

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Б. П. Голубев, Ф. Я. Харитонов, П. П. Калитин, Г. А. Васильева, С. Н. Смирнов, Конструкционные свойства корундового микролита при высоких температурах, *ТВТ*, 1966, том 4, выпуск 2, 202–206

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.170

15 января 2025 г., 03:05:09



УДК 620.10.620.171.3.620.18

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОРУНДОВОГО МИКРОЛИТА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*В. П. Голубев, Ф. Я. Харитонов, П. П. Калитин,
Г. А. Васильева, С. Н. Смирнов*

На основании проведенных испытаний и имеющихся литературных данных описаны механические, физико-химические и теплофизические свойства корундового микролита при комнатной и повышенных (до 1200° С) температурах.

Многие детали из корундового микролита ЦМ-332 подвергаются длительному действию статических нагрузок при высоких температурах.

Вопрос о том, какие свойства корундового микролита и какие значения этих свойств гарантируют удовлетворительную работу изделий в определенных условиях, чрезвычайно сложен и не нашел до настоящего времени своего полного решения. Несмотря на широкое применение корундового микролита в технике, сведений о его свойствах еще недостаточно [1, 2]. Литературные данные о термомеханических свойствах корундового микролита, а также спеченного глинозема с модифицирующей добавкой окиси магния разноречивы. Это объясняется различиями технологий изготовления, разным качеством полученных образцов (прочность, структура), а также различием методик испытаний.

Исследования [3, 4] показали, что такая характеристика, как твердость, изменяется с повышением температуры значительно меньше у образцов из микролита, чем у твердосплавных. По данным [3] снижение твердости НR микролита при нагреве от 20° С до 1000° составляет 10,8%, а по данным [4] в исходном состоянии твердость образцов НV 2050, а при нагреве до 900° снижается до НV 940. Исследования прочности на изгиб [5, 6] показали, что прочность образцов из микролита до температуры 800° практически не снижается.

Микролит обладает исключительной химической инертностью и стабильностью по сравнению с другими керамическими материалами. При обычной температуре на него не действует ни один химический реагент: щелочи, плавиковая и фосфорная кислоты, а фосфор, сера, мышьяк и их соединения не действуют на него до температуры 1000°.

Высокие огнеупорные и электроизоляционные свойства корундового микролита используют в конструкциях изоляторов, работающих при высоких температурах и в различных химически активных средах [7].

Новые области применения микролита в качестве высокоогнеупорного, изоляционного и химически инертного материала потребовали проведения исследований по изучению их физико-механических свойств.

В настоящей работе рассматриваются некоторые термомеханические характеристики корундового микролита (состав: 99,4—99,5% Al_2O_3 , 0,5—0,6% MgO , 0,03—0,05% Fe_2O_3), изготовление образцов из которого производилось по описанной ранее технологической схеме методами прессования и горячего литья [8]. Обжиг образцов проводился в пламенной печи периодического действия при продолжительности нагревания 16 час при 400°, а затем — 12 час при 1750°.

Определялись следующие свойства образцов: водопоглощение, удельный вес, пористость (открытая и закрытая), твердость, коэффициент линейного термического расширения, удельное электрическое сопротивление и предел прочности при статическом изгибе в зависимости от температуры, предел прочности при ударном изгибе, разрыве и сжатии при комнатной температуре, термостойкость, электрическая прочность, огнеупорность, температура деформации и усадка.

Определения водопоглощения, удельного веса и пористости производились в соответствии с ГОСТ 2409-53 с точностью взвешивания до 0,0002 г, предела прочности при ударном изгибе на маятниковом копре МК-0,5 с точностью $\pm 10\%$.

Для определения предела прочности при статическом изгибе в зависимости от температуры изготавливались образцы прямоугольного сечения $5 \times 5 \times 35$ мм; эти испытания производились по схеме трех точек (поперечный изгиб) при расстоянии между опорами 30 мм на машине УМ-5, снабженной специальным приспособлением. Печь свободно перемещалась в вертикальном направлении вдоль стержней, что давало возможность фиксировать взаимное расположение подвижной и неподвижной опор. Температура измерялась с помощью платина-платинородиевой термопары, которая располагалась у верхней опоры образца.

Предел прочности при растяжении определялся на образцах (рис. 1) в виде двух усеченных конусов, соединенных меньшими основаниями с цилиндрическим перешейком, на разрывной машине Р-5. Твердость по Роквеллу определялась по шкале А при нагрузке 60 кг.

Испытания на горячую твердость производились на вакуумной установке алмазным индентором при нагрузке 1 кг. По достижении вакуума $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. включался нагрев и температура образцов доводилась до заданной, при которой образцы выдерживались в течение 20 мин, после чего производился накол с выдержкой под нагрузкой в течение 30 сек. Температура образцов измерялась платина-платинородиевой термопарой и регулировалась автоматически электронным потенциометром. После охлаждения до комнатной температуры образцы просматривались и фотографировались под микроскопом МИМ-6 при увеличении 450 \times . Производился замер диагоналей отпечатков, и по таблице определялись значения твердости.

Предел прочности при сжатии определялся на цилиндрах диаметром и высотой 20 мм на гидравлическом прессе ПГ-100.

Термическая стойкость определялась на образцах (внешний диаметр и высота 30 ± 2 мм, диаметр внутреннего отверстия 10 ± 1 мм) перепадом температур (воздух — вода), при котором на образцах появлялись трещины.

Измерения удельного электрического сопротивления, а также электрической прочности и коэффициента линейного расширения производились в соответствии с методикой ГОСТ 5458-64.

Определение огнеупорности производилось в соответствии с методикой ГОСТ 4069-48.

Определение температуры деформации под нагрузкой $2 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$ производилось на установке с графитовым электронагревателем.

Измерялась величина усадки обожженных образцов, а также дополнительной линейной усадки после их нагрева до 1900° , которая пересчитывалась в первом случае — к размеру сырых заготовок, а во втором — к размеру обожженных до спекания образцов.

Результаты перечисленных испытаний приведены в таблице и на рис. 2. Численные значения температурных зависимостей предела прочности при сжатии, модуля упругости, теплопроводности, а также значе-

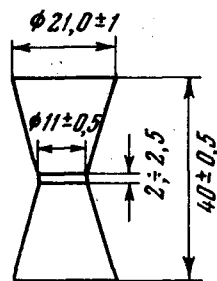


Рис. 1. Образец для определения прочности при разрыве

ние теплоемкости при 100°С приведены по литературным данным для печенного корунда [4].

Температурные зависимости предела прочности при статическом изгибе, коэффициента теплопроводности, модуля нормальной упругости, твердости, коэффициента линейного термического расширения и удельного электросопротивления для образцов из корундового микролита приведены на рис. 2 и 3.

Таблица

Физико-химические свойства корундового микролита

Химический состав, вес. %:			
Al ₂ O ₃	99,40	Твердость HV при 20°С,	2000
MgO	0,57	κΓ·мм ⁻²	
Fe ₂ O ₃	0,03	Термостойкость, °С	180
Щелочи	Следы	Температура деформации под	
Усадка, %	20 — 22	нагрузкой в 2 κΓ·см ⁻² , °С:	
Водопоглощение, %	0,00	начало размягчения	1880
Удельный вес, г·см ⁻³	3,980	4% сжатия	1940
Пористость, %	2,01 — 1,76	Коэффициент теплопроводности,	
Предел прочности:		кал·см ⁻¹ ·сек ⁻¹ ·град ⁻¹	
при статическом изгибе,	3300 — 3600	при 100°С	0,0723
κΓ·см ⁻²		Теплоемкость при 100°С,	
при ударном изгибе,	4,5 — 5,0	кал·г ⁻¹ ·град ⁻¹	0,206
κΓ·ом·см ⁻²		Огнеупорность, °С	2100 ± 40
при разрыве, κΓ·см ⁻²	890	Коэффициент линейного расширения	
при сжатии, κΓ·см ⁻²	20000	в интервале температур	
Удельное электрическое сопротивление	> 2·10 ¹⁴	20—700°С	7, 4·10 ⁻⁶
при 20°С, ом·см		Дополнительная линейная	
Электрическая прочность,	28	усадка, %:	
кв·мм ⁻¹		при 1850°С	— 0,05
		при 1900°С	— 0,10

Как видно из данных, приведенных на рис. 2, значения предела прочности при статическом изгибе резко снижаются в области 900°, что согласуется с результатами работы [6].

На рис. 2 представлены кривые горячей твердости, полученные в настоящей работе, которые согласуются с данными [3, 4]. Как видно из графика, с повышением температуры твердость снижается приблизительно линейно (в пределах разброса средних значений) от 1800—2000 κΓ·мм⁻² при комнатной температуре до 540—620 κΓ·мм⁻² при температуре 1000° и при 1100° составляет 340 κΓ·мм⁻².

Температурная зависимость твердости корундового микролита в указанном интервале температур может быть описана с достаточной точностью уравнением прямой линии

$$H = H_0 - a(t - t_0),$$

где H , H_0 — твердости при температурах t и t_0 соответственно; a — температурный коэффициент твердости, равный 1,5 κΓ·мм⁻²·град⁻¹.

Температурная зависимость коэффициента линейного термического расширения имеет также линейный характер, так как в указанном интервале температур в корундовом микролите не может быть фазовых превращений.

Следует отметить, что при испытании корундовых образцов в клиновидных захватах с увеличением растягивающего усилия увеличивается давление на головку образца и возникает значительная концентрация напряжений в местах зажимов, где и происходит, как правило, разрушение. При разрыве образцов по такой методике возможен перекосяк их в зажимах разрывной машины (внецентренное растяжение), вследствие чего возникают напряжения изгиба и неизбежна ошибка в результатах измерений. Поэтому полученные нами величины прочности при разрыве могут рассматриваться только как ориентировочные. Такой же недостаток

присущ методике определения прочности при сжатии, рекомендованной ГОСТ 4071-48.

По предварительным данным в случае запрессовки образцов корундового микролита (горячая посадка) в металлическую «рубашку» и испытания их посредством компримирования свинца прочность при сжатии превышает величину, указанную в таблице, примерно в 1,5 раза и составляет около $32000 \text{ кг}\cdot\text{см}^{-2}$ для комнатной температуры. С повышением температуры до 1000° предел прочности при сжатии достигает величины около $9000 \text{ кг}\cdot\text{см}^{-2}$ [1].

При конструировании изделий из корундового микролита для высокотемпературных установок следует иметь в виду, что увеличение разме-

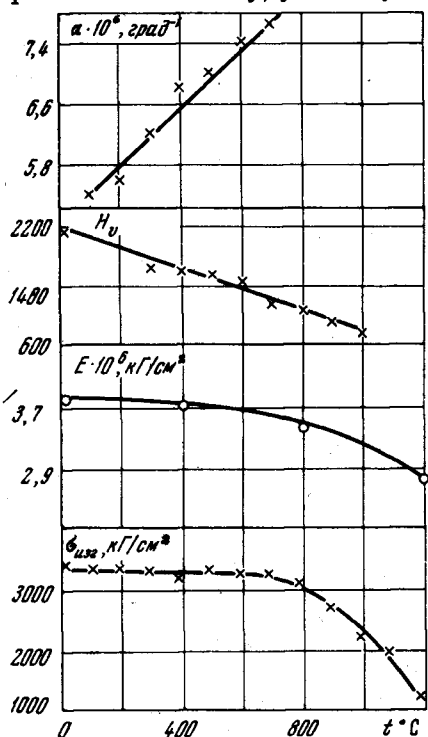


Рис. 2

Рис. 2. Предел прочности при статическом изгибе l и модуль нормальной упругости, твердость и коэффициент линейного расширения корундового микролита при повышенных температурах

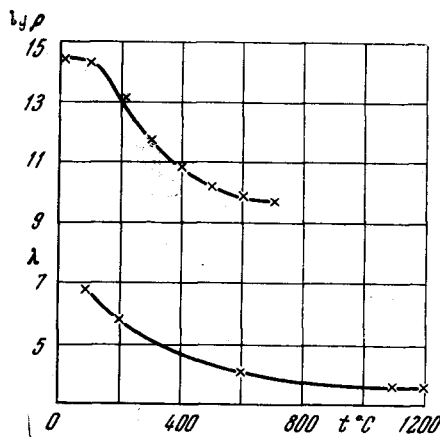


Рис. 3

Рис. 3. Температурная зависимость удельного объемного электрического сопротивления и коэффициента теплопроводности

ров и усложнение формы изделий приводит к увеличению неравномерности распределения температуры и ухудшает стойкость при резких теплосменах.

Образцы корундового микролита характеризуются (рис. 4) высокой плотностью упаковки чрезвычайно мелких кристаллов и равномерно-зернистой, практически беспористой структурой.

В корундовом микролите, кроме преобладающей фазы, присутствуют в весьма малых количествах также магнезиально-глиноземистая шпинель и межкристаллитное стекло. Высокотемпературный нагрев не сопровождается перераспределением твердости и прочности отдельных структурных составляющих микролита, что дает основание считать его практически однофазным поликристаллическим материалом. Образование шпинелей по границам зерен [1] в виде равномерно распределенных частиц способствует повышению пластических свойств. Эти зоны способствуют релаксации напряжений, которые, как известно, в процессе ползучести концентрируются по границам зерен. Вследствие этого корундовый микролит обладает преимуществами перед другими разновидностями спеченного корунда.

С другой стороны, шпинельные выделения по границам зерен приводят к концентрации напряжений на границах, так как деформации, развивающиеся по плоскостям скольжения, идут только до границы зерна и не могут попасть в соседние зерна из-за прослойки шпинели. Обедненные пограничные участки твердого раствора способствуют микрорастрескиванию и разрушению вследствие концентрации напряжений на этих ослабленных участках зерен. По-видимому, по этой причине мелкокристаллический корундовый микролит уступает по свойствам (в основном по прочности) поликристаллическому однофазному керамическому материалу типа «лукалокс».

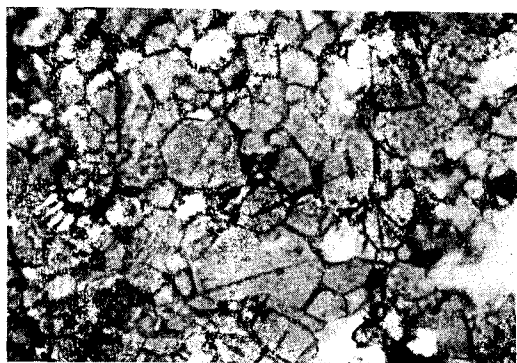


Рис. 4. Микроструктура корундового микролита. 90X

Проведенными исследованиями установлено, что корундовый микролит обладает комплексом ценных характеристик, делающим его перспективным конструкционным материалом для применения в машиностроении (режущие и буровые инструменты), электротехнике (проходные изоляторы) и в высокотемпературных устройствах с различными агрессивными средами.

Научно-исследовательский
институт высоких температур

Поступила в редакцию
22 X 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Павлушкин. Спеченный корунд. Госстройиздат, М., 1961.
2. И. И. Китайгородский, Н. М. Павлушкин. Стекло и керамика, № 1, 1955.
3. А. Н. Бетанели. Вестник машиностроения, № 4, 1953.
4. Н. Ф. Казаков. Изменение твердости материалов режущего инструмента и обрабатываемых деталей при нагреве. Филиал ВИНТИ, 1957.
5. Б. П. Прибылов. Механические свойства твердых сплавов. МДНТП, 1955.
6. И. С. Брохин, И. И. Ольхов, А. Б. Платов. Цветные металлы, № 8, 1958.
7. Б. П. Голубев, Г. А. Васильева, П. П. Калитин. Теплофизика высоких температур, № 3, 1964.
8. К. В. Олесевиц. Тр. Семинара по жаростойким материалам, Изд-во АН УССР, Киев, 1959.
9. Ф. Я. Харитонов, П. П. Калитин. Новое в электрокерамике, Тр. ГИЭКИ. вып. VI, ЦИНТИ, 1963.