

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Т. И. Шахтагинский, А. И. Романов, Л. Г. Смирнова, Некоторые особенности электроизоляционных характеристик жароупорного бетона, *ТВТ*, 1967, том 5, выпуск 1, 155–160

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: 18.97.14.83

19 января 2025 г., 05:33:58



УДК. 666.777.537.314

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖАРОУПОРНОГО БЕТОНА

*Т. И. Шахтаминский, А. И. Романов,
Л. Г. Смирнова*

Описаны результаты экспериментального исследования зависимости некоторых электроизоляционных характеристик жароупорного бетона от температуры и среды. Кратко описаны состав бетона, технология приготовления образцов и некоторые его свойства, в частности результаты по определению пористости бетона методом ртутной порометрии. Приведены данные по исследованию удельного электросопротивления, пробивной напряженности и напряжения поверхностных перекрытий жароупорного бетона как при нормальной, так и высокой (до 1400°С) температуре. Изучено влияние состава окружающей газовой среды (воздух, аргон, гелий) на такие электроизоляционные характеристики жароупорного бетона, как напряжение объемного пробоя и напряжения поверхностных перекрытий.

Развитие ряда областей высокотемпературной техники неразрывно связано с проблемой разработки и исследования новых материалов, которые должны обладать наряду с жаропрочностью, термостойкостью, химической и эрозийной стойкостью, высокими электроизоляционными свойствами. Широко известно применение для электроизоляции огнеупорных керамических материалов на основе окислов алюминия и магния. Однако на пути их использования в ряде случаев возникают определенные трудности, одна из которых состоит в том, что из такой керамики трудно изготовить термостойкие изделия сложной формы и значительных размеров.

Исследования показывают, что эти трудности могут быть устранены путем создания безобжиговых композиций — жароупорных бетонов, в которых отдельные зерна окислов связаны в монолит затвердевшими тугоплавкими минеральными вяжущими веществами [1].

В настоящей работе излагаются результаты исследования жароупорного бетона, в котором в качестве наполнителя использовался белый электрокорунд различной зернистости (99,0% Al_2O_3), а в качестве связки — высокоглиноземистый цемент производства опытного завода НИИцемент (75,8% Al_2O_3 , 21,08% CaO , 2,1% SiO_2 , 0,27% MgO , 0,23% Fe_2O_3). Высокоглиноземистый цемент — гидравлическое вяжущее вещество, состоящее в основном из однокальциевого двухалюмината, обладает высокой огнеупорностью (1700°С). При его гидратации образуются гидроалюминаты кальция, которые обладают способностью приобретать высокую прочность через короткие сроки твердения.

Образцы для исследования электроизоляционных свойств бетона готовились из шихты следующего состава: 20% высокоглиноземистого цемента ВГ, 80% корунда ЭБ-99 (зернистость — 70% № 50, 30% № 10). Образцы изготавливались из бетонной массы полужесткой консистенции (водоцементное отношение 0,4) методом выброуплотнения в формах из органического стекла. После семидневного хранения во влажной атмосфере образцы высушивались при температуре 100°С до постоянного веса. Перед каждым опытом образцы подвергались обжигу при температуре 800°С.

Основные показатели свойств исследуемого жароупорного бетона на высокоглиноземистом цементе следующие: объемный вес $2,8 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии $600\text{--}700 \text{ кг/см}^2$, предел прочности при растяжении $30\text{--}40 \text{ кг/см}^2$, коэффициент теплопроводности $3,6 \text{ ккал/м}^2\text{час}^\circ\text{С}$ (при 20°С), коэффициент термического расширения $8,3 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{С}^{-1}$ ($20\text{--}1500^\circ\text{С}$), огнеупорность $1700\text{--}1750^\circ\text{С}$. Электрические свойства такого многофазного материала, как жароупорный бетон, зависят от свойств фазовых составляющих (корунд и кристаллогидраты вяжущего вещества), пористости и состояния поверхности. Особенно большое влияние на электроизоляционные характеристики бетона оказывает его пористость, которая, во-первых, обуславливает возникновение местных различий в напряженности электрического поля, что приводит к уменьшению значений пробивного напряжения, во-вторых, обуславливает влияние окружающей газовой среды [2, 7].

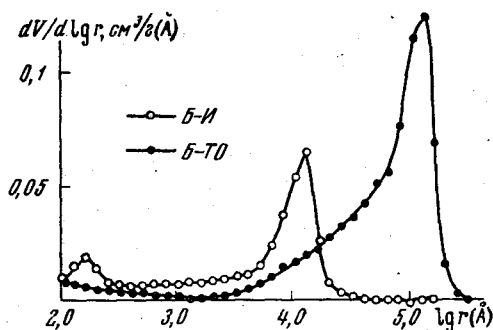


Рис. 1. Дифференциальные кривые распределения объема пор по размерам эквивалентных радиусов для жароупорного бетона, высушенного при 100°С (Б-II) и обожженного при 1400°С (Б-70)

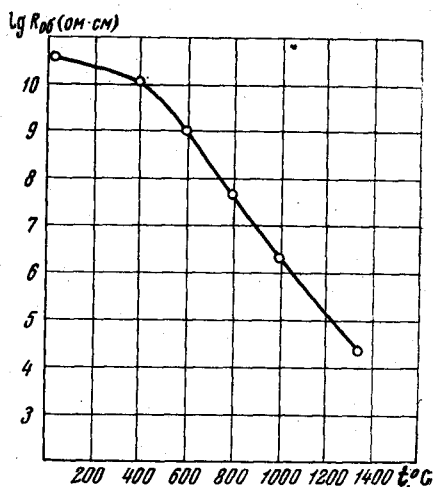


Рис. 2. Зависимость логарифма удельного электрического сопротивления жароупорного бетона от температуры ($p = 760 \text{ мм рт. ст.}$)

Пористость исследуемого бетона после сушки при 100°С составляет $18\text{--}20\%$. Максимальное значение пористости ($23\text{--}25\%$) бетон имеет после обжига при 1400°С , что связано с его полным обезвоживанием и с тем, что спекание еще не начинается. Для характеристики бетона важна не только величина общей пористости, но и характер распределения объема пор по размерам. На рис. 1 представлены дифференциальные кривые распределения объема пор по размерам эквивалентных радиусов для образцов из жароупорного бетона. Эти кривые получены в результате исследования пористой структуры бетонов методом ртутной порометрии [3] *. Из рис. 1 следует, что около 70% всего порового объема в бетоне, высушенного при 100°С , приходится на поры с размером эквивалентного радиуса в диапазоне от 2 до $0,5 \text{ мк}$, причем максимально присутствующие поры имеют размеры порядка $1,4 \text{ мк}$. Остальные 30% порового объема занимают поры меньших размеров. В образце Б-70 (обожженном при 1400°С) более 80% от всего порового объема составляют поры с эквивалентным радиусом более $2,5 \text{ мк}$, причем максимально присутствующие поры имеют размеры порядка 14 мк . Остальные 20% порового объема занимают поры меньших размеров.

В данной работе приведены результаты лишь части экспериментального исследования зависимости электроизоляционных характеристик жароупорного бетона от температуры и рода внешней среды (удельное электросо-

* Исследования пористой структуры бетонов методом ртутной порометрии проведены Бутыриным.

противление, пробивная напряженность, напряжение поверхностного перекрытия). Образцы для измерения зависимости удельного электросопротивления бетона от температуры изготавливались в виде диска диаметром 80 мм и толщиной 5 мм. Для лучшего контакта между электродами и образцом использовался метод уплотнения контактной поверхности порошком из окиси алюминия. Измерения проводились по методике [2, 4] с применением охранного кольца (рис. 2). Полученный наклон кривой зависимости логарифма удельного электросопротивления исследуемого бетона от температуры хорошо согласуется с литературными данными как по жароупорному бетону [5], так и по керамике из окиси алюминия [6].

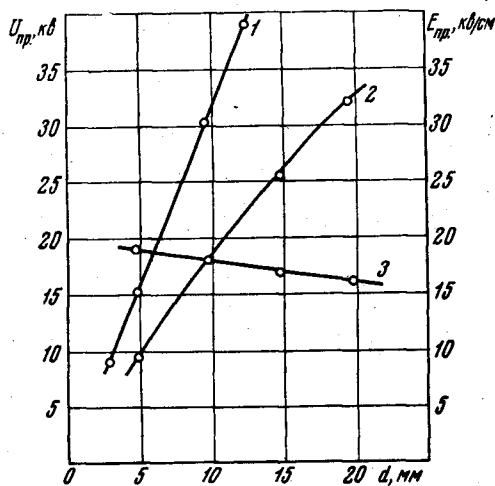


Рис. 3. Зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ (2) и напряженности $E_{пр}$ (3) жароупорного бетона от толщины образца d при нормальных условиях; 1 — пробой воздуха. Электроды плоскость — плоскость с закругленными краями, напряжение постоянное

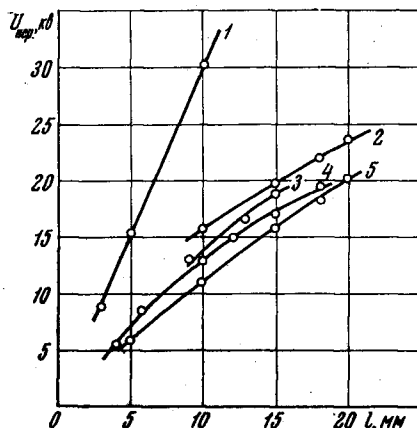


Рис. 4. Зависимость напряжения поверхностного перекрытия $U_{пер}$ жароупорного бетона от расстояния между электродами l при нормальных условиях

a — электроды плоскость — плоскость с закругленными краями; 1 — пробой воздуха; 4 — неудлиненная поверхность; 3 — удлиненная поверхность. б — электроды кольцо — кольцо: 5 — неудлиненная поверхность, 2 — удлиненная поверхность. Напряжение постоянное

Для исследования пробивной напряженности жароупорного бетона в воздухе и других газовых средах использовались образцы в виде дисков диаметром 80 мм, толщиной 5 ÷ 20 мм. Испытания проводились между плоскими электродами с закругленными краями в постоянном электрическом поле. Мы не старались создать равномерное электрическое поле между электродами, так как внутри самого материала поле сильно искажается из-за наличия пор. Специальными опытами было установлено, что в значениях пробивной напряженности исследуемого материала между разными электродами плоскость — плоскость с закругленными краями, стержень — плоскость или стержень — стержень нет никакой существенной разницы. Только с увеличением диаметра плоских электродов наблюдалось уменьшение значения пробивной напряженности, что легко объясняется увеличением вероятности попадания под электрод самого слабого участка диэлектрика.

На рис. 3 представлена зависимость пробивного напряжения и напряженности жароупорного бетона от толщины. Диаметр электродов: верхнего, с положительной полярностью — 25 мм, нижнего — 40 мм. Для сопоставления приводится пробивное напряжение воздуха в подобных условиях. Видно, что пробивное напряжение жароупорного бетона значительно ниже,

чем пробивное напряжение воздуха, и эта разность растет с увеличением толщины образца.

Снижение пробивной напряженности с увеличением толщины объясняется увеличением вероятности наличия слабых мест по толщине материала. Исследуемый жароупорный бетон имеет неизбежную характерную шероховатую поверхность, которая влияет на значения напряжения поверхностного перекрытия в конструкциях. Были определены значения напряжения поверхностного перекрытия по жароупорному бетону в равномерном и неравномерном электрических полях, преимущественно имеющих тангенциальную составляющую напряженности. Для исследования поверхностных перекрытий по жароупорному бетону в равномерном электрическом поле изотавливались цилиндрические образцы диаметром 15 мм и длиной $4 \div 15$ мм. Для создания хорошего контакта с электродами торцы образцов серебрились методом вжигания серебра. Цилиндрические образцы ставились между электродами диаметром 60 мм с закругленными краями.

Эксперименты показали, что из-за шероховатой поверхности бетона равномерное поле, созданное между электродами с закругленными краями, сильно искажается, и напряжение разряда снижается в два раза и больше, чем между теми же электродами без диэлектрика (рис. 4, 4).

Аналогично рассматривалось влияние увеличения расстояния по поверхности жароупорного бетона на значение разрядного напряжения при одном и том же расстоянии между электродами в равномерном электрическом поле. Изготовленные специальные образцы с удлиненными поверхностями серебрились, обжигались и испытывались в равномерном электрическом поле. Выяснилось, что удлинение поверхности за счет тарельчатого выступа в середине образца (как у опорных, проходных изоляторов) незначительно увеличивает значения напряжения перекрытия (рис. 4, 3) в равномерном электрическом поле.

Неравномерное поле, имеющее преимущественно тангенциальную составляющую, создавалось между кольцами, надетыми на образец. Как видно из рис. 4 (кривые 2, 5), при таком поле удлинение поверхности значительно увеличивает значение разрядного напряжения, что следует учитывать при конструктивных исполнениях.

Исследования электроизоляционных характеристик жароупорного бетона при высоких температурах производились в лабораторной печи с карборундовыми нагревателями. Температура в печи регулировалась в интервале $20 \div 1350^\circ \text{C}$. Температура измерялась вблизи образца с помощью градуированной термопары. Результаты измерений показали, что пробивное напряжение жароупорного бетона уменьшается с увеличением температуры. На рис. 5 на примере образца толщиной 10 мм показана зависимость пробивного напряжения жароупорного бетона от температуры $U_{\text{пр}} = f(T)$. Видно, что при довольно высоких температурах (в районе температур $1100-1200^\circ \text{C}$) кривые 2, 3 совпадают. Для сопоставления там же приводится зависимость пробивного напряжения воздуха от температуры при тех же условиях (кривая 1). Снижение объемного сопротивления при высоких температурах способствует значительному увеличению предразрядных объемных токов, что, видимо, является причиной более раннего объемного прооя, чем разряда по поверхности.

На рис. 6 показана зависимость значения пробивного напряжения жароупорного бетона и напряжения поверхностного перекрытия от толщины образца. Торцы цилиндрических образцов не серебрились.

Высокая пористость исследуемого материала позволяет предполагать, что параметры и свойства окружающей газовой среды будут влиять на электроизоляционные характеристики бетона. Рис. 7 показывает, как изменяется напряжение объемного прооя жароупорного бетона в зависимости от давления в разных средах. Как видно из кривых, материал сильно реагирует на давление среды. Кроме того, чем ниже пробивная напряжен-

ность окружающей газовой среды, тем ниже и пробивная напряженность материала. Во избежание поверхностных перекрытий в низкопрочных газовых средах исследовались электроды стержень — стержень ($d = 5$ мм), между которыми ставился образец. При работе с гелием и аргоном воздух откачивался из стеклянной камеры до 10^{-3} мм рт. ст. и затем камера не менее трех раз промывалась исследуемым газом. После каждой промывки система откачивалась до указанного вакуума.

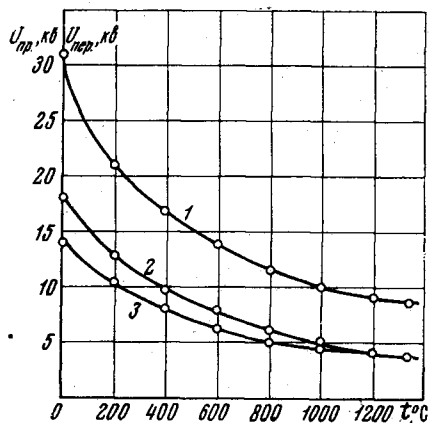


Рис. 5. Зависимость напряжения пробоя $U_{пр}$ (2) и поверхностного перекрытия $U_{пер}$ (3) жароупорного бетона от температуры

1 — пробой воздуха ($p = 760$ мм рт. ст.).
Электроды плоскость — плоскость с закругленными краями. Напряжение по-
стоянное

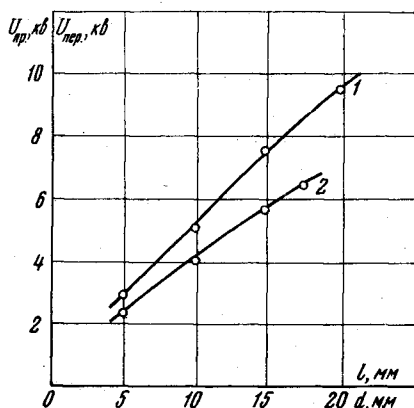


Рис. 6. Зависимость напряжения пробоя $U_{пр}$ (1) и поверхностного перекрытия $U_{пер}$ (2) жароупорного бетона от толщины образца при 1000°C ($p = 760$ мм рт. ст.)

Электроды плоскость — плоскость с за-
кругленными краями, напряжение по-
стоянное

При таких же условиях исследовалось, как влияет характерная шероховатость поверхности жароупорного бетона на значения напряжения поверхностного перекрытия в равномерном электрическом поле в среде газа, имеющего низкое значение пробивного напряжения. Оказалось, что несмотря на сильное искажение поля, введенный в промежуток цилиндрический образец из жароупорного бетона с шероховатой поверхностью не снижает значение разрядного напряжения промежутка, как это наблюдается в среде воздуха. На рис. 8 черные точки и соответственно кривые $U_{разр} = f(l)$ сняты для аргона (1) и гелия (2) без диэлектрика. Визуально определено, что разряд развивается не по поверхности и не в близком к поверхности поле. Экспериментальным путем определено, что поверхность и слой газа вблизи поверхности имеют большее значение пробивного напряжения, чем гелий и аргон. Такой эксперимент выполнялся следующим образом: к торцам цилиндрических образцов с обеих сторон приставлялись медные пластинки толщиной 1 мм. Диаметр пластинок совпадал с диаметром образца. После этого образцы зажимались между электродами. При этом путь для разряда по поверхности был на 2 мм меньше, чем по объему газа. Разряд развивался не по поверхности. Это, видимо, связано со спецификой разряда в исследованных инертных газах.

Выводы. Установлено, что жароупорный бетон на высокоглиноземистом цементе обладает сравнительно высоким удельным электросопротивлением (10^4 ом см при 1400°C). Однако благодаря пористости и наличию между зернами корунда алюмокальциевой связи бетон имеет значительно меньшее пробивное напряжение, чем корундовая керамика. С увеличением толщины слоя бетона его пробивная напряженность уменьшается.

Вследствие шероховатой поверхности жароупорный бетон в равномерном электрическом поле создает благоприятные условия для поверхностных перекрытий. В данном случае удлинение путей перекрытия не дает положительных результатов из-за дополнительного нарушения равномерности поля. В поле, где имеются преимущественно тангенциальные составляющие напряженности поля, такое удлинение пути перекрытия дает положительные результаты.

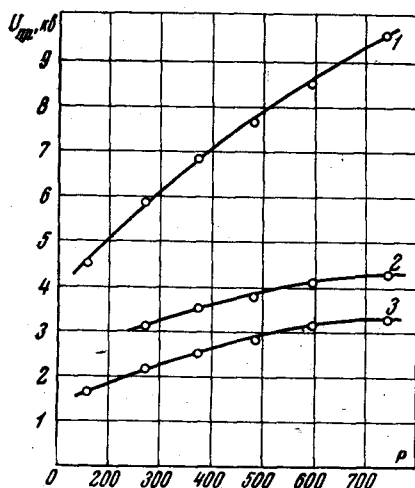


Рис. 7. Зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ жароупорного бетона от давления среды ($t = 20^\circ \text{C}$)
1 — воздух, 2 — аргон, 3 — гелий. Толщина образца 4,8 мм, электроды стержень — стержень, напряжение постоянное

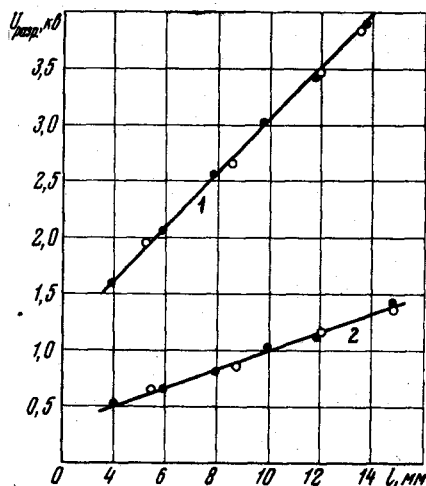


Рис. 8. Зависимость разрядного напряжения $U_{разр}$ от расстояния между электродами l в равномерном электрическом поле ($p = 380$ мм рт. ст., $t = 20^\circ \text{C}$)
1 — аргон, 2 — гелий. Белые точки получены при наличии диэлектрика (жароупорного бетона) между электродами

При работе с жароупорным бетоном в газах, имеющих низкие пробивные напряжения, например в инертных газах, необходимо пользоваться электроизоляционными характеристиками, полученными в среде данных газов. В исследованных инертных газах при статическом режиме поверхностные перекрытия не имеют места и в данном случае электроизоляционные характеристики определяются электроизоляционными характеристиками среды.

Московский энергетический институт

Поступила в редакцию
17 I 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Куколев, А. И. Ройзен. Огнеупоры, № 2, 1949.
2. Г. И. Сканаби. Физика диэлектриков (область сильных полей). Физматгиз, 1958.
3. Т. Г. Плаченев. Ртутная порометрическая установка ПА-3М. Изд-во ЛТИ им. Ленсовета. Л., 1961.
4. Д. М. Казарновский, Б. М. Тареев. Испытания электроизоляционных материалов. Госэнергоиздат, 1963.
5. С. А. Жихаревичи др. Огнеупоры, № 7, 1959.
6. А. М. Черепанов, С. Г. Тресвятский. Высокотемпературные материалы и изделия из окислов. Изд-во «Металлургия», 1964.
7. Н. П. Богородицкий, Ю. М. Волокобинский. Сб. «Пробой диэлектриков и полупроводников». Изд-во «Энергия», 1964.