg A \pm S_{\lg A}$	$Q \pm S_Q$	$n \pm S_n$	$m \pm S_m$	S_{ε}	F*	A	Q	n	m	Класс
1	1948,8	8,85	0,0346	$1,7 \pm 1,9$	$110,5 \pm 16,8$	$1,15 \pm 0,13$	$2,65 \pm 0,1$	0,068	2,61	0	0	0	1	B1
2	1948,8	8,85	0,085	$6,2 \pm 0,9$	$140 \pm 0,8$	$0,98 \pm 0,07$	$2,17 \pm 0,08$	0,033	11,1	1	1	0	0	A1
8	1997,9	17,7	0,085	$9,8 \pm 2,3$	165 ± 20	$1,66 \pm 0,21$	$1,45 \pm 0,18$	0,079	1,95	1	1	1	0	A2
12	2037,7	17,7	0,0346	$1,7 \pm 0,9$	99 ± 8	$1,54 \pm 0,08$	$2,03 \pm 0,04$	0,029	14,5	0	0	1	0	B2

* В данном случае $F = \bar{S}_{\text{воспр}}^2 / \bar{S}_{\text{расч}}^2$, где $\bar{S}_{\text{воспр}}$ — выборочное среднее квадратичное отклонение в параллельных измерениях. $\bar{S}_{\text{расч}}$ — выборочное среднее квадратичное отклонение рассчитанных значений от экспериментальных.

Таблица 2

Класс	Под-класс	A	Q	n	m	$A \pm \Delta A$	$Q \pm \Delta Q$	$n \pm \Delta n$	$m \pm \Delta m$
A	1	1	1	0	0	$8,9 \pm 1,9$	163 ± 20	$1,07 \pm 0,16$	$1,81 \pm 0,22$
	2	1	1	1	0	$8,9 \pm 1,9$	163 ± 20	$1,65 \pm 0,13$	$1,81 \pm 0,22$
B	1	0	0	0	1	$2,92 \pm 1,4$	110 ± 8	$1,07 \pm 0,16$	$2,80 \pm 0,36$
	2	0	0	1	0	$2,92 \pm 1,4$	110 ± 8	$1,65 \pm 0,13$	$1,81 \pm 0,22$

наносили на числовую ось. При этом оказалось, что точки на числовой оси в каждом отдельном случае разделяются на 2 существенно отстоящих друг от друга группы. Меньшей по величине группе был присвоен индекс 0, а большей — 1. Кроме того, для каждой из групп вычислено среднее арифметическое из значений констант, отнесенных к этой группе. Таким образом, каждый из кубов мог быть охарактеризован набором из 4 индексов. На основании значений этих индексов все центры кубов разделены на два класса, каждый из которых разделялся на два подкласса *. Величины средних арифметических констант, характеризующих классы, и их индексы приведены в табл. 2. Из данных табл. 2, в частности, видно, что средние арифметические для каждой из групп значимо отличаются друг от друга. Следовательно, каждому из подклассов отвечает индивидуальный механизм ползучести. Полученные значения констант указывают на то, что в областях пространства переменных, отнесенных к выделенным классам, действуют уже рассмотренные в литературе физические механизмы ползучести. Так, подкласс A1 отвечает механизму объемной диффузии вакансий, поскольку энергия активации в этой области соответствует энергии активации диффузии и скорость процесса прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна квадрату размера кристаллов; подкласс B1 соответствует, вероятно, механизму диффузии по границам зерен. Следует отметить, что здесь указаны преобладающие механизмы деформации; наряду с ними могут действовать и другие механизмы. Так, очевидно, подклассы A2 и B2 являются переходными областями.

Информация об областях действия различных механизмов необходима для прогнозирования поведения материалов под нагрузкой в реальных условиях. В результате применения предложенной методики обработки данных с целью установления областей действия конкретных механизмов выяснилось, что для прогнозирования поведения керамики при длитель-

* В ряде случаев некоторые из центров отличались от основного подкласса по одному индексу. Тогда их относили к ближайшему подклассу.

ной службе в широких интервалах изменения внешних условий необходимо провести дальнейшие эксперименты, особенно в области небольших температур и нагрузок.

Московский химико-технологический институт
им. Д. И. Менделеева

Поступило
20 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. Гарофало, Законы ползучести и длительной прочности металлов, М., 1968. ² В. М. Розенберг, Ползучесть металлов, М., 1967. ³ Д. Дорн, Д. Моут, В сборн. Новые материалы и методы исследования металлов и сплавов, М., 1966. ⁴ Г. Шоек, В сборн. Ползучесть и возврат, М., 1961. ⁵ R. L. Coble, J. Appl. Phys., 34, 6, 1679 (1963). ⁶ S. J. Warshaw, F. H. Norton, J. Am. Ceram. Soc., 45, 10, 479 (1962). ⁷ M. Alain, W. D. Kingery, J. Am. Ceram. Soc., 54, 7, 339 (1971). ⁸ В. В. Налимов, Статистические методы описания химических и металлургических процессов, М., 1963.