Министерство образования Российской Федерации

# Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет

Кафедра автоматизации производственных процессов

Реферат на тему:

«Электроизоляционная керамика»

Выполнил:

ст. гр. АЭ-01-01 Швыткин К.Е.

Проверил: Прахова Т.Ю.

Уфа 2004

**СОДЕРЖАНИЕ:**

стр.

1. Классификация и основные свойства электроизоляционной

керамики 2

1. Основные сырьевые материалы для производства электро-изоляционной керамики 6
2. Технология производства электрокерамических материалов

и изделий 9

4. Механическая обработка и металлизация керамических из-

делий 18

Приложения 22

Список литературы 31

**1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРО-ИЗОЛЯЦИОННОЙ КЕРАМИКИ**

Электроизоляционная керамика представляет собой материал, получаемый из формовочной массы заданного химического состава из ми­нералов и оксидов металлов. Любая керами­ка, в том числе и электроизоляционная,— мате­риал многофазный, состоящий из кристалличе­ской, аморфной и газовой фаз. Ее свойства зависят от химического и фазового составов, макро- и микроструктуры и от технологических приемов изготовления.**/**1**/**

В электрической и радиоэлектронной про­мышленности керамическая технология широко применяется для изготовления диэлектричес­ких, полупроводниковых, пьезоэлектрических, магнитных, металлокерамических и других из­делий. В настоящее время, особенно с прони­кновением в быт электронной техники, из электроизоляционной керамики изготавливаются десятки тысяч наименований изделий массой от десятых долей грамма до сотен килограм­мов и размерами от нескольких миллиметров до нескольких метров. В ряде случаев изделия из керамики, главным образом из электрофарфора, покрываются гла­зурями, что уменьшает возможность загрязне­ния, улучшает электрические и механические свойства, а также внешний вид изделия.**/**14**/**

Электрофарфор является основным кера­мическим материалом, используемым в произ­водстве широкого ассортимента низковольт­ных и высоковольтных изоляторов и других изоляционных элементов с рабочим напряже­нием до 1150 кВ переменного и до 1500 кВ постоянного тока.**/**8**/**

Преимущества электрокерамики перед дру­гими электроизоляционными материалами со­стоят в том, что из нее можно изготовлять изоляторы сложной конфигурации, кроме то­го она имеет широкий интервал спекания. Сы­рьевые материалы мало дефицитны, технология изготовления изделий относительно проста.**/**15**/** Электрофарфор обладает достаточно высокими электроизоляционными, механическими, тер­мическими свойствами в области рабочих тем­ператур; он выдерживает поверхностные раз­ряды, слабо подвержен старению, стоек к воздействию атмосферных осадков, многих хи­мических веществ, солнечных лучей и радиаци­онных излучений.**/**8**/**

В связи с передачей энергии высоким и сверхвысоким напряжением на дальнее рас­стояние резко возросли требования к качеству высоковольтных изоляторов, главным образом к механической прочности.**/**12**/**

В последние годы выпускаются надежные высокопрочные изоляторы оптимизированной конструкции из электрофарфора высокого ка­чества. Известно, что прочность фарфора при сжатии в 10—20 раз выше прочности при из­гибе или растяжении.

По назначению компоненты фарфора раз­личаются на пластичные и отощающие, а по роли при термической обработке — на плавни и кристаллорбразующие.

Механическая прочность фарфора в значительной степени зависит от механических свойств и кристаллической структуры отощающего материала, а также образованных в процессе обжига сетчатых волокнистых микроструктур кристаллической фазы (в частности, игл муллита). Стеклофаза в структуре фарфора ухудшает механическую прочность, так же как и наличие пор, неблагоприятно влияющих на распределение напряжений.

Наравне с обычным фарфором налажен выпуск фарфора с повышенным содержанием муллита, фарфор кристобалитовый и корундовый. В последнем кремнезем в шихте частично заменен корундом.**/**13**/**

Большинство корундовых кристаллов при обжиге остается в исходной форме и благодаря высокому сопротивлению упругой деформации образует прочный каркас микроструктуры. Незначительная часть растворяется в стек-лофазе и является причиной возникновения вторичного муллита. Как следует из табл. 1 (см. приложения), механическая прочность корундового фарфора значительно выше прочности обычного фарфора.

Наиболее перспективным является корундовый фарфор.**/**16**/**

Следует ожидать, что традиционные спо­собы производства, т. е. литье изоляторов в гипсовые формы, а для больших опорных изо­ляторов — склейка отдельных элементов до обжига, заменяется пластическим прессовани­ем, выдавливанием массивного цилиндра или трубки с дополнительной обработкой на копи­ровальных станках, а также изостатическим прессованием заготовок с последующей авто­матической обработкой. Использование послед­него способа производства изоляторов суще­ственно сократит технологический цикл и объ­ем трудозатрат.**/**5**/**

По ГОСТ 20419-83 (соответствует СТ СЭВ 3567-83) «Материалы керамические электро­технические» эти материалы по их составу клас­сифицируются следующим образом:

Группа 100 материалы на основе щелоч-

ных алюмосиликатов

(фарфоры):

Подгруппа силикатный фарфор, со-

110 держащий до 30% А12О3;

Подгруппа силикатный фарфор тон-

110.1 кодисперсный;

Подгруппа силикатный фарфор прес-

111 сованный;

Подгруппа силикатный фарфор вы-

112 сокой прочности;

Подгруппа глиноземистый фарфор

120 (содержащий 30—50 %

А1203);

Подгруппа глиноземистый фарфор

130 высокой прочности, со­-  
держащий свыше 50 %  
А1203.

Группа 200 материалы на основе си­-  
 ликатов магния (стеати-

ты) :

Подгруппа стеатит прессованный;

210

Подгруппа стеатит пластичный;

220

Подгруппа стеатит литейный

220.1

Группа 300 материалы на основе ок­-

сида титана, титанатов,  
 станнатов и ниобатов;

Подгруппа материалы на основе ок-

310 сида титана;

Подгруппа материалы на основе ти-

340 танатов стронция, вис-­  
мута, кальция;

Подгруппа материалы на основе ти-

340.1 таната кальция;

Подгруппа материалы на основе

340.2 стронций-висмутового ти-

таната;

Подгруппа материалы на основе

350 титаната бария с εr до

3000;

Подгруппа материалы на основе ти-

350.1 таната бария, стронция,

висмута;

Подгруппа материалы на основе ти-

351 таната бария с εг свыше

3000;

Подгруппа материалы на основе ти-

351.1 таната бария, станната и цирконата кальция.

Группа 400 материалы на основе  
 алюмосиликатов магния  
 (кордиерит) или бария  
 (цельзиан), плотные:

Подгруппа кордиерит;

410

Подгруппа цельзиан.

420

Группа 500 материалы на основе  
 алюмосиликатов магния,  
 пористые:

Подгруппа

1. материалы на

Подгруппа основе алюмосиликатов

511 магния, пористые термо

Подгруппа стойкие;

512

Подгруппа высококордиеритовый

1. материал, пористый;

Подгруппа высокоглиноземистый  
530 материал, пористый, тер­-  
 мостойкий.

Группа 600 глиноземистые материа-­  
 лы (муллитокорундовые):

Подгруппа глиноземистый матери-

610 ал, содержащий 50 —65 % А1203;

Подгруппа глиноземистый матери-

620 ал, содержащий 65 —80 % А1203;

Подгруппа глиноземистый матери-

620.1 ал, содержащий 72 —77 % А1203.

Группа 700 высокоглиноземистые ма­-  
 териалы (корундовые):

Подгруппа высокоглиноземистый

780 материал, содержащий

80—86 % А12О3;

Подгруппа высокоглиноземистый

786 материал, содержащий

86—95 % А12О3;

Подгруппа высокоглиноземистый

795 материал, содержащий

95—99 % А12О3;

Подгруппа высокоглиноземистый

799 материал, содержащий свыше 99 % А1203.**/**1**/**

Электроизоляционные керамические мате­риалы по назначению классифицируются со­гласно табл. 2 (см. приложения).**/**16**/**

Если поры керамики сообщаются между собой и поверхностью изделия, то она назы­вается «пористой», т. е. имеющей «открытые» поры.

Все керамические материалы более или менее пористые. Даже в обожженной до мак­симальной плотности керамике объем пор (за­крытых) составляет 2—6 %, а в пористых ма­териалах— 15—25 %.

Открытая пористость измеряется значени­ем водопоглощения, т. е. количеством воды, по­глощаемым материалом до насыщения и отне­сенным к массе сухого образца.

В тех случаях, когда водопоглощение об­разца не превышает 0,5 %, для определения пористости часто применяется качественный метод: прокраска образцов в 1 %-ном спирто­вом растворе фуксина. Наличие открытой пористости определяется по проникновению кра­сителя в толщу образца.

Для характеристики плотности керамики употребляют параметр — кажущаяся плотность, ее значение 1800—5200 кг/м3.**/**13**/**

**2. ОСНОВНЫЕ СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОД-СТВА ЭЛЕКТРОЛЯЦИОННОЙ КЕРАМИКИ**

**Сырьевые материалы для производства электрофарфора.** Для изготовления электро­фарфора основными сырьевыми материалами служат огнеупорные глины, кварц, пегматиты, полевые шпаты, каолины, глинозем, ашарит и циркон (для производства соответственно гли­ноземистого, ашаритового и цирконового фар­фора), мел и доломит (в качестве плавней, главным образом, в глазури) и др.

*Огнеупорные глины и каолины* представ­ляют собой тонкозернистые (от коллоидной дисперсности до размеров частиц менее 2 мкм) водные алюмосиликаты; для них характерна слоистая структура.

Основными составляющими тонкозернистой фракции глинистых пород являются минералы каолиновой группы с химическими формулами А12О3 x x2SiO2 • 2Н2О (каолинит), А12О3 • 2SiO2 • 4Н2О (галлуазит) и др. Для производства вы­соковольтного фарфора отечественными заво­дами используются глины и каолины, химиче­ский состав которых и потери по массе при прокаливании приведены в табл. 3 и 4 (см. приложения).

*Кварцевые материалы.* Кристаллический кремнезем SiO2 является одним из основных компонентов фарфоровой массы, который вво­дят в состав шихты в виде кварцевого песка или жильного кварца. Размер гранул кварце­вых песков составляет 0,05—3 мм. Кристалли­ческий кремнезем существует в нескольких по­лиморфных формах; три основные — кварц, тридимит и кристобалит. В свою очередь кварц и кристобалит имеют α- и β-модификации, тридимит — α-, β- и γ-модификации. Стабиль­ными формами являются β-кварц (при темпера­туре ниже 573 °С), α-тридимит (870—1470 °С) и α-кристобалит (1470—1710°С). Переход из одной модификации кремнезема в другую со­провождается изменением объема, плотности и других параметров. При производстве электро­керамики используются пески и жильный кварц, химический состав которых приведен в табл. 5 (см. приложения).

В зависимости от месторождения кварце­вые пески имеют примеси (Fe2O3, TiO2, A12O3, CaO, MgO и др.), наиболее нежелательные из которых Fe2O3 и ТiO2 (допустимое содержание не более 0,15 %), СаО и MgO (не более 0,2 %).

*Полевые шпаты* представляют собой без­водные алюмосиликаты, содержащие щелочные (Na+, К+) и щелочно-земельные (Са2+) катио­ны. Основные виды применяемых в керамиче­ском производстве полевых шпатов: калиевый (микроклин) с приблизительной формулой К2О•А12O3•6SiO2, натриевый (альбит) Na2O•Al2O3•6SiO2, кальциевый (анортит) СаО•А12О3•2SiO2 и бариевый (цельзиан) ВаО•А12О3•2SiO2. Полевые шпаты всегда содержат примеси оксидов железа, магния, кальция и др.**/**18**/**

Лучшим для изоляционной керамики по­левым шпатом является микроклин. Из-за повышенного содержания Na2O в полевом шпа­те снижаются температура обжига, вязкость стеклофазы керамики и существенно ухудша­ются его электрофизические свойства. Чем больше соотношение К2О и Na2O в полевом шпате, тем лучше свойства керамики.

В связи с ограниченностью запасов высо­кокачественного полевого шпата для производ­ства высоковольтных изоляторов используют пегматиты.

*Пегматиты* представляют собой крупнозер­нистые кристаллические породы — смесь полевого шпата с кварцем. Химический состав пег­матитов и полевых шпатов приведен в табл. 6 (см. приложения).

*Глинозем* — безводный оксид алюминия Al2О3 — представляет собой порошок со сред­ними размерами сферических гранул 50— 200 мкм. Глинозем широко применяется как основной компонент электро­фарфора и ультрафарфора (на основе корун­да) и в качестве самостоятельного материала для изготовления высоковольтных, высокочас­тотных изоляторов, конденсаторов, деталей вакуум-плотных узлов (корпусов предохраните­лей, колб натриевых ламп, корпусов полупро­водниковых вентилей, обтекателей антенн, плат для интегральных схем и др.).

Безводный оксид алюминия существует в нескольких кристаллических модификациях, из которых самой устойчивой является α-А12О3 (корунд). Эта модификация характеризуется малым tgδ≈2•10-4, высоким ρ≈1014 Ом•м, высокой теплопроводностью и стойкостью к термоударам, наибольшей плотностью (3999 кг/м3).

Две другие модификации: γ-А12О3 и β-А12О3, последняя из которых представляет собой со­единение глинозема со щелочными и щелочно­земельными оксидами, имеют меньшую плот­ность (соответственно 3600 и 3300—3400 кг/м3) и более высокие значения tgδ (≈50•10-4 и 1000•10-4). Технический глинозем представляет собой в основном γ-А12О3 с частичным содержанием гидратов глинозема.

При нагреве γ-Аl2О3 переходит в α-А12О3 с уменьшением объема на 14,3 процента. Для уменьше­ния усадки керамики при обжиге технический глинозем предварительно обжигают при темпе­ратуре 1450—1550 °С.

Спектрально чистый корунд плавится при 2050 °С, а изделия из него при небольшой ме­ханической нагрузке могут быть использованы даже при температуре до 1800°С.

Для производства электроизоляционной ке­рамики применяются технический глинозем (шесть сортов), электроплавленный корунд и глинозем особой чистоты в зависимости от на­значения керамики.

*Кальцит* — карбонат кальция СаСО3, пред­ставляющий собой плотный кристаллический агрегат, называется мрамором, а при тонко­дисперсной структуре — мелом. При нагреве СаСО3 разлагается с выделением СО2 соглас­но реакции СаСО3 → СаО + СО2↑. Скорость раз­ложения зависит от скорости подъема темпе­ратуры и от давления воздуха. При нормальных условиях температура разложения состав­ляет порядка 900 °С.

Для производства электроизоляционной ке­рамики в основном используют мел Белгород­ского месторождения с содержанием СаСО3 не менее 98 %.

В керамике карбонат кальция использует­ся как основной компонент кристаллических фаз титанатов, станнатов и цирконатов каль­ция, анортита, волластонита, а также входит в состав стеклофазы различных электрокерамик и глазурей.

*Ашарит* — борат магния 2MgO•B2O3•H2O является стеклообразующим оксидом. Его твер­дость по Моосу — 4. Он добавляется в керами­ческие массы в количестве 2—3 %. Ашарит в состав ашаритового фарфора вводится в виде предварительно приготовленного спека из гли­нозема, ашарита и полевого шпата в количест­ве до 60 % массы, для улучшения электроизо­ляционных свойств фарфора.

*Циркон* ZrO2•SiO2 (цирконовая руда) име­ет твердость 7—8; плотность его около 4700 кг/м3. Руду обогащают, в результате получен­ный циркон содержит ZrO2 не менее 60 % и Fe2O3 не более 0,15 %. Циркон используется в качестве основного компонента в стойкой к тер­моударам керамике и в виде части кристалли­ческой фазы цирконового фарфора. В послед­нем случае циркон вводится в состав фарфора вместо кварца, кристаллическая фаза керами­ки в таком случае представлена цирконом и муллитом. Химический состав сырья, содержа­щего цирконий, приведен в табл. 7 (см. приложения).**/**13**/**

**Сырьевые материалы для производства других видов керамики.** *Тальк* разных место­рождений имеет состав, близкий к 3MgO•4SiO2•H2O или 4MgO•5SiO2•H2O, с незначи­тельным количеством других оксидов. Лучшие разновидности талька отличаются малым со­держанием СаО (от 0,2 до 1 %) и Fe2O3 (от 0,3 до 0,8 %). Тальк должен иметь однородный состав без прослоек, а потери массы при про­каливании не должны превышать 5—7 %.

Химический состав тальков, используемых для производства стеатитов, приведен в табл. 8 (см. приложения).

Диоксид титана — мелкодисперсный поро­шок белого цвета с желтоватым оттенком. Для природного и полученного химическим путем диоксида титана характерен полиморфизм.

Технические данные диоксида титана при­ведены в табл. 9, химический состав — в табл. 10 (см. приложения).**/**17**/**

**3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

В общем случае технологический процесс производства электрокерамических изделий можно представить схемой рис. 1 (см. приложения). Для каж­дого конкретного случая процесс будет не­сколько видоизменяться, однако можно отме­тить общие для большинства случаев основные этапы производства: приготовление формовоч­ной массы; оформление заготовок изделий; сушка, глазурование и обжиг изделий. В неко­торых случаях обожженные изделия могут подвергаться дополнительной механической об­работке.**/**5**/**

**Приготовление формовочной массы.** Керамическая формовочная масса характеризуется размерами и распределением частиц; от этого зависят плотность упаковки, влагосодержание и прочность заготовки до обжига, технологиче­ские свойства материала, а также характери­стики обожженных керамических изделий.

*Измельчение компонентов* является одним из основных процессов при приготовлении фор­мовочных масс. Как правило, твердые мине­ральные компоненты массы сначала подверга­ют грубому измельчению в щековых дробилках и на бегунах, затем просеивают на виброситах для получения заданной фракции, далее про­изводят мокрый или сухой тонкий помол на ро­тационных шаровых мельницах периодического или непрерывного действия. Сверхтонкий по­мол производят в струйных мельницах с ис­пользованием сжатого воздуха.

Степень измельчения отдельных компонен­тов массы зависит от требований, предъявляе­мых к материалу, размеров изделий и приме­няемых способов оформления, сушки и обжига. При измельчении обычно происходит смешение компонентов массы. Степень измельчения про­веряют ситовым и микроскопическим анализа­ми, а в лабораторных условиях — седиментационным. Для удаления частиц железа измель­ченную массу пропускают через магнитный се­паратор.

*Обезвоживание водного шликера* после мокрого помола производится на фильтр-прес­се под давлением 0,8—3 МПа. Масса, остаю­щаяся между пластинами фильтра в виде кор­жей, в зависимости от назначения проходит различную обработку. При изготовлении масс для пластичной формовки коржи поступают для переминки в вакуум-прессы, с помощью ко­торых обеспечивается хорошее извлечение воздуха, окончательная переминка массы и выдавливание ее через мундштук, придающий заго­товкам определенный профиль. Заготовки ис­пользуются для формовки изделий пластичными методами.

*Для приготовления водного литейного шли­кера коржи* распускаются в шликерных мешалках в воде с добавкой электролита и доводят­ся до нужной влажности. После вакуумирования шликер подается на литье. Безглинистые массы или массы с небольшим содержанием глинистых веществ (например, конденсаторные массы с содержанием около 3 % бентонита) не подвергают обезвоживанию на фильтр-прессе, а используют как литейный шликер после вакуумировки.

*При приготовлении масс, предназначенных для изготовления изделий методом прессова­ния*, коржи с добавкой отходов формовочной массы подвергают сушке и дроблению. Затем масса просеивается, пропускается через маг­нитный сепаратор, вводятся связующие вещества, производится тщательное перемешивание и приготовляются гранулированные (гранулы размером 0,5—2 мм отделяют от пыли на соот­ветствующих ситах) пресс-порошки.

В качестве связующего и пластифицирую­щего вещества в глинистых массах служит во­да, а в безглинистых массах — растворы орга­нических веществ, например раствор поливини­лового спирта, бакелитовой смолы, воскообразные вещества — парафин, церезин и др.

Для приготовления гра­нулированного пресс-порошка широко приме­няют распылительные сушилки. При этом вод­ный шликер с влажностью 35—50 % распыля­ют форсункой или вращающимся диском в ба­шенной сушилке для подсушки и получения гранул заданной влажности. Шарообразные гранулы (размерами преимущественно 0,3— 0,5 мм) имеют более высокую текучесть, чем порошок, получаемый измельчением сухой мас­сы в мельницах ударного действия.

При применении распылительных сушилок достигается существенная экономия за счет ис­ключения из производственного цикла ряда операций, снижения трудовых и эксплуатаци­онных затрат.

*При приготовлении шликера для горячего литья* в металлические формы под давлением масса предварительно синтезируется, дробится, измельчается в барабанных или вибрационных мельницах до заданной дисперсности (обычно удельная поверхность 350—800 м2/кг). Затем вводится парафин с добавкой олеиновой кис­лоты в обогреваемую до 70—80 °С лопастную, пропеллерную или иную мешалку.

Ориентировочное количество связующего, состоящего из 95—97 % парафина и 3—5 % олеиновой кислоты, в шликерах составляет око­ло 10 —15%.

Перед заливкой в формы горячий шликер вакуумируют в аппаратах различной конст­рукции.**/**3**/**

**Оформление заготовок изделий.** В зависи­мости от состава, технологических особенностей приготовления массы, конфигурации, габаритных размеров и масштаба производства изде­лий в основном применяются следующие спо­собы изготовления заготовок: пластичное фор­мование, прессование из пресс-порошков, литье водного шликера в гипсовые формы, горячее литье под давлением в металлические формы и высокотемпературное прессование.**/**2**/**

*Пластичное формование* относится к важ­нейшим методам оформления электротехниче­ских изделий. Этот метод в основном применя­ется при массовом производстве различных фарфоровых изоляторов, иногда для изготов­ления специальных изделий, стеатитовых, кордиеритовых, конденсаторных, глиноземистых и др., в том числе и из масс, не содержащих глины, но пластифицированных органическими связующими.

При изготовлении изделий пластичным формованием керамическую массу подвергают тщательной обработке, многократной перемеш­ке в ленточном прессе, вакуумированию.

Сплошные толстостенные трубчатые кера­мические изделия оформляются из пластичной массы с помощью мощных вакуум-прессов. Окончательная конфигурация заготовок дости­гается пластичным формованием во вращаю­щихся гипсовых или металлических формах и механической обработкой резанием. Этот ме­тод применяется при изготовлении крупногаба­ритных высоковольтных изоляторов и подоб­ных им изделий. Трубки, оси, стержни с одним или несколькими каналами и другие изделия с постоянным поперечным сечением изготавлива­ют из пластичной массы способом протяжки через фильерные мундштуки на поршневых винтовых, гидравлических или шнековых прес­сах. Этот способ является основным для оформ­ления заготовок различной конфигурации при изготовлении конденсаторов, резисторов и дру­гих изделий.

Изделия, не имеющие форму тел вращения, при небольших выпусках изготовляются мето­дом ручной лепки в гипсовых формах.

*Прессование из пресс-порошков* является одним из распространенных и производитель­ных способов изготовления полностью оформленных изделий заданной конфигурации или заготовок для последующей механической об­работки изделий.

В зависимости от конфигурации прессуе­мых изделий, степени пластичности пресс-по­рошка и требований к изделиям прессование можно осуществлять различными способами. Так, широкий ассортимент установочных дета­лей из стеатита и форстерита, высоковольтные конденсаторы и другие изделия изготовляются сухим прессованием с применением малоплас­тичных пресс-порошков с неводными органиче­скими (парафин, смесь парафина с керосином и др.) или гидроорганическими (водный рас­твор поливинилового спирта) связующими. Для малопластичных пресс-порошков в СССР ис­пользуют 2—5 %-ный водный раствор поливи­нилового спирта или 6—14 %-ный раствор па­рафина в бензине или керосине.

*Штампование* применяется главным обра­зом для установочных деталей различной кон­фигурации из высокопластичных материалов с большим содержанием глин (фарфора, радио­фарфора, ультрафарфора и т. д.) и добавкой гидроорганических пластификаторов.

*Изостатическое прессование* основано на всестороннем обжатии засыпанного в эластич­ную форму пресс-порошка или предварительно оформленной каким-либо способом заготовки жидкостью или сжатым газом. Изостатическое прессование в резиновой форме путем прило­жения гидростатического давления жидкости обычно называют гидростатическим прессова­нием. Этот способ применяется для оформле­ния заготовок некоторых видов изоляторов, пьезокерамических элементов и других подоб­ных изделий. Он обеспечивает получение плот­ных и однородных заготовок.

*Высокотемпературное прессование* приме­няется преимущественно для получения неко­торых специальных изделий простой формы. Оно заключается в спекании керамического ма­териала под давлением при высокой темпера­туре в нагревостойких формах, при этом оформ­ление и обжиг изделий совмещаются в единой операции. Исходный материал применяется в виде порошков или гранул. Давление, темпе­ратура и продолжительность прессования оп­ределяются составом материала, размером и конфигурацией изделий и т. п.

*Литье водных шликеров в пористые формы* является одним из самых старых способов оформления керамических изделий. Этот способ широко применяется и сейчас, главным обра­зом для изделий из специальных видов кера­мики — для крупногабаритных керамических конденсаторов, антенных обтекателей, а также различных изделий сложной формы.

При заливке шликера в пористую, чаще всего гипсовую форму, вследствие поглощения влаги стенками формы на ее поверхности об­разуется достаточно плотный и прочный слой керамической массы.

Различают два основных способа отливки изделий. При сливном способе после образо­вания на внутренней стороне формы слоя мас­сы требуемой толщины оставшийся шликер вы­ливается из формы. При наливном способе от­фильтрованная масса заполняет всю полость формы. Для оформления заготовок с внутрен­ней полостью наливным способом в форму вставляется пористый сердечник.

*Горячее литье под давлением* применяется преимущественно для изготовления изделий сложной формы с точными размерами из не­пластичных материалов и толщиной стенки не более 10 мм. Литье производится на специаль­ных аппаратах в металлические формы при температуре 70—80 °С и избыточном давлении 0,1—1 МПа.

В форму заливается вакуумированный шликер, который поступает под давлением в полость металлической формы и хорошо ее за­полняет. Затвердевание шликера происходит при охлаждении формы. Метод оформления из­делий очень трудоемок.

Обточка необожженных керамических изделий широко применяется при изготовлении изоляторов и других изделий, имеющих форму тел вращения.

Заготовки для последующей обточки полу­чают методом протяжки (экструзии) пластич­ной массы. В некоторых случаях заготовки мо­гут быть получены и другими способами — изостатическим прессованием, шликерным литьем и т. п.

Для обточки используют горизонтальные и вертикальные токарные станки, снабженные специальными резцедержателями. На обточку материал подается либо в подвяленном (влаж­ная обточка), либо в сухом состоянии (сухая обточка). В некоторых случаях производится обточка заготовок, прошедших предваритель­ный (утильный) обжиг.**/**5**/**

**Сушка, глазурование и обжиг электрофар­форовых изделий.** *Сушка.* Электрофарфоровые изделия, полученные методами протяжки, прессования и другими методами и прошедшие обточку на станках, содержат 17—18 % влаги; несколько меньшую влажность имеют заготов­ки установочных изделий. Для удаления влаги до остаточной влажности 0,2—2,0 % фарфоро­вые изделия подвергаются сушке в сушильных камерах различной конструкции. Чем больше габаритные размеры и толщина стенки изоля­торов, тем меньше должна быть остаточная влажность.**/**6**/**

Существуют следующие виды сушки изде­лий: конвективная, при которой изделия на­греваются теплым воздухом, уносящим испа­ряющуюся влагу; радиационная, при которой лучистая энергия поступает от электрических нагревателей; радиационно-конвективная, в ко­торой сочетается конвективный и радиацион­ный нагрев. Этот способ наиболее эффективен при сушке крупных и средних изоляторов. Сушка токами промышленной и высокой час­тоты применяется для провялки крупногаба­ритных влажных заготовок.

Для сушки используются сушильные агре­гаты периодического и непрерывного действия. Первые, главным образом, используются для крупногабаритных изоляторов. Для изделий среднего габарита и мелких в основном при­меняют сушилки непрерывного действия (кон­вейерные, туннельные) с большей производи­тельностью.

По способу нагрева изделий существуют сушилки конвективные, радиационные и конвективно-радиационные, по способу использо­вания газов — однократного и многократного насыщения, а также использующие воздух в замкнутом цикле, по способу движения изде­лий в сушильных камерах и каналах — туннельные (с периодическим перемещением из­делий) и конвейерные (с непрерывным гори­зонтальным или вертикальным). Горизонталь­ная конвейерная сушилка представляет собой камеру длиной 8—10, шириной 3—5 и высо­той 3—4 м, вертикальная конвейерная сушил­ка — камеру длиной и высотой 5—6 м. Туннельные сушилки непрерывного действия представляют собой камеру длиной 20 — 25, высотой 2,5—3,5 м. Их ширина зависит от ко­личества параллельно идущих в туннеле ваго­неток с изоляторами.

*Глазурование.* Электрокерамические изде­лия покрывают тонким (0,1—0,3 мм) слоем гла­зури (стекловидный покров), что значительно повышает их механические свойства, изолиру­ет от воздействия окружающей среды, улучша­ет внешний вид и электроизоляционные свой­ства, обеспечивает самоочистку изоляторов в процессе эксплуатации.

Химический процентный состав (по массе) глазури, используемой при изготовлении изоля­торов в электротехнической промышленности: SiO2—66,0—72,2; А12О3—11,7—17,2; RO—5,7—7,7; R2O—4,2—5,4. Для приготовления коричне­вых глазурей обычно вместо части кварцевого песка вводят фарфоровый бой и красители, со­держание которых в шихтовом составе состав­ляет 16,0—35,4 %.

*Красители для глазурей* применяются для придания глазури определенного цвета. В ка­честве красителей обычно применяются оксиды железа, хрома, марганца и др., чаще всего — хромистый железняк, марганцевая руда и пиро­люзит. Содержание красителей в глазури со­ставляет 8—13 %.

Химический процентный состав коричневой глазури: SiO2—65,7—68,3; А12О3(ТiO2)—13,4—13,8; Fe2O3—2,1—2,3; СаО —3,8—5,1; MgO—3,7—4,7; Na2O—1,2—2,1; К2О—1,9—2,2; Сr2О3— 2,6—3,1. Сырьем для этих глазурей служат природные материалы.

В радиотехнической и электронной про­мышленности для глазурования широко исполь­зуются стеклоэмали различных марок с темпе­ратурой размягчения 560—710°С. Такие стек­лоэмали на основе силиката свинца с добавкой оксидов металлов BaO, Na2O, K2O и др. харак­теризуются высокими электроизоляционными показателями, приведенными в табл. 11 (см. приложения).

От качества глазурного покрытия зависит механическая прочность глазурованных изделий (наличие микротрещин и других дефектов мо­жет служить причиной снижения этого пока­зателя). Возникновение начальных трещин в глазури зависит от степени гладкости ее поверхности и от обеспечения состояния сжатия глазури на керамическом изделии. Значения на­пряжений в глазурованных изделиях и их рас­пределение зависят от условий обжига и ох­лаждения, от соотношения значений ТК*l* кера­мики и глазури, от степени развития промежу­точной зоны на контакте керамика — глазурь. Наиболее существенный фактор — различие в значениях ТК*l* керамического материала и гла­зури. Возникновение цека и отскакивание гла­зури также зависит от значения ТК*l*. Глазурь только тогда повышает механическую проч­ность керамики, когда она находится в состоя­нии сжатия. Когда ТК*l* глазури больше ТК*l* ке­рамики, создается напряжение растяжения, и механическая прочность керамики снижается. Так, при ТК*l* глазури (4,5—5,5)/10-6 К-1 проч­ность при разрыве глазурованного фарфора со­ставляет 140—130 МПа, а при ТК*l* глазури (6—7) • 10-6 К-1 — 120—70 МПа.

Высушенные заготовки изоляторов перед обжигом глазуруются методами полива, окуна­ния или распыления глазурной суспензии плот­ностью 1400—1700 кг/м3. Глазурование в за­висимости от размеров заготовок изоляторов осуществляют с применением станков кару­сельного типа, конвейерных машин и подъем­ных устройств для крупных изоляторов.

В проходных и подвесных изоляторах элек­трическое поле по поверхности изоляторов не­равномерно, а в увлажненных и загрязненных изоляторах степень неравномерности резко уси­ливается и приводит к частичным разрядам, а иногда и к перекрытию. В ряде случаев для выравнивания электрического поля, а также для защиты от радио- и телевизионных помех применяют изоляторы полностью или частично покрытые полупроводящей глазурью. Удельное поверхностное сопротивление полупроводящей глазури составляет 102—109 Ом.

Для выравнивания электрического поля (особенно при покрытии внутренней поверхно­сти проходных изоляторов) более благоприятно низкое сопротивление полупроводниковой гла­зури, но при этом должны быть учтены осо­бенности конструкции изолятора. Кроме того, при низком сопротивлении глазури вероятнее возникновение теплового пробоя по глазури. Обычно верхний предел определяют экспери­ментальным путем в зависимости от термоус­тойчивости, сопротивления и условий эксплуа­тации изолятора. При этом под термоустойчи­востью подразумевается температура, при ко­торой удельное поверхностное сопротивление глазури уменьшается в 2 раза по сравнению с сопротивлением при температуре, принятой нормальной. Чем выше эта температура, тем выше термоустойчивость глазури.

Качество изоляторов с полупроводящей глазурью при их эксплуатаци в наружных уста­новках ухудшается вследствие эрозии проводя­щего компонента в местах контакта с металли­ческой арматурой. Износоустойчивость глазурных покрытий зависит от химического состава.**/**6**/**

Полупроводящая глазурь представляет со­бой композиционный материал преимуществен­но с электронным характером электропровод­ности и состоит из 20—40 % (по массе) элект­ропроводящих кристаллических компонентов и 60—80 % стеклообразующих оксидов. В качест­ве электропроводящих компонентов использу­ют Fe2O3, TiO2, Cr2O3, ZnO, SnO2, Sb2O3 и др. оксиды и их твердые растворы или химические соединения, а в качестве стеклообразующих компонентов обычно применяют оксиды SiO2, А12О3, CaO, MgO, BaO и др.

Полупроводящую глазурь приготовляют различными способами. По одному способу электропроводящие и стеклообразующие окси­ды измельчают и смешивают помолом мокрым способом. Полученный шликер необходимой консистенции наносят на поверхность заготов­ки изолятора по принятой технологии глазурования.

При применении других способов электро­проводящий компонент синтезируют отдельно в виде химического соединения или твердого раствора путем обжига. Полученный продукт измельчают мокрым способом в известных про­порциях, затем осуществляют помол со стекло-образующими компонентами.

Применяемая в электротехнической про­мышленности полупроводящая глазурь для изо­ляторов имеет следующий процентный хими­ческий состав (по массе): F2O3—7,9; А12О3—13,4; SiO2—52,5; TiO2—20,2; CaO—1,07: MgO—1,2; R2O—2,4; потери при прокаливании—2,18. Из такой смеси совместным мокрым помолом в шаровых мельницах приготовляется глазур­ная масса, которая наносится на поверхность заготовки изолятора. Обжиг изоляторов произ­водят в туннельной печи или в горне при тем­пературе 1320—1420 °С. Удельное поверхност­ное сопротивление имеет значение 10—80 МОм, термостойкость составляет 60—70 К, механи­ческая прочность при статическом изгибе гла­зурованных стандартных образцов повышается примерно на 15—20 %.

Опубликовано большое количество работ с описанием получения полупроводящей глазури. Используя оксиды металлов в качестве прово­дящего компонента глазури ТiO2—10÷40, Fe2O3—50÷10, Сг2О3—40÷50% (по массе) и стеклообразующие оксиды SiO2 — 73÷77, А12О3— 12÷17, MgO —2÷9, CaO—2÷8 % (по массе), совместным смешением можно получить глазури с удельным сопротивлением 10—1000 МОм. Сопротивление глазури может быть уменьшено за счет уменьшения концентрации ТiO2. Полупроводящая глазурь на базе окси­дов металлов Fe2O3—16, ТiO2—7,2, SnO2—13,6 в качестве электропроводящего компонента и оксидов металлов SiO2—44,1, А12О3—8,6, CaO— 2,9, MgO—1,7, R2O—2,2 % (по массе) в каче­стве стеклообразующего компонента может иметь удельные поверхностные сопротивления 3,4—12,2 МОм, термостойкость 70 К.

При этом следует иметь в виду, что с изменением температуры обжига изоляторов сопро­тивление глазури вследствие кристаллизации изменяется в широких пределах.

Температура об­жига, °С 1270 1320 1350 1380

Удельное поверх­ностное

сопро­тивление, МОм 12,0 3,4—8 18—23 1500—3500

Японская фирма «Нихон Гайси» в качестве электропроводящего компонента полупроводя­щей глазури рекомендует смесь оксидов SnO2 и Sb2O5, а в качестве стеклообразующего компонента — обычную глазурную массу (SnO2—85÷94 и Sb2O5—6÷15 %, в молярных долях). Приготовление глазури осуществляется следу­ющим образом. Компоненты SnO2 и Sb2O5 смешивают и обжигают при 1000—1300°С в окислительной атмосфере; 25—45 % (по мас­се) обожженного материала измельчают до среднего размера частиц 44 мкм, смешивают с 55—75 % (по массе) обыкновенной глазурной массы для изоляторов и обжигают в течение 2 ч в окислительной атмосфере при 1200—1430 °С. Полученный спек измельчают до среднего раз­мера частиц 44 мкм. Далее, не менее чем 70 % спека смешивают с глазурной массой (не бо­лее чем на 30 %). Глазурование производят по принятой в керамической промышленности тех­нологии. Обжиг глазурованных заготовок изо­ляторов осуществляют в восстановительной ат­мосфере согласно принятому режиму обжига. Наилучшие результаты при испытании подвес­ных изоляторов были получены при технологи­ческом процессе приготовления полупроводя­щей глазури, описанном далее. Соотношение электропроводящих оксидов: SnO2—88, Sb2O5— 12 % (в молярных долях). Смешение компонен­тов с частицами размером не более 44 мкм производится в фарфоровых барабанах, и та­кая смесь для образования твердого раствора замещения обжигается в электрической печи при 1150°С в течение 2 ч. Электропроводящий порошок в количестве 35 % (по массе) смеши­вают с 65 % глазурной массы для изоляторов и обжигают в электрической печи в течение 2 ч при 1350°С. Спек измельчают. Удельное по­верхностное сопротивление такого спека 5—12 МОм. Спек измельчают до среднего размера частиц 44 мкм. Производственная полупрово­дящая глазурь содержит 80 % измельченного порошка спека и 20 % каолина или глины. Гла­зурованная поверхность имеет слегка серова­тый цвет, сопротивление 26—42 МОм. Изоля­торы выдерживают 16—16,5 кВ без пробоя в условиях сильного загрязнения и увлажнения. По опубликованным данным такие глазури об­ладают высокой коррозионной стойкостью по отношению к электролитам и высокой термо­стойкостью (более 100 К).

*Обжиг фарфоровых изделий* является важ­ным, в ряде случаев завершающим процессом производства. В процессе обжига, преимущест­венно в стадии нагрева, удаляется вода, выде­ляются газы, происходят полиморфные превращения материала, изменяются размеры и плот­ность, образуются кристаллические и аморфные фазы и происходят другие процессы. Обжиг и охлаждение ведутся при заданных температурном, газовом и гидравлическом режимах с учетом габаритов изделий и конструкции приме­няемых печей. Для обжига фарфоровых изде­лий используют пламенные печи периодического и непрерывного действия, для малогабаритных изделий и изделий специального назначения — электрические печи периодического и непрерыв­ного действия с использованием силитовых и других нагревателей и на основе дисилицида молибдена, а иногда нагревателей с защитной средой. Обжиг керамических изоляторов явля­ется наиболее дорогостоящей операцией техно­логического процесса приготовления фарфора. Для обжига крупногабаритных изоляторов также используют пламенные печи периодичес­кого действия, круглые (горны), прямоуголь­ные, одно-, двух- и трехэтажные, со стационар­ным или выдвижным подом. Рабочий объем круглых печей, используемых в производстве, составляет от нескольких до 120 м3. Нагрев пе­чей производится за счет тепла от сгорания жидкого или газообразного топлива; продукты сгорания поступают в рабочую камеру и обо­гревают находящиеся в горне изоляторы; ох­лаждение производится воздухом, проходящим через камеру с обожженными изоляторами. Об­жиг изделий в пламенных печах периодического действия производится в капселях, устанавли­ваемых на поду печи. Обжиг в больших круг­лых печах требует большого расхода топлива и затрудняет механизацию процесса загрузки изоляторов.

За последние годы начали применять прямоугольные камерные печи объемом до 80 м3 с высоким подом, особенно для обжига однотип­ных крупногабаритных заготовок изоляторов стержневого типа, применение которых позво­ляет механизировать и трудоемкие технологи­ческие процессы, повысить производительность труда, сократить цикл обжига, снизить удель­ный расход энергии, автоматизировать режим и среду обжига.

Печи непрерывного действия дают возмож­ность бесперебойного выпуска готовой продукции при меньшем расходе топлива. Они значи-тельно экономнее периодических печей. Условия труда обслуживающего персонала значи­тельно лучше, чем при работе на периодических печах.

Туннельные печи дают возможность для механизации и автоматизации процесса обжига. По этим причинам туннельные печи широко применяются для обжига большого ассортимен­та изоляторов и являются наиболее перспек­тивными. Для обжига фарфоровых изоляторов используются туннельные печи нескольких типов длиной 140, шириной до 2,3 и высотой до 2,2 м. Обжигаемые изделия устанавливаются в вагонетках, футерованных огнеупорным ма­териалом. Режим обжига (температурные, га­зовые и гидравлические параметры) по всей длине печи контролируется контрольно-измери­тельными приборами и во времени остается по­стоянным.

Основой правильного ведения процесса об­жига является соблюдение температурного и газового режима (создание нейтральной, окис­лительной или восстановительной среды). Ре­жим обжига выбирается в зависимости от свойств материалов и размеров изделий. Фак­тическая температура обжига, изделий может несколько отличаться от оптимальной, что не отражается на качестве изделий (в пределах интервала спекшегося состояния). Этот интервал является важной производственной характеристикой электрокерамического материа­ла: для разных материалов он находится в пределах 10—80 К. Температура обжига для различных керамик составляет 1100—2000 °С и более.**/**3**/**

**4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И МЕТАЛЛИЗАЦИЯ КЕРА-МИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

**Механическая обработка.** В современной технике находят широкое применение керами­ческие изделия, соответствующие жестким тре­бованиям по точности размеров, форме и чи­стоте обработки поверхности. Обеспечить вы­полнение таких требований способами обычной керамической технологии не представляется возможным. Изготовленные изделия всегда имеют незначительные отклонения размеров от заданных, обусловленные некоторой неста­бильностью усадки в процессе сушки и обжи­га. Значения усадки зависят как от состава материалов, так и от некоторых технологиче­ских операций.**/**7**/**

Для получения керамических изделий, имеющих точные размеры и высокую чистоту поверхности, используют механическую обработку обожженных изделий путем шлифова­ния. Для шлифования в основном используют шлифовальные круги и реже порошки из аб­разивных материалов: алмаза, нитрида бора, карбида кремния, электрокорунда и др. (см. приложения, табл. 12).

Механическая обработка керамических изделий всеми видами шлифования осущест­вляется абразивными инструментами из кар­бида кремния и алмаза различной зернистости. Для шлифовки применяют шлифовальные кру­ги, головки, бруски и сегменты соответст­венно шлифуемой поверхности.

Максимальная рабочая скорость абра­зивного инструмента обусловливается типом связующего материала. Так, для алмазного шлифовального круга на керамическом связую­щем рабочая окружная скорость составляет 25 м/с, а на фенолформальдегидном — до 35 м/с.

Для обработки керамических изоляторов, обладающих высокой твердостью и хруп­костью, наиболее эффективным является ал­мазный инструмент на металлическом и фе­нолформальдегидном связующем. Алмазный абразивный инструмент на металлическом свя­зующем используется в основном для черно­вого шлифования керамики, а на фенолфор­мальдегидном связующем — для окончатель­ного, чистого шлифования.

Алмазные круги на металлическом связу­ющем имеют более длительный срок службы. Для черновой обработки керамических изде­лий используют крупнозернистые абразивные круги, а для окончательной чистовой обработ­ки поверхности применяют тонкозеристые аб­разивные инструменты.

Для шлифования керамических изделий используют обычные металлообрабатывающие станки: токарно-винторезные со шлифовальной головкой, токарно-карусельные, шлифовально-карусельные, универсально-шлифовальные и др. Крепление керамических изделий на станке производится при помощи специальной технологической оснастки, обеспечивающей прочное и безопасное положение детали в работе.

Режимы шлифования керамических изделий зависят от свойств керамического материала, от показателей используемого абразивного инструмента и устанавливаются экспериментально. При черновой обработке изделий в большинстве случаев толщина слоя, снимаемого шлифовкой за один проход, составляет примерно 0,25 мм, а при чистовой — 0,005— 0,025 мм.

Для охлаждения в процессе шлифования применяют 2—5 %-ный водный раствор кальцинированной соды, который подают со ско­ростью 20 л/мин.

При круглом шлифовании наружной по­верхности изоляторов цилиндрической формы обрабатываемый изолятор и шлифовальный круг вращаются в одну сторону, а при обра­ботке круглых внутренних поверхностей кера­мических изделий шлифовальный круг и обра­батываемая деталь вращаются в противопо­ложные стороны. Шлифование торцевых по­верхностей цилиндрических изделий может производиться на плоскошлифовальном станке с использованием соответствующей оснаст-ки.**/**10**/**

**Металлизация керамики.** Металлические покрытия на поверхности керамики могут слу­жить электродами конденсаторов, испытуемых образцов, витков катушки индуктивности или промежуточным слоем для соединения кера­мики с металлической арматурой посредством пайки.

Металлические покрытия керамики можно осуществлять методами вжигания металлосодержащей краски (пасты), испарения и кон­денсацией металла (серебра, золота, никеля, палладия и др.) в вакууме, химического осаж­дения, шоопирования и др.

Металлические покрытия должны обла­дать хорошей электропро-водностью (особенно для высокого напряжения высокой частоты) при малой толщине электродного слоя. Для таких покрытий чаще всего применяют благо­родные металлы (в основном серебро и пал­ладий), устойчивые к окислению. Покрытия, предназначенные для последующей пайки с металлической арматурой, производятся из тугоплавких металлов в сочетании с различ­ными добавками.

Вжигание паст — наиболее распростра­ненный способ металлизации. Основным ком­понентом металлосодержащей пасты является окись серебра, азотнокислое серебро или тон­кодисперсный порошок металлического сереб­ра. Для спекаемости покрытия и хорошей адгезии по отношению к поверхности керамики в пасту вводятся 5—7 % (по массе) плавней в виде борнокислого свинца, оксида висмута или других соединений висмута. Компоненты пасты смешиваются с органическими связую­щими, представленными раствором канифоли в скипидаре или смесью скипидара с касторо­вым маслом до получения однородной массы. Паста, изготовляемая промышленностью на специализированных заводах, содержит 55— 70 % (по массе) металлического серебра.

Нанесение серебряной пасты на керамиче­ские изделия производится вручную кисточкой, пульверизатором, окунанием, а в массовом производстве — шелкографией. Нанесенные покрытия сушат при температуре 80—150 °С в термостатах или в проходных сушилках. Об­жиг производится при температуре 750—850 оС в муфельных или проходных печах в воздуш­ной среде. В процессе обжига покрытия в ин­тервале температур 200—400 °С, т. е. при вы­горании органической связки, подъем темпера­туры должен быть замедленным во избежание вспучивания покрытия и образования трещин на металлизированной поверхности. Режим вжигания серебряной пасты устанавливается экспериментально. Он зависит от нагревостойкости керамики, размеров и конфигурации металлизируемого изделия. Длительность про­цесса может составлять 5—35 ч.

Толщина однократно металлизируемого слоя серебра составляет 3—10 мкм. В случае необходимости для получения покрытия с бо­лее толстым слоем деталь металлизируют 2 — 3 раза, проводя последовательно вжигание каждого нанесенного металлизированного слоя. Толщина металлизирующего слоя на из­делиях среднего размера составляет 40 — 50 мкм.

Металлизация составами на основе туго­плавких металлов применяется для различных вакуум-плотных керамических изделий из фар­фора, стеатита, форстерита и корундовой ке­рамики. В металлизирующий состав входят различные добавки: марганец, железо, крем­ний, оксиды металлов — А12О3, ТiО2, Сr2О3, карбиды, бориды и специальные плавни.

Металлизация различных типов керамиче­ских материалов производится по схеме: очист­ка изолятора от загрязнений, обезжиривание, приготовление и нанесение металлизирующего состава, вжигание покрытия, зачистка, нанесе­ние второго металлизирующего состава, вжи­гание второго покрытия и контроль качества покрытия.

Для приготовления металлизирующих паст используют материалы, получаемые с завода-изготовителя в виде тонкомолотых порошков с удельной поверхностью 4000—5000 см2/г для молибдена и 5000—7000 см2/г для марганца.

Компоненты металлизирующей пасты, взя­тые в заданном соотношении, смешиваются с раствором коллоксилина в изоамилацетате или водно-спиртовый раствор полиамидной смолы. Смешивание компонентов производится в валковой мельнице со стальным барабаном до получения однородной пасты.

Процесс вжигания металлизирующих по­крытий производится в печах с защитной га­зовой средой при температуре 1200—1350 °С с выдержкой при конечной температуре 20—30 мин. Режим вжигания устанавливается опытным путем.

Вжигание покрытия проводится в печах периодического действия или толкательных пе­чах непрерывного действия в увлажненной или азотно-водородной среде при отношении азота к водороду 2:1 или 3:1. Керамические материалы, содержащие в своем составе до­статочное количество стеклофазы (фарфор, стеатит и др.), можно металлизировать па­стами на основе тугоплавких металлов без специальных добавок, а керамические матери­алы, содержащие менее 5 % стеклофазы, не­обходимо металлизировать пастами, в состав которых входят компоненты, образующие жид­кую фазу в процессе вжигания покрытия.

В табл. 13 (см. приложения) приведены составы для ме­таллизации вакуумплотных керамических ма­териалов.

Для увеличения толщины покрытия и об­легчения пайки на молибденовое покрытие методом вжигания или гальваническим путем наносится слой никеля (второе покрытие).**/**2**/**

**ПРИЛОЖЕНИЯ:**

Очистка от песка

Контроль

Глазурование (легко-плавкими глазурями)

Шлифование

Обжиг

Глазурование

Механическая обработка

Спекание

Сушка

Мудштучное прессование

Обтачка

Литьё

Смеситель

Бункер

Вакуум-пресс

Сухое прессование

Воздушный классификатор

Сито

Бегунковая дробилка

Предварительное прессование

Сушка

Влажное прессование

Вибросито

Дезинтегратор

Смеситель

Бегунковая мельница

Сушка

Пресс-фильтр

Мембранный насос

Смеситель

Вибрационное сито

Магнитный сепаратор

Барабанная мельница

Дробилка

Сырьё

**Рис. 1. Технологическая схема производства электрокерамических**

**изделий**

**Таблица 1. Фазовый состав и основные свойства электрофарфора**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Фарфор | | | |
| твёрдый | с повышенным содержанием муллита | кристобалитовый | корундовый |
| Состав, % | | | | |
| Муллит | 25-28 | 35-48 | 23-25 | 10-12 |
| Кремнезем | 10-12 | 1-5 | 23-25 | - |
| Кристобалит | - | - | 20-25 | - |
| Корунд | - | 0-5 | - | 35-40 |
| Стеклофаза | 60-62 | 55-60 | 28-33 | 45-50 |
| Основные свойства | | | | |
| Прочность при изгибе, МПа | 70 | 120 | 110 | 170-220 |
| Ударная вязкость, кДж/м2 | 1,5 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
| Электрическая прочность, МВ/м | 30 | 35 | 35 | 35 |

**Таблица 2. Основные классы электротехнических материалов соот-ветственно применению**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Класс | Применение | Вид керамики | Характерные особенности |
| 1 | Изоляторы для ус-тройств высокого и низкого напряжения, низкой частоты | Электрофарфор и глиноземистый фарфор | Хорошие электромеханические свойства, возмож-ность изготовления изоляторов любых размеров |
| 2 | Низкочастотные и вы-сокочастотные изоля-торы и конденсаторы малой ёмкости | Стетит, ультрафарфор, корундо-муллитовая керамика, цельзиановая керамика | Небольшое значение εr |
| 3 | Конденсаторы высо-кого и низкого напря-жения, высокой и низ-кой частоты | Рутиловая, перовскитовая, титано-циркониевая керамика, стронций-висмутовый титанат, алюминат-лантановая керамика | Высокое и очень вы-сокое значение εr, за-данное или не регла-ментированное зна-чение ТКε |
| 4 | Термодугостойкие узлы: искрогаситель-ные камеры, основа-ния нагревательных элементов и проволоч-ных резисторов, изоля-торы в вакуумных приборах | Кордиерит, литий-содержащая, высокоглиноземистая и цирконовая кера-мика | Высокая механи-ческая стойкость при нагреве и стойкость к термоударам |
| 5 | Высоконагревостойкие изоляторы | Керамика на основе чистых оксидов алю-миния, магния, бе-риллия и т. д. | Высокие электри-ческие свойства при высокой температу-ре, высокая тепло-проводность |
| 6 | Резисторы | Смесь керамики с са-жей или графитом; керамика на основе смешанных кристал-лов оксида цинка и оксидов металлов с переменной валент-ностью | Повышенная и высо-кая электропровод-ность, линейная и нелинейная вольт-амперные харак-теристики |

**Таблица 3. Огнеупорные глины**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Место-рож-дение | Содержание оксидов, % | | | | | | | Потери при прокали-вании, % |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O |
| Часовъяр-ское | 49,6-60,74 | 27,17-36,15 | 0,77-1,97 | 0,24-1,12 | 0,64-1,32 | 1,42-2,99 | 0,19-0,54 | 9,86-7,35 |
| Дружков-ское | 47,0-57,0 | 32,4-37,0 | 0,81-1,32 | 0,72-1,38 | 0,16-0,50 | 1,18-3,48 | | 11,46-9,50 |
| Торжков-ское | 45,5-55,1 | 28,9-37,3 | 0,43-2,73 | 0,46-2,30 | 0,14-1,81 | 0,04-1,59 | 0,24-0,96 | 17,70-11,06 |

**Таблица 4. Каолины**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Место-рож-дение | Вид коалина | Содержание оксидов, % | | | | | | | Поте-  ри при про-кали-вании, % |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O |
| Прося-новское | Нео-бога-щён-ный | 65,0-69,7 | 21,7-26,4 | 0,84-1,0 | 0,4-0,7 | 0,08-0,3 | 0,27-0,83 | - | 7,9-4,9 |
| Обо-гащён-ный | 45,5-47,4 | 37,4-39,8 | 0,3-0,94 | 0,15-1,3 | 0,12-0,56 | 0,15-0,77 | 0-0,68 | 14,0-13,2 |
| Глухо-вецкое | Нео-бога-щён-ный | 65,3-69,6 | 22,2-26,2 | 0,2-0,5 | 0,32-0,45 | - | 0,13-0,15 | - | 8,7-7,9 |
| Обо-гащён-ный | 46,0-47,9 | 37,1-40,4 | 0,21-0,95 | 0,13-0,5 | 0-0,53 | 0-0,4 | 0-0,003 | 13,7-13,1 |
| Кыштым-ское | Нео-бога-щён-ный | 69,0 | 21,1 | 0,95 | 0,65 | 0,32 | - | - | 6,99 |
| Обо-гащён-ный | 45,7-49,2 | 36,3-38,2 | 0,5-2,2 | 0,46-1,6 | 0,28-0,76 | 0,39-0,80 | 0-0,59 | 13,7-12,1 |
| Балай-ское | Обо-гащён-ный | 45,5-51,1 | 34,2-37,2 | 0,6-0,8 | 0,3-0,88 | 0,1-0,2 | - | 0,7-0,96 | - |
| Ангрен-ское | Нео-бога-щён-ный | 54,6-57,1 | 30,2-32,3 | 0,1-0,8 | 0,7-1,2 | 0,28-0,3 | - | 0,28 | - |

**Таблица 5. Кварцевые материалы**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сырьё | Содержание оксидов, % | | | | | | | Потери при прока-лива-нии, % |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O |
| *Кварцевый песок* | | | | | | | | |
| Любе-рецкий | 99,5-98,6 | 0,06-0,8 | 0,1-0,2 | 0,1-0,2 | 0,04-0,1 | 0,1 | - | 0,08-0,02 |
| Авдеев-ский | 96,6-98,8 | 2,7-0,7 | 0,1-0,2 | 0,2-0,6 | 0,1-0,2 | - | - | 0,1-0,3 |
| Талшин-ский | 99,3-99,7 | 0,3-0,2 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | - | 0,04-0,1 | 0,1-0,4 |
| ГДР | 99,7-99,8 | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | - | - | 0,13-0,15 |
| *Кварц жильный* | | | | | | | | |
| Нарын-Кунтин-ский | 90,7-99,4 | 0,4-0,6 | 0,0-0,6 | 0,0-0,8 | 0,0-0,9 | 2,7-0,0 | 0,0-0,2 | 0,26 |

**Таблица 6. Полевой шпат и пегматит**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сырьё | Содержание оксидов, % | | | | | | | Поте-ри при прока-лива-нии, % |
| SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | K2O | Na2O |
| *Пегматит* | | | | | | | | |
| Глубо-чан-ский (Тока-ров-ский) | 71,3-75,4 | 14,8-16,2 | 0,4-0,6 | 0,6-1,2 | 0,1-0,4 | 4,6-5,3 | 3,6-4,5 | 1,0-1,5 |
| Прила-дож-ский | 65,6-77,7 | 13,1-19,3 | 0,1-1,0 | 0,6-2,3 | 0-0,7 | 4,1-5,9 | 3,6-5,1 | 0,8-1,6 |
| Елисе-евский | 70,7-75,6 | 13,3-17,1 | 0,3-0,8 | 0,5-1,3 | 0-0,2 | 3,0-4,9 | 2,9-5,3 | 0,6-1,5 |
| Алапаев-ский | 65,5-74,4 | 13,9-19,7 | 0,2-0,4 | 0,2 | 0,1 | 7,9-12,0 | 1,9-3,5 | - |
| *Полевой шпат* | | | | | | | | |
| Норвеж-ский | 65-74,7 | 19,2-20,2 | 0,1-0,3 | - | 0,2 | 11,1-12,8 | 3,3-3,7 | 3,4-3,5 |
| Применя-емый в США | 65-68,6 | 17,3-19,9 | 0,1-0,3 | 0-0,5 | 0,03 | 10,5-12,0 | 2,7-3,3 | 3,6-3,9 |
| Применя-емый в Швеции | 64,0 | 19,4- | 0,1 | 0,08 | - | 14,0 | 1,9 | 7,3 |
| Применя-емый в ФРГ | 68,5 | 17,6 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 10,6 | 0,7 | 15,8 |

**Таблица 7. Циркониевое сырьё**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сырьё, место-рожде-ние | Содержание оксидов, % | | | | | | | | Потери при про-калива-нии, % |
| SiO2 | K2O | TiO2 | ZrO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO |
| Бадделе-ит, Бразилия | 0,69-0,19 | - | - | 96,84-98,9 | 0,13 | 0,37-0,82 | 0,21-0,06 | - | 0,98-0,28 |
| Циркон-фавас светло-коричне-вый, Бразилия | 15,35 | - | 0,51 | 81,64 | 0,9 | 1,00 | - | - | 0,63 |
| Циркон-фавас аспидно-серый, Бразилия | 2,05 | - | 0,56 | 92,87 | 0,7 | 3,50 | - | - | 0,52 |
| Циркон-фавас чистый, Бразилия | 0,48 | - | 0,48 | 97,19 | 0,4 | 0,92 | Сле-ды | - | 0,38 |
| Циркон, Шри Ланка | 33,86 | - | - | 64,25 | - | 1,08 | - | - | - |
| Циркон, Швеция | 32,44 | - | - | 65,76 | - | 0,42 | 0,09 | - | 0,46 |
| Циркон, Австра-лия | 30,00 | - | 2,08 | 65,42 | 1,2 | 0,44 | 0,14 | 0,22 | - |
| Циркон, Россия (Ильмен-ские горы) | 34,79 | - | 0,91 | 57,95 | 2,88 | 1,94 | 1,85 | - | 0,15 |
| Циркон, Россия (Вишнё-вые горы) | 32,63 | 0,48 | 1,22 | 63,53 | 0,37 | 0,88 | 0,61 | 0,07 | 0,35 |
| Циркон, Россия (Жданов) | 34,09 | 1,08 | Нет | 59,93 | 1,4 | 1,44 | 0,12 | - | - |

**Таблица 8. Тальки**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тальк | Содержание оксидов, % | | | | | Потери при прока-лива-нии, % |
| SiO2 | Al2O3+TiO2 | Fe2O3 | CaO | MgO |
| Онот-ский | 60,22-62,28 | 0,01-1,63 | 0,41-1,09 | Следы-0,5 | 31,02-32,99 | 5,9-4,92 |
| Шабров-ский (флотиро-ванный) | 57,66-58,65 | Следы-0,87 | 2,81-3,65 | Следы-0,19 | 31,95-32,5 | 7,06-6,25 |
| Миасский | 55,3-56 | 0,43-2,14 | 7,3-8,1 | 0,19-1,1 | 28,5-29,5 | 5,6-5,3 |
| Алгуй-ский | 68,4 | 0,25 | 0,27 | 0,08 | 25,9 | 3,8 |
| Кирги-тейский | 60,7-63,8 | 0,04-0,09 | 0,09-0,3 | 0,36 | 31,8 | 4,6-4,7 |

**Таблица 9. Показатели диоксида титана различных модификаций**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Моди-фикация | Сингония | Кажу-щаяся плот-ность, кг/м3 | Твёр-дость по Мо-осу | Показатель прелом-ления света по двум направ-лениям | | Тем-пера-тура пере-хода в ру-тил, 0С | TKl, 10-7 К-1 | εr |
| Ng\* | Np\*\* |
| Анатаз | Тетраго-нальная | 3900 | 5-6 | 2,55 | 2,49 | 915 | 0,47-0,82 | 31 |
| Брукит | Ромби-ческая | 3900-4000 | 5-6 | 2,70 | 2,58 | 753 | 1,45-2,29 | 78 |
| Рутил | Тетраго-нальная | 4200-4400 | 6 | 2,90 | 2,61 | >1000 | 0,71-0,92 | 89\* 173\*\* |

\* Максимальное значение

\*\* Минимальное значение

**Таблица 10. Технические требования к диоксиду титана различных марок**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка | Содержание оксидов, % | | | | | Нераство-римый остаток, % |
| TiO2 | SiO2 | Fe2O3 | SO3 | P2O5 |
| Конден-саторная | ≥99,0 | 0,28 | ≤0,10 | ≤0,05 | 0,5 | - |
| Пигмент-ная | 94-98 | - | - | - | 0,02-0,05 | - |
| Лигатур-ная | ≥99,5 | - | 0,13 | 0,04 | 0,05 | 0,5 |
| Специ-альная | ≥99,5 | 0,2 | 0,1 | 0,04 | 0,05 | 0,3 |

**Таблица 11. Электрофизические показатели стеклоэмалей**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер стекло-эмали | 104 tgδ при | | ρ, Ом·м, при 2000С | TKε, 10 К-1 | εr | Температура, 0С | |
| 200С | 2000С | Размягче-ния | Каплеобра-зования |
| 7 | 11 | 20 | 1010 | 70 | 10 | 560±10 | 820±10 |
| 272 | 10 | 12 | 1013 | 70,5 | 9 | 750 | - |
| 278-2 | 18 | 20 | 1013 | 70±5 | 9 | 710±10 | 840±10 |
| 43 | 23 | 25 | 5·1010 | 65±5 | 17 | 620±10 | 800±10 |
| 25 | 27 | 28 | 5·1010 | 77±5 | - | - | - |

**Таблица 12. Основные физико-химические свойства образца**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Плотность, кг/м3 | Твёрдость по Моосу | Микротвёрдость, ГПа | Модуль упругости, ГПа | ТКl, 10-6 К-1 |
| Алмаз | 3490-3540 | 10 | 10 | 90 | 0,9-1,45 |
| Кубический нитрид бора | 3440-3490 | 9,9 | 9,25 | 72 | 2,1-4,0 |
| Карбид кремния | 3200 | 9,0 | 3,3-3,6 | 36,5 | 6,5 |
| Электрокорунд | 3950 | 8,5 | 2,0-2,1 | - | 7,5 |

**Таблица 13. Составы для металлизации керамических материалов**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Керамический материал | Компоненты пасты | Состав пасты в %( по массе) |
| Стеатитовая керамика | Молибден  Железо | 98  2 |
| Форстеритовая керамика | Молибден  Марганец | 96  4 |
| Коррундомуллитовая керамика УФ-46 | Молибден  Марганец | 80  10:20 |
| Корундовая керамика | Алюмосиликатный плавень\*  Молибден  Марганец  Борид молибдена  Глазурь | 10  74  15  5  6 |

\* Добавляется при 100% марганца

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. **Электротехнические материалы**: Справоч­ник/В. Б. Березин, Н. С. Прохоров, Г. А. Рыков, А. М. Хайкин. М.: Энергоатомиздат, 1993. 504 с.

2. Никулин Н. В., Кортнев В. В. **Оборудова­ние и технология производства электротехнических конструкций.** М.: Энергия, 1999. 416 с.

3. Белинская Г. В., Выдрик Г. А. **Технология электровакуумной и радиотехнической керамики.** М.: Энергия, 1997. 336 с.

4. **Материаловедение и проблемы энергетики**: Пер. с англ./Под ред. Г. Ф. Мучника. М.: Мир, 1992. 576 с.

5. **Технология электрокерамики**/Г. Н. Маслен­никова, Ф. Я. Харитонов, Н. С. Костюков, К. С. Пи­рогов. М.: Энергия, 1994. 224 с.

6. Масленникова Г. Н., Харитонов Ф. Я., Дубов И. А. **Технологический расчет в керамике.** М.: Стройиздат, 1994. 224 с.

7. Балкевич В. Л. **Техническая керамика.** М.: Стройиздат, 1944. 255 с.

8. **Прозрачные поликристаллические керами­ческие материалы**/ Под ред. Г. А. Выдрика, Т. В. Со­ловьевой. Обзорная информация. Сер. Электротех­нические материалы. М.: Информэлектро, 1995. 49 с.

9. Попильский Р. Я., Пивинский Ю. Е. **Прес­сование порошковых керамических масс.** М.: Метал­лургия, 1993. 176 с.

10. **Абразивная и алмазная обработка мате­риалов**: Справочник/Под ред. А. Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1997. 392 с.

11. **Исследование и разработка материалов для реакторов термоядерного синтеза.** М.: Наука, 2000. 183 с.

12. **Синтез и исследование материалов на ос­нове силикатов и других тугоплавких соединений.** Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева. Вып. 123. М.: 1993. 298 с.

13. Лазарев В. Б., Соболев В. В., Шпалыгин И. С. **Химические и физические свойства про­стых оксидов.** М.: Наука, 1993. 254 с.

14. Костанян К. А., Геворкян X. О. **Керами­ческие и стеклянные диэлектрики в электронной технике.** Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1994, 204 с.

15. **Электрические изоляторы**/Под ред. Н. С. Костюкова. М.: Энергоатомиздат, 1994. 296 с.

16. Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения: **Справочник по свойствам и применению.** М.: Металлургиздат, 1993. 398 с.

17. Самсонов Г. В., Кулик О. П., Полищук В. С. **Получение и методы анализа нитридов.** Киев: Наукова думка, 2000. 317 с.

18. Андреевский Р. А., Спивак И. И. **Нитрид кремния и материалы на его основе.** М.: Металлур­гия, 1998. 136 с.