

СТАБИЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИТАЛЛОВ

Ю. Г. ВАЖЕНЦЕВ, Л. М. СЕДОКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Ситаллы получают путем тонкой кристаллизации, протекающей во всем объеме заранее отформованного изделия. Они отличаются от стекол тем, что имеют в основном кристаллическое строение, а от керамики — значительно меньшим размером кристаллов [1]. По своим свойствам ситаллы превосходят многие обычные технические материалы, отличаясь высокой прочностью, твердостью, хорошими электроизоляционными свойствами, высокой температурой размягчения, хорошей термо- и химической стойкостью. Они в несколько раз прочнее прокатного стекла, легче алюминия, могут быть тверже высокоуглеродистой стали. Регулируя размеры, плотность и химико-минералогический состав кристаллов, можно получить ситаллы с заранее заданными свойствами, удовлетворяющими специальным требованиям [1].

Ситаллы получают все большее распространение в технике, в том числе в качестве элементов несущих конструкций. Однако механические свойства их изучены весьма слабо. Эти материалы являются очень хрупкими, поэтому для них непосредственное определение такой важной механической характеристики, как предел прочности при линейном растяжении, связано с определенными трудностями [7].

В настоящей работе изложены результаты исследований стабильности прочностных характеристик ситалла АС-418. Цилиндрические образцы диаметром 20 мм и высотой 5, 10, 15, 20, 25, 35 и 40 мм в общем количестве 272 шт. подвергались испытанию на радиальное сжатие, а 22 образца диаметром 20 мм и высотой 30 мм были испытаны на осевое сжатие. Испытания производились на универсальной гидравлической испытательной машине с использованием специальной обоймы, которая позволяла исключить перекосы, эксцентricность приложения нагрузки при осевом сжатии образцов и обеспечивала одновременное контактирование нажимных прокладок с образцом по всей длине образующей. Окна в обойме, затянутые прозрачным материалом, давали возможность вести визуальное наблюдение за образцом в процессе нагружения и его разрушения.

Непосредственным результатом испытаний цилиндрических образцов на радиальное сжатие является контактная прочность $\sigma_{кп}$, равная отношению максимальной силы к площади диаметрального сечения ($d \cdot l$) [2]. Изменения контактной прочности ситалла АС-418 при увеличении соотношения геометрических размеров образцов d/l от 0,25 до 2 весьма незначительно и имеет тот же характер, что и для серых чугунов [2].

Гистограмма результатов испытаний образцов из исследуемого материала на радиальное сжатие приведена на рис. 1, а на осевое сжатие — на рис. 2. Как видно, прочностные характеристики ситалла имеют довольно низкую стабильность, которая характеризуется степенью

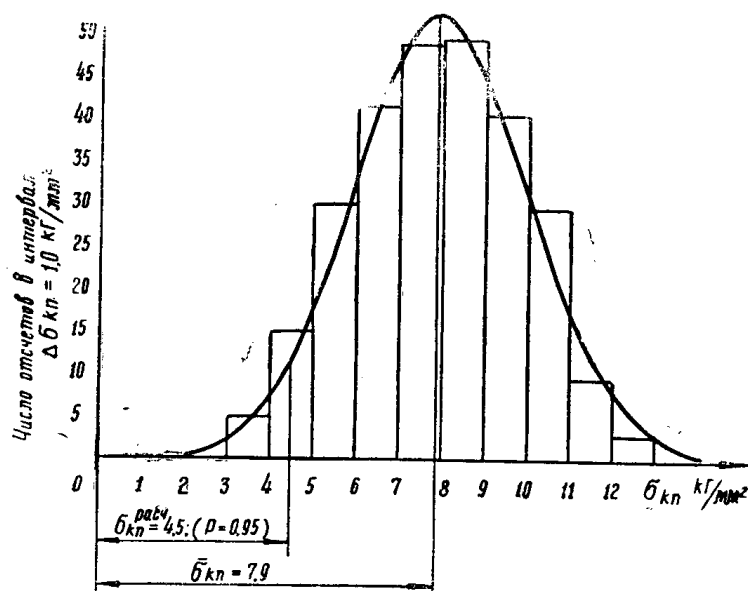


Рис. 1. Гистограмма результатов испытаний ситалла при радиальном сжатии

разброса экспериментальных данных около среднего значения σ исследуемой величины. Вероятность того, что величина механической характеристики материала при данном виде нагружения будет не ниже

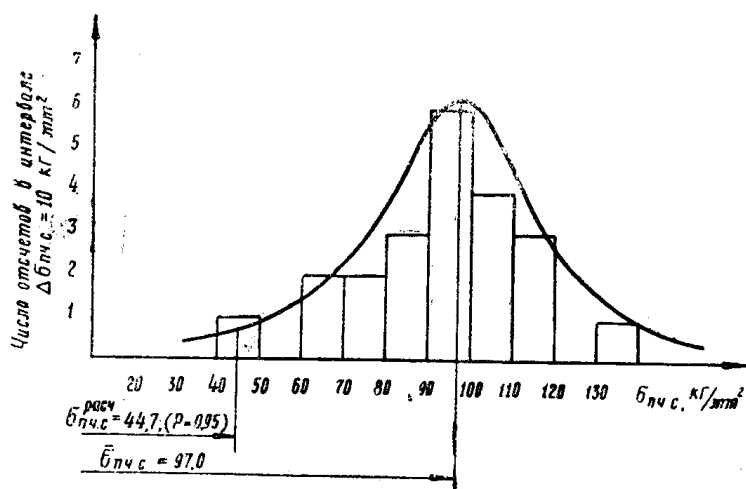


Рис. 2. Гистограмма результатов испытаний ситалла при осевом сжатии

нижнего граничного значения этой характеристики при заданном уровне надежности P , оценивается коэффициентом стабильности:

$$c = 1 - t(P, \kappa) \cdot \Delta. \quad (1)$$

Здесь $t(P, \kappa)$ — параметр распределения Стьюдента [6];
 Δ — коэффициент вариации, определяемый по формуле

$$\Delta = \frac{S}{\sigma}, \quad (2)$$

где S — среднеквадратическое отклонение.

Результаты испытаний образцов из ситалла, обработанные методами математической статистики, приведены в табл. 1. Хотя коэффициент стабильности и зависит от числа испытаний (здесь $\kappa = n - 1$ [6]), тем не менее при $n > 20$ ошибка определения коэффициента по (1) не превышает 2%. Поэтому совершенно очевидно, что стабильность результатов испытаний исследуемого материала при радиальном сжатии выше, чем при осевом сжатии.

Для оценки стабильности самого метода испытания хрупких материалов при радиальном сжатии дополнительно были испытаны 15 цилиндрических образцов диаметром 20 мм и высотой от 10 до 30 мм из серого чугуна твердостью HB180 — материала хорошо изученного, известного сравнительно невысокой стабильностью механических свойств. Коэффициент стабильности контактной прочности для серого чугуна при заданном уровне надежности оказался значительно выше, чем для ситалла АС-418 (табл. 1). Следовательно, при испытании хрупких материалов на контактную прочность при радиальном сжатии стабильность экспериментальных результатов главным образом зависит от свойств материалов.

Таблица 1

Результаты испытаний ситалла АС-418 и серого чугуна HB180 на радиальное сжатие и ситалла АС-418 на осевое сжатие

№ п. п.	Вид механического испытания	Материал	Среднеквадрат. отклонение S , кг/мм	Коэффициент вариации Δ , %	Уровень надежности P	Коэффициент стабильности c	Значение исследуемой величины, кг/мм	Расчет. значение исслед. величины, кг/мм ²
1	Радиальное сжатие	Ситалл АС-418	1,6	20,3	0,90	0,66	$7,90 \pm 0,16$	5,22
					0,95	0,60	$7,90 \pm 0,20$	4,50
					0,999	0,40	$7,90 \pm 0,30$	2,84
		Чугун серый HB180	0,75	3,8	0,90	0,93	$19,45 \pm 0,38$	18,10
					0,95	0,92	$19,45 \pm 0,42$	17,90
					0,999	0,88	$19,45 \pm 0,63$	17,10
2	Осевое сжатие	Ситалл АС-418	26,37	27,6	0,90	0,54	$97,03 \pm 9,65$	52,50
					0,95	0,46	$97,03 \pm 12,10$	44,70
					0,999	0,19	$97,03 \pm 22,00$	18,50

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что прочностные характеристики таких хрупких материалов, как ситаллы, отличающихся низкой стабильностью механических свойств, недостаточно оценивать одним конкретным значением результатов испытаний ограниченного числа образцов, необходимо дополнительно производить доверительную оценку этих характеристик.

Для получения доверительной оценки предельной прочности ситалла с точностью ε

$$|\sigma - \bar{\sigma}| < \varepsilon \quad (3)$$

необходимое число испытаний с заданной надежностью можно ориентировочно определить по формуле [6]

$$n > \left[\frac{t(P, \kappa)}{\varepsilon} \right]^2 S^2. \quad (4)$$

С учетом довольно низкой стабильности прочностных характеристик ситалла АС-418 для инженерных расчетов надо использовать не среднее, а расчетное значение предела прочности материала, определяемое с заданной надежностью P

$$\sigma_{пч}^{расч} = c \cdot \bar{\sigma}_{пч}. \quad (5)$$

Здесь коэффициент стабильности c выполняет роль минимально допустимого коэффициента запаса прочности материала.

Расчет предела прочности хрупких материалов на линейное растяжение по контактной прочности, определяемой при радиальном сжатии, предполагает переходный коэффициент A , зависящий от выбранного критерия прочности [4]. По регулярному критерию ТПИ для хрупких материалов [4]

$$A = \frac{2}{\pi} \sqrt{1 + 9\nu^2 + 0,75\nu}, \quad (6)$$

где коэффициент хрупкости $\nu = \frac{\sigma_p}{|\sigma_c|}$ характеризует различное сопротивление хрупких материалов растяжению и сжатию. Для ситаллов $\nu = 0,04$ [1, 3]; в этом случае $A = 0,65$. Пределы прочности ситалла АС-418 для различных уровней надежности, рассчитываемые по формуле:

$$\sigma_{пч,р} = 0,65 \sigma_{кп} \quad (7)$$

сведены в табл. 2.

Разрушение образцов из ситалла АС-418 при радиальном сжатии происходило в виде «взрыва» [3]. Образцы, выдерживавшие контактные напряжения (3—6) кг/мм², разрушались в диаметральной плоскости на две половинки с малой рельефностью поверхностей разрушения и небольшое число довольно крупных и явно выраженных клиньев раскола. Образцы, выдерживавшие контактные напряжения (6—12) кг/мм², разрушались, как правило, на 4—5 крупных кусков с образованием большого количества мелких частиц от 0,05 до 2 мм и средних — от 2 до 5 мм. Большинство осколков средней величины имели пластинчатую форму.

Разрушение образцов при осевом сжатии также происходило в виде «взрыва» с образованием множества мелких частиц (0,05—1 мм), если образцы выдерживали напряжения сжатия порядка 100 кг/мм² и выше; при меньших значениях $\sigma_{пч,с}$ образцы разрушались на более

Таблица 2
Расчетные значения предела прочности ситалла АС-418 на линейное растяжение при различных уровнях надежности

№ п.п.	Уровень надежности P	Среднее значение, кг/мм	Расчетное значение кг/мм
1	0,90	5,13±0,10	3,38
2	0,95	5,13±0,13	3,08
3	0,999	5,13±0,20	2,05

крупные куски. Некоторые же образцы разрушались на куски в виде столбиков по площадкам, параллельным направлению действия сжимающей силы с образованием фрагментации поверхностей разрушения.

При визуальном обследовании образцов до и после разрушения нередко на торцах и поверхностях разрушения обнаруживались пузыри шаровидной формы от 1 до 5 мм. Как правило, такие образцы показывали низкие значения прочности как при осевом, так и при радиальном сжатии.

Наиболее вероятной причиной низкой стабильности прочностных характеристик ситалла АС-418 можно считать их значительную неоднородность структуры и дефектность в виде пузырей, микро- и субмикротрещин, получающихся в результате нестабильности технологических процессов изготовления образцов [3, 5].

Выводы

1. Стабильность механических свойств ситалла АС-418 оказалась весьма низкой. При уровне надежности $P = 0,95$ коэффициент стабильности s контактной прочности при радиальном сжатии равен 0,60, а предела прочности при линейном сжатии — 0,46. Коэффициент вариации Δ соответственно равен 0,203 и 0,276.

2. Расчетная величина предела прочности на сжатие в два раза меньше среднего значения: $44,70 \text{ кг/мм}^2$ и $(97,03 \pm 12,10) \text{ кг/мм}^2$ соответственно при $P = 0,95$.

3. Расчетная величина прочности на растяжение, полученная по результатам испытания на радиальное сжатие, составила $3,08 \text{ кг/мм}^2$ при среднем значении этой характеристики $(5,13 \pm 0,13) \text{ кг/мм}^2$ ($P = 0,95$).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Бережной. Ситаллы и фотоситаллы. «Машиностроение», 1966.
2. Ю. С. Богомолов, Л. М. Седоков. Исследование прочности чугуна при радиальном сжатии. Известия ТПИ, т. 133, 1965.
3. В. С. Камнерский, Н. В. Скворцов, А. Е. Журавель. Механические свойства ситалла при растяжении, сжатии и изгибе. «Проблемы прочности», Киев, 1971, № 4.
4. Г. Л. Калинин, Э. М. Михайловский, Л. М. Седоков. Достоверность теорий прочности для хрупких материалов. «Проблемы прочности», Киев, 1970, № 6.
5. Ф. Фандерлик. Пороки стекла. М., 1964.
6. Л. З. Румшинский. Математическая обработка результатов эксперимента. М., 1971.
7. Я. Б. Фридман. Механические свойства металлов. М., Оборонгиз, 1952.