

2. Описание технологических процессов, используемых при производстве керамических изделий

Данный раздел подготовлен специалистами в химической технологии огнеупоров с использованием отечественных и зарубежных (прежде всего, Справочника ЕС по НДТ в производстве керамических изделий) источников информации.

2.1 Технологические процессы и способы производства керамических изделий

Керамику изготавливают из различного сырья, формуют различными способами, обжигают в печах разных типов, готовые изделия имеют разнообразную форму, размеры и цвет. Основные этапы производства изделий из керамики (технологические переделы) одинаковы для всех ее видов и включают массоподготовку (объединяет подготовку сырьевых материалов и формовочных масс), формование, сушку, обжиг (однократный или многократный в зависимости от вида изделия) и послеобжиговую обработку. Для изделий хозяйственно-бытового назначения, художественной керамики, санитарно-технических изделий и некоторых видов строительной керамики отдельной стадией является декорирование, которое может включать в себя ангобирование, глазурование и нанесение рисунков.

В текущем разделе представлена общая технология керамики, характерные технологические аспекты производства изделий в различных подотраслях рассмотрены далее (см. разделы 2.2 – 2.7)

2.1.1 Сырьевые материалы

В технологии производства керамических изделий применяют разнообразные сырьевые материалы, как природного, так и искусственного происхождения. Большинство таких материалов добывают и производят на территории России, некоторые виды сырья поставляют из-за рубежа.

Сырье для производства керамики по происхождению можно подразделить на две основные группы: природное и искусственное. Природное сырье после добычи направляют непосредственно в производство, при необходимости его предварительно сортируют, усредняют, обогащают. Искусственное сырье, отличающееся повышенным качеством и чистотой, получают в результате

глубокой, в первую очередь химической, переработки природных либо других искусственных материалов.

Сырье для производства керамики условно подразделяют на основное и вспомогательное. Основное преобладает по содержанию и в значительной степени определяет технологические свойства перерабатываемой массы, внешний вид и технические данные готового изделия. Вспомогательное регулирует отдельные свойства исходных масс, способствует оптимизации технологических процессов, снижает температуру обжига, улучшает отдельные характеристики готового продукта. Сырье может быть основным компонентом или вспомогательным в зависимости от технологии конкретного изделия. В качестве основного сырья может быть использован как один материал, например, глинозем (Al_2O_3) для изготовления корундовой керамики, так и несколько компонентов, например, глина, кварцевый песок и полевошпат для производства фарфоровых изделий [1; 2].

Глинами называют тонкодисперсные осадочные горные породы, состоящие в основном из гидроалюмосиликатных минералов и способные при замачивании водой образовывать легко деформируемую пластичную массу, которая при высыхании сохраняет приданную ей форму, а после обжига приобретает камнеподобное состояние. Кроме гидроалюмосиликатов в глинах присутствуют различные примеси [3].

Глины являются главным, а в ряде случаев - единственным компонентом формовочных масс в производстве керамического кирпича, плитки, шамотных огнеупоров, посуды, санитарно-технических изделий; в то же время глины используют как добавку в технологии карбидкремниевых огнеупоров, муллитокорундовой, стеатитовой, форстеритовой, кордиеритовой и других видов керамики. В состав масс для производства изделий на основе глин могут входить один или несколько ее видов, а также так называемые «отощающие» - непластичные компоненты (измельченный кварц, полевошпат и др.) [4].

Глины или глинистые породы (осадочные и сланцевые глины, тяжелые суглинки, мергель) в основном применяют в производстве кирпича. Органические добавки (опилки, отходы целлюлозно-бумажного производства, формованный полистирол) и неорганические вспомогательные вещества (кизельгур, перлит) вводят в изделия для увеличения объема пор. При производстве лицевого кирпича для получения требуемой окраски, а также увеличения пористости изделий в формовочную массу вводят оксиды металлов (MnO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3),

хромиты, а также известняк (CaCO_3), доломит (CaMgCO_3). Карбонат бария (BaCO_3) добавляют для уменьшения высолов. Эти добавки вводят в твердом или жидком виде непосредственно перед формованием или в процессе массоподготовки [5].

Керамическая плитка, хозяйственно-бытовая и санитарная керамика состоят главным образом из алюмосиликатов, главным компонентом сырьевых смесей при их производстве служат пластичные глины.

В состав сырьевых смесей для производства огнеупоров входят глина, шамот (прокаленная) обожженная и измельченная пластичная глина), некоторые природные минералы (кварцит, доломит, боксит, магнезит), а также искусственные материалы (корунд, карбид кремния и шпинель). Для получения формовочных масс к измельченному сырью добавляют связки и заполнители [1].

Выбор глин для конкретного производства обусловлен их технологическими свойствами, которые определяются их минеральным, химическим и зерновым составами [6].

В качестве отошителей и плавней (последние предназначены для снижения температур спекания различных масс и растекания глазурей) широко применяют кварц, полевые шпаты, в некоторых случаях – мел, доломит, волластонит и стеатит.

Так называемую техническую керамику, в которой доля глинистых компонентов может быть мала или вовсе отсутствовать, изготавливают из масс на основе искусственно получаемых оксидов и бескислородных соединений Al, Mg, Mn, Ni, Si, Ti, W, Zr и других металлов. Типичными примерами здесь выступают Al_2O_3 (глинозем), MgO (периклаз), SiC (карбид кремния), Si_3N_4 (нитрид кремния) и AlN (нитрид алюминия) [7; 8; 9].

Кроме перечисленных выше основных сырьевых материалов и вспомогательных веществ для производства керамических изделий необходимы временные технологические связки, огнеприпас для обжига изделий, топливо и сорбенты для очистки газообразных отходов. В качестве связок в процессе формования применяют растворы полимеров и масла. Огнеприпас представляет собой огнеупорные капсулы, плиты и стойки многоразового использования. Для очистки дымовых газов в абсорберах используют карбонат и гидроксид кальция, тонкоизмельченный мел [1, 8].

2.1.2 Общее описание производственного процесса

По общей схеме, сырьевые материалы смешивают, затем полученной массе прессованием, способами пластического формования или шликерным литьем придают заданную форму. Для улучшения качества смешения и формования используют воду, которая затем испаряется при сушке. Далее изделия загружают в печь (в случае печей периодического действия) либо пропускают через непрерывно действующую роликовую или туннельную печь (в последнем случае изделия предварительно помещают на вагонетки). В производстве шамота применяют вращающиеся печи.

В процессе обжига происходит необратимое изменение структуры материала, поэтому необходимо обеспечить правильный режим термообработки: скорость нагревания, продолжительность выдержки при максимальной температуре, скорость охлаждения. Важный фактор получения требуемых свойств изделий – правильно выбранная среда обжига. Готовую продукцию упаковывают и отправляют на склад до отгрузки потребителям.

Ниже описаны основные участки производства керамических изделий, а также переделы и варианты реализации технологического процесса [11-14].

2.1.3 Основные участки производства керамических изделий

2.1.3.1 Хранение и транспортировка сырья в пределах производственной площадки

Добычу глины, каолина, глинистых материалов, полевого шпата, кварца и большинства других видов сырья ведут закрытым (в шахтах) или открытым способом (в карьерах), в ряде случаев, в частности, в Московском регионе, глину добывают по берегам расположенных рядом с предприятием рек. Доставку сырья на предприятие осуществляют автомобильным либо железнодорожным транспортом.

Сырье в зависимости от его свойств и того, на какой стадии процесса оно применяется, хранят в открытых буртах или на складах, подразделяемых на боксы, крупнотоннажные питатели, смесительные, вылежные, раскислительные и сухие силоса. Некоторые материалы (например, глазури, фритты, каолины высокой степени обогащения) поставляются на предприятия упакованными в «биг-бэги».

Для производства кирпича и плитки на предприятии необходимо хранить значительное количество глины и минерального сырья, которое часто размещают

на открытой площадке. В ряде случаев, особенно при пластическом формовании, такое хранение в течение нескольких месяцев улучшает рабочие свойства глин. Этот технологический прием называется «раскисление» (летование) и особенно эффективен при хранении глин в течение нескольких сезонов [15].

Оборудование для транспортировки внутри производства выбирают, исходя из таких параметров, как зернистость материала, его насыпная плотность, сыпучесть, температура и влажность, требуемая производительность и доступные площади. Для перемещения кусковых и зернистых материалов применяют такие виды транспортных устройств, как ковшовые элеваторы, цепные, шнековые и пневмоконвейеры, тележки и кубели. Шликера и жидкие материалы подают по шликеропроводам или используют емкости, установленные на транспортных средствах. Полуфабрикаты и готовые изделия перемещают на тележках, в том числе многоярусных, ленточных конвейерах. [13; 14; 15].

Основными факторами воздействия на окружающую среду на данном технологическом участке оказываются организованные (устройства хранения) и неорганизованные (устройства перемещения) источники пыли, а также шум от работающего оборудования и техники. На данном участке возможно образование твердых производственных отходов, часть которых может быть возвращена в производство.

2.1.3.2 Подготовка сырьевых материалов

2.1.3.2.1 Первичное и вторичное дробление, измельчение и рассев

Грубое первичное дробление глин производят при помощи валковых дробилок и бегунов сжатием и истиранием.

Валковые дробилки широко применяют в технологии грубокерамических изделий для измельчения, выравнивания и гомогенизации глиняных частиц. Пары гладких параллельных друг другу роликов из закаленной стали вращаются в противоположных направлениях, сминая и расплющивая подаваемый между ними материал. Размер частиц определяется величиной зазора между валками.

Каменистое хрупкое твердое сырье, применяемое, например, в производстве огнеупорных изделий, измельчают при помощи щековых или конусных дробилок, принцип действия которых основан на сжатии кусков материала между подвижной и неподвижной твердой поверхностью.

Используют также молотковые дробилки, в которых измельчение достигается за счет ударного воздействия: куски подаваемого в дробилку материала разбиваются при соударении с быстро вращающимися молотками.

Бегуны мокрого и сухого размола используют для дробления и грубого помола более пластичных материалов. Бегуны с перфорированным подом обеспечивают получение частиц строго определенного размера, бегуны мокрого помола также позволяют смешивать глину с вводимой водой.

Ножевые глинорезки применяют при подготовке пластичного сырья. Глинорезки представляют собой бункер с отверстиями, внутри которого помещаются ножи. Куски глины выходят из отверстий в виде стружки [14].

2.1.3.2.2 Сухой или мокрый помол (измельчение)

Описанный выше процесс дробления позволяет получать частицы размером более 0,5 мм. Для производства большинства видов изделий необходимо дальнейшее уменьшение размеров частиц. Тонкий помол производят в шаровых мельницах непрерывного или периодического действия, представляющих собой горизонтально расположенный барабан со свободно падающими мелющими телами из износостойкой керамики.

Шаровые мельницы широко применяют в производстве керамической плитки, санитарно-технических изделий, посуды, изоляторов. Конечные размеры частиц, получаемые при их использовании – менее 100 мкм [11].

2.1.3.2.3 Сухой рассев (воздушная классификация)

Для улучшения определенных свойств керамики (например, плотности) зачастую необходимо смешивать порошки с определенным размером частиц. При сухом севе обычно используют вибросита с электроподогревом во избежание их засорения и скопления материала.

Также для разделения частиц по крупности применяют воздушные сепараторы и классификаторы на основе циклонов. В обоих случаях слишком крупные частицы возвращают на стадию измельчения [12].

2.1.3.2.4 Распылительная сушка

Этот прием обезвоживания и гранулирования широко распространен в производстве керамической плитки, технической керамики и огнеупоров. Суспензию материала после мокрого помола в шаровой мельнице (содержание твердой фазы порядка 60 - 70 %) распыляют под давлением в виде мелких капель, в емкости (башне) которая нагревается газовыми горелками до

температуры 350 – 500 °С. При высыхании каплеуловитель образуются узко фракционированные гранулы более или менее сферической формы с влагосодержанием от 5,5 до 7 %; полученный порошок обладает высокой текучестью и обеспечивает лучшее заполнение пресс-форм [16].

2.1.3.2.5 Прокаливание

Ряд сырьевых материалов для улучшения свойств подвергают предварительному прокаливанию (обжигу) во вращающихся, туннельных или шахтных печах. К примеру, некоторые сырьевые материалы (доломит, магнезит) для производства огнеупоров необходимо обжигать при повышенных, более 1800 °С, температурах. Применение прокаленных глин (например, каолина) уменьшает усадку заготовок, способствуя более точному соблюдению размеров изделия и ускорению обжига.

2.1.3.2.6 Искусственное сырье

Следует отметить, что хотя некоторые виды искусственных материалов (например, карбид кремния) поставляются специализированными компаниями, тем не менее, подобное сырье чаще всего необходимо подвергать измельчению.

2.1.3.2.7 Фритты и глазури, приготовление глазурей

При производстве керамической облицовочной и напольной плитки применяют стеклообразные сырьевые материалы (фритты). Фритты – это стекловидные компоненты, нерастворимые в воде и получаемые из кристаллических веществ плавлением (остекловыванием) при повышенных температурах (до 1500 °С) с последующей закалкой. Фритты поставляют на предприятия по производству керамической плитки специализированные фирмы-производители.

Помимо фритт основными компонентами глазурей являются кремнезем (стеклообразователь), флюсы (щелочи, щелочные земли, бор, свинец и др.), глушители (цирконий, титан и т. д.) и красители (железо, хром, кобальт, марганец и т. п.).

При приготовлении глазурей фритту и добавки обычно измельчают в шаровой мельнице периодического действия до получения заданной величины остатка на сите, пропускают через вибросита и регулируют характеристики глазурной суспензии в соответствии с принятым способом нанесения глазури.

Составы глазурей в зависимости от вида и свойств готовой продукции, температуры обжига, а также желаемых эффектов могут быть различными [1; 8].

2.1.3.3 Смешивание компонентов и получение формовочных масс

Продолжительность, порядок и интенсивность смешения оказывают значительное влияние на свойства массы, и, следовательно, конечного продукта. Подготовленные сырьевые материалы в заданном соотношении – шихту смешивают и гомогенизируют до получения требуемой однородности смеси. В различных отраслях производства керамических изделий смешивание может быть как непрерывной высокопроизводительной операцией, так и тщательно контролируемым периодическим процессом, проводимым в небольших объемах. Дозирование может быть объемным (например, при помощи устанавливаемых на ленточном конвейере ящечных питателей) и массовым (при помощи винтовых питателей, связанных с весовым транспортером).

Для большинства операций по формованию применяют массы с определенным содержанием воды или связки. Такие добавки, как пигменты, пеногасители и связующие также необходимо тщательно распределять. При производстве огнеупоров свойства некоторых видов изделий оптимизируют путем подбора зернового состава шихты. В настоящее время широко применяют автоматическое дозирование при помощи питателей с электронным управлением, что позволяет быстро регулировать состав массы [1, 6].

Смесители непрерывного действия. Двухвальные смесители широко распространены в технологии кирпича и огнеупоров и представляют собой корыто, где установлены вращающиеся навстречу друг другу валы. На валах жестко закреплены лопасти или ножи, что обеспечивает интенсивное перемешивание массы. Расположение лопастей на вращающихся валах обеспечивает продвижение массы к разгрузочному отверстию.

Для глубокого перемешивания глины с водой и вводимыми добавками применяют бегуны, их истирающее действие было описано выше. При сухом смешении вращается под, а ось катков (тяжелые стальные или гранитные колеса холостого хода) неподвижна; при мокром – под неподвижен, а катки вращаются вокруг вертикальной оси.

Стругачи (упомянуты выше) выполняют двойную функцию, обеспечивая как измельчение сырьевых материалов, так и их тщательное перемешивание.

Смесители периодического действия. Для подготовки пластичных масс обычно используют Z-образные смесители. Существуют разные конструкции таких

устройств, однако все они действуют по принципу стругания и перемешивания. Эти смесители могут применяться и для более сухих порошков.

Барабанные смесители применяют для перемешивания достаточно сухих материалов с частицами примерно одинакового размера. После загрузки барабан вращают в течение необходимого времени. Чаще всего в роли барабанных смесителей выступают шаровые мельницы.

Смесители с вращающейся чашей действуют по тому же принципу, что и большие бетономешалки. Их загрузку индивидуальными компонентами в отмеренных количествах производят во время вращения чаши, для более глубокого перемешивания используют скребки, лопатки и экраны. В подобных смесителях перемешивают гранулированную глину с высокодисперсными порошками.

Глиномешалки представляют собой устройства с неподвижной чашей и вращающимся центральным валом, на котором установлены вращающиеся лопасти или ножи, совершающие планетарное движение по дну чаши. Эффективность смешения в глиномешалках такая же, как и в смесителях с вращающейся чашей.

Смесительные бассейны, оснащенные лопастными или пропеллерными мешалками, применяют для смешивания различных видов литевых шликеров и суспензий. Хотя в состав шликеров обычно вводят стабилизаторы, перемешивание в смесительном бассейне или в резервуаре для хранения шликера необходимо продолжать во избежание образования осадка [5; 13; 14].

При подготовке сырьевых материалов возможно образование эмиссий различного характера. Прежде всего, сюда относятся организованные и неорганизованные выбросы пыли, связанные с работой измельчительного и смесительного оборудования. В случае применения «мокрых» способов подготовки сырья и масс возможно образование сбросов производственных сточных вод. Процессы, предполагающие тепловую обработку сырья или масс (прокаливание, распылительная сушка), могут сопровождаться выбросами газообразных веществ в результате как сгорания топлива, так и физико-химических превращений, протекающих в самом материале. Значимым фактором на данном перееделе также оказывается шум. Образующиеся на данной стадии твердые производственные отходы практически полностью возвращаются в производство, за исключением отработанных узлов и деталей оборудования (фильтры, мелющие тела и пр.), которые требуют утилизации.

2.1.3.4 Формование изделий

Изделия традиционной керамики всегда формовали из сырьевых материалов, находящихся в пластичном состоянии, и в течение нескольких тысячелетий эту операцию выполняли вручную. В настоящее время применяются строгие требования к таким свойствам изделий, как постоянство размеров, плотность, прочность, долговечность, термостойкость и т. д. В некоторых случаях на первый план выходят также эстетические качества. Способ формования заготовок оказывает большое влияние на свойства конечного продукта, поэтому в различных отраслях производства керамических изделий возникло множество приемов формования [1, 8].

2.1.3.4.1 Полусухое прессование

Прессование на механических прессах. Этот способ до сих пор применяют при изготовлении кирпича (полусухое прессование) и огнеупоров. В форму загружают определенный объем пресс-порошка и прикладывают давление сверху и снизу, движение штампов осуществляется эксцентриком при помощи тяжелых маховиков.

Прессование на фрикционных прессах. Механические фрикционные (винтовые) прессы применяют, в основном, при производстве огнеупоров, хотя их постепенно вытесняют гидравлические прессы.

Прессование на гидравлических прессах. Современные гидравлические прессы обеспечивают высокое усилие сжатия, хорошую производительность, постоянное качество и легко поддаются настройке. Многие модели прессов оборудуют электронными устройствами контроля, которые позволяют контролировать высоту заготовок и автоматически изменять режим работы прессы для обеспечения постоянства размеров. Такие прессы несложно регулировать для удовлетворения различных требований, включая прессование по программируемым режимам, применяемое при изготовлении огнеупорных изделий сложной формы. Гидравлические прессы широко используют при формовании плоских изделий. При производстве керамической плитки увлажненный порошок (влажность 5 – 7 %) прессуют в неглубоких формах. Давление прессования составляет 25 – 45 МПа для производства строительной керамики и до 100 МПа для производства некоторых видов технической керамики.

Ударное прессование (трамбование). Трамбование представляет собой высокоэнергетическое формование путем пневмомеханического

высокоскоростного удара штампом по засыпанному в форму порошку. Этот прием обычно используют при производстве специальных огнеупорных изделий.

Изостатическое прессование. Некоторые виды изделий сложной формы высокого качества требуют равномерного уплотнения, добиться которого можно путем приложения давления со всех сторон заготовки. При использовании пресса-изостата порошок загружают в полости между металлической или пластмассовой формой и герметичной резиновой оболочкой. Давление на порошок передают через жидкость (воду или масло) и резиновую оболочку, в результате чего происходит обжатие заготовок по большой площади поверхности. После сброса давления заготовки выгружают из форм. Этот способ применяют в производстве огнеупоров и технической керамики, а также при изготовлении посуды сложной плоской формы. Используют изостаты (гидростаты), развивающие рабочее давление прессования до 200 МПа.

2.1.3.4.2. Пластическое формование

Пластическое формование – способ формирования масс, находящихся в состоянии пластичности. Для пластичных формовочных масс на основе глин характерно содержание связки (влажность) 15 – 25 %. Основные разновидности пластического формования: протяжка, раскатка, штамповка.

Протяжку (экструзию) широко применяют при производстве керамического кирпича и камня. Этот процесс также используют для получения полуфабрикатов – «валюшек» с последующей допрессовкой (штамповкой) при изготовлении огнеупорных изделий и полуфабрикатов для формования изоляторов. Протяжка – основной способ формирования длинномерных изделий постоянного сечения (труб, некоторых видов плиток).

Такой способ удобен для организации непрерывного выпуска с высокой производительностью и хорошо подходит для изготовления перфорированных изделий, включая крупные легковесные строительные материалы.

Наиболее распространенный экструдер или ленточный пресс (пресс-агрегат) – аппарат, оснащенный смесителем, вакуумной камерой и собственно шнековым прессом со сменным формующим мундштуком. Вакуумирование повышает пластичность массы и облегчает получение бездефектных заготовок. Формующее давление составляет от 1,5 до 10 МПа. В технологии технической керамики применяют поршневые экструдеры.

Для формования плоской и некоторых видов полой посуды (тарелок, блюдца, пиал и т. п.), имеющих форму тел вращения, используют раскатку

пластичных заготовок на гипсовых или пластмассовых формах с помощью формирующих роликов или шаблонов. Прообразом современных полуавтоматов и формирующих узлов автоматизированных линий являлся гончарный круг.

2.1.3.4.3. Шликерное литье

Этот способ широко распространен в производстве в основном полых (оболочковых) изделий в сложной формы: посуды, декоративных и санитарно-технических изделий, а также огнеупоров особого назначения и технической керамики. Тонкоизмельченный материал затворяют водой до образования шликера, которую заливают в пористую форму, обычно изготавливаемую из гипса. За счет капиллярного всасывания на внутренней поверхности формы происходит удаление воды из шликера и образование плотной отливки. При достижении необходимой толщины стенки шликер сливают и образовавшуюся в форме заготовку выдерживают до набора прочности необходимой для ее извлечения из формы. Такой способ шликерного литья называют сливным и используют для формирования тонкостенных изделий. При наливном способе, используемом для формирования толстостенных изделий, масса набирается в полости между двумя стенками формы и полностью ее заполняет.

Санитарно-технические изделия имеют довольно большие размеры. Поэтому их формируют как обычным литьем в гипсовых формах, так и на установках для литья под давлением с использованием полимерных форм. Шликерное литье под давлением (0,3 – 1 МПа) позволяет ускорить набор массы в несколько раз и приводит к образованию более качественных полуфабрикатов.

Для формирования малогабаритных изделий технической керамики сложной формы из непластичных материалов (оксидов, карбидов, нитридов и т. д.) используют способ горячего литья шликеров на основе расплавов термопластичных полимеров (парафина, воска, полиэтилена и др.). Шликер впрыскивают в металлическую форму, охлаждаемую естественным или принудительным образом. В результате полимеризации заготовка в течение короткого времени приобретает достаточную прочность для извлечения из формы и механической обработки. Недостатком способа является необходимость организации отдельной и длительной стадии удаления связки, сопровождаемого выделением вредных веществ разлагающихся полимеров.

Обсуждая факторы воздействия на окружающую среду на участке формирования, в первую очередь следует упомянуть выбросы пыли и шум,

характерные для полусухого прессования. Образование сбросов производственных сточных вод возможно в случае использования методов формования из влажных масс – пластического способа и шликерного литья. Образующиеся на данной стадии твердые производственные отходы представляют собой брак полуфабриката, который полностью возвращается в производство, и отработанные формы (пресс, литьевые), которые, как правило, размещают на полигонах.

2.1.3.5. Сушка

Сушкой называют технологическую стадию, на которой происходит процесс удаления влаги из полуфабриката испарением. Так как временная технологическая связка обычно вводится в материал в виде водных растворов (в материал на основе глин – в виде воды), то сушка характерна для подавляющего большинства технологий керамики.

Для удаления воды из полуфабриката используют следующие виды сушки: контактную, конвективную, радиационную (в том числе сушку ИК- и СВЧ-излучением). В некоторых технологиях (например, в технологии электроизоляторов) используют сушку пропусканием через массивный полуфабрикат переменного электрического тока.

Наиболее распространена конвективная сушка с помощью передачи тепла полуфабрикату теплоносителем (горячим воздухом).

В современной технологии керамики существует необходимость оптимизации сушки с точки зрения повышения скорости, термической эффективности и снижения потерь. Во всех процессах, за исключением длительных и мягких режимов сушки, необходимо тщательно контролировать скорость нагревания, режим циркуляции воздуха, температуру и влажность в сушиле. Горячий воздух в сушила подают в основном от газовых горелок или из зоны охлаждения печей.

Керамические массы могут обладать различной чувствительностью к сушке (невозможность высушить образец из данной массы без образования трещин), однако на подавляющее их большинство благотворно влияет предварительный прогрев в условиях повышенной влажности (с минимальным или полностью отсутствующим удалением влаги), за которым следует основной этап сушки более горячим и сухим воздухом. Остаточная влага из полуфабриката удаляется особенно тяжело, требуя применения наиболее сухого и горячего воздуха.

Продукция различных отраслей производства керамических изделий имеет значительные различия по своей природе и размерам, поэтому для удовлетворения производственных нужд были разработаны различные конструкции сушилок [17].

2.1.3.5.1. Сушила с горячим подом для контактной сушки

Подобное оборудование в настоящее время не имеет большого распространения, поскольку практически не поддается автоматизации. Этот способ сушки удобен для крупных заготовок сложной формы, в частности, некоторых видов огнеупоров. В этих сушилах тепло подается напрямую к основанию установленных на обогреваемый под полуфабрикатов и передается по воздуху путем конвекции. Поперечная циркуляция воздуха минимальна, поэтому скорость удаления влаги со всех поверхностей полуфабриката мала, что позволяет избежать возникновения в нем нежелательных напряжений.

2.1.3.5.2. Камерные сушила периодического действия для конвективной сушки

Эти устройства представляют собой ряд камер с шлюзовыми дверями, загрузка которых обычно осуществляется вагонетками на рельсовом ходу. На вагонетки с одинаковым интервалом устанавливаются сушильные поддоны или полки.

Керамические полуфабрикаты (кирпичи, блоки, огнеупоры) садят на полки и отправляют загруженные вагонетки в камеры, которые после заполнения герметично закрывают. На современных заводах эта операция полностью автоматизирована. Температуру в камерах повышают с контролируемой скоростью либо непосредственно – путем нагнетания горячего воздуха, либо опосредованно, путем передачи тепла от нагретых поверхностей. Для повышения эффективности сушки используют принудительную циркуляцию воздуха. Передача тепла происходит в основном конвекцией, в малой степени – излучением от горячего воздуха и нагретых поверхностей. При сушке некоторых видов керамики применяют особые тепло-влажностные режимы, которые легче осуществить в камерных сушилах.

Камерные сушила удобны в тех случаях, когда полуфабрикаты имеют повышенную влажность и различную форму или производство является периодическим. Строительство дополнительных камер также не представляет особой сложности.

2.1.3.5.3. Туннельные сушила непрерывного действия для конвективной сушки

Эти устройства представляют собой длинный туннель (туннели), через который проталкивают цепь сушильных вагонеток с полуфабрикатами. На разгрузочном конце в туннель подают воздух, имеющий относительно высокую температуру, который при помощи одного или нескольких вентиляторов гонят в направлении погрузочного конца. В ходе перемещения по туннелю происходит передача тепла из воздуха к изделиям и повышение его влажности за счет удаления влаги из полуфабрикатов. Обычно устанавливают вентиляторы принудительной циркуляции по различным сечениям туннеля, тем самым увеличивая турбулентность теплоносителя и повышая эффективность сушки. Длина туннеля зависит от заданной скорости прохождения изделий и влагосодержания материала. Несмотря на ограниченные возможности точного регулирования тепло-влажностного режима, туннельные сушила широко используют в высокопроизводительных производствах кирпича и санитарно-технических изделий.

2.1.3.5.4. Вертикальные корзинные сушила для конвективной сушки

Вертикальные сушила, как правило, используют на плиточном производстве. Отпрессованные полуфабрикаты загружают в корзины, состоящие из нескольких ярусов роликов. Корзины движутся в сушилке вертикально вверх, навстречу горячим газам, затем спускаются для подачи в печь. Температура в таких сушилках обычно не превышает 200 °С, продолжительность сушки составляет 35 – 50 мин.

2.1.3.5.5. Горизонтальные многоярусные роликовые сушила для конвективной сушки

Подобные сушила также широко распространены в производстве керамической плитки. Горизонтальные сушила устроены по тому же принципу, что и роликовые печи. Отдельные прессованные полуфабрикаты загружают на различные ярусы в сушиле и перемещают в горизонтальной плоскости при помощи вращающихся роликов. Горячий воздух для сушки поступает от расположенных по периферии сушила газовых горелок и движется в противотоке к садке.

Предельная температура в таких сушилах обычно выше, чем в вертикальных (около 350 °С), а процесс сушки короче и занимает от 15 до 25 мин.

Технологический участок сушки характеризуется, прежде всего, выбросами неорганических газообразных веществ, образующихся в процессе сгорания топлива (CO, NO_x, SO₂). Также сушилка являются малозначимым организованным источником пыли. Твердые производственные отходы, образующиеся на данном участке, включают пыль и брак изделий, которые возвращают в голову процесса.

2.1.3.6. Обработка поверхности и декорирование

2.1.3.6.1. Текстурирование поверхности изделий

Нанесение текстуры на поверхность керамических изделий может иметь практическое значение, например, при выпуске керамической плитки для полов.

Также поверхность изделий текстурируют для улучшения их внешнего вида. Так, на изделия пластического формования текстуру наносят рустикацией глиняного бруса либо при помощи или резиновых лент с рельефом.

Сырец прессованного кирпича, как правило, отличается значительной прочностью, поэтому после сборки палетты на ленте конвейера поверхность такого кирпича «огрубляют» дисковыми пилами или текстурируют иным способом [5; 16].

2.1.3.6.2. Нанесение покрытий

В ряде случаев кирпич и керамические камни, полученные прессованием или пластическим формованием, покрывают песком или иными измельченными минералами с лицевой и изнаночной стороны при помощи распылительных пистолетов. Для повышения эстетических качеств изделий в песок вводят пигменты.

2.1.3.6.3. Ангобирование, глазурирование и другие техники декорирования

Ангобирование применяют в основном при изготовлении облицовочной и напольной плитки, иногда ангобируют кирпичи и декоративные изделия. Ангоб – непрозрачное покрытие из белой или окрашенной тонкозернистой глинистой суспензии обычно наносят на сырые или высушенные полуфабрикаты. В ходе ангобирования покрывают всю или только видимую поверхность полуфабриката методом полива, распыления или окунания. Также ангобом покрывают огнеприпас (полки обжиговых вагонеток) во избежание прилипания к ним изделий в обжиге.

Глазурирование наиболее широко применяют при производстве облицовочной и напольной плитки, санитарно-технических изделий, посуды, изоляторов, ограниченных партий кирпича. Компоненты глазури – в случае

керамической плитки это, как правило, фритты, пигменты, каолин, глины – тонко измельчают и распускают в воде для получения глазурной суспензии. Вязкость и другие параметры суспензии подбирают в соответствии со способом нанесения глазури (распылением, поливом, окунанием, сухим глазурованием). На эту стадию заготовки подают после упрочнения путем уфельного обжига (за исключением санитарно-технических изделий, изоляторов и некоторых видов керамической плитки) и в ходе глазурования наносят на их поверхность сплошное гладкое прозрачное или непрозрачное (глухое) в зависимости от состава глазури покрытие, при плавлении которого формируется стеклообразный слой.

Традиционным приемом декорирования керамической плитки, благодаря простоте применения в технологическом процессе, является шелкография. Этот способ представляет собой печать рисунка при помощи одного или нескольких трафаретов (туго натянутая сетка с определенной ячеистостью). Поверхность трафарета покрыта пленкой, кроме отверстий, соответствующих рисунку. Для продавливания краски через эти отверстия служит специальный ракель. В современных производствах плитки шелкографию применяют в основном для получения надглазурных рельефных декоров.

Иными примерами декорирования могут служить роликовая печать («ротоколор») и флексография. При этих способах рисунок формируют непосредственно на поверхности одного или нескольких роликов, которыми наносят краску на изделие. В последнее время находит все более широкое применение технология струйной печати. Посуду часто декорируют вручную (росписью) или с использованием деколей [1, 8].

Ключевым фактором воздействия на окружающую среду на участке декорирования оказывается образование сбросов производственных сточных вод, содержащих значительное количество взвешенных веществ. Возврат твердых производственных отходов (брак полуфабриката и изделий, высушенный шлам ангоба, глазури) с данной стадии технологического процесса в производство возможен не всегда, в большинстве случаев требуется их утилизация. Твердые производственные отходы в виде вспомогательных материалов (отработанные ролики, сетки, емкости из-под глазурных суспензий) также требуют утилизации.

2.1.3.7. Обжиг

Обжиг – это ключевая операция при производстве керамических изделий, поскольку в ходе обжига формируются все эксплуатационные характеристики

готовой продукции: механическая прочность, износостойкость, постоянство размеров, химическая и термическая стойкость.

Шихта для изготовления изделий из керамики – это, как правило, сложные по составу смеси глинистых и иных минералов, в частности, кварца, полевых шпатов, карбонатов, гипса, оксидов железа, иногда содержащие примеси органических веществ. Для изготовления огнеупоров применяют разнообразное, в том числе неглинистое минеральное сырье с использованием специальных добавок и связующих (к числу которых также относятся некоторые виды глин). При обжиге изделий на основе глин в интервале температур 100 – 200 °С происходит удаление остатков влаги. Окисление органических включений и пирита протекает при температуре 300 – 500 °С, удаление воды, химически связанной в структуре глинистых минералов («кристаллизационной» воды) – в интервале температур 500 – 600 °С, а разложение карбонатов (кальцита, доломита), сопровождаемое выделением CO₂, – при температуре 750 – 900 °С. При температуре 573 °С, происходит полиморфное превращение кварца.

На высокотемпературной стадии обжига керамических изделий в пористом полуфабрикате происходит процесс спекания, чаще всего протекающий с активным участием жидкой фазы. Жидкая фаза в материале образуется в результате плавления специально введенных в сырьевую шихту плавней – веществ с относительно низкой температурой плавления (например, полевых шпатов), либо образования легкоплавких эвтектик (например, при введении в шихту карбонатов). Образующийся расплав смачивает зерна кристаллических фаз и, под действием сил поверхностного натяжения стягивает их друг к другу.

Высокотемпературная выдержка способствует полноте процесса спекания, который сопровождается образованием прочных контактов между зернами (упрочнением изделия) и уменьшением размеров изделия (усадкой) за счет уменьшения пористости. Линейная усадка изделий обычно составляет 10 – 15 %.

На стадии охлаждения изделий жидкая фаза может кристаллизоваться или переходить в состоянии стекла.

Жидкофазное спекание характерно для процессов обжига строительной керамики, санитарно-технических изделий, посуды, изоляторов.

Многие виды изделий технической керамики и огнеупоров спекаются по механизму твердофазного спекания. В этих случаях для облегчения диффузионных процессов в сырьевую шихту вводят добавки-активаторы спекания, способствующие образованию твердых растворов [1].

Ниже представлены типичные интервалы температур обжига различных видов керамических изделий (см. таблицу 2.1) [1]

Таблица 2.1 – Типичные температуры обжига некоторых керамических изделий

Температурный интервал, °С	Основное сырье	Изделия	Область применения
900 – 1050	Глины	Кирпич	Строительная керамика
950 – 1050*	Глины	Майоликовая посуда	Хозяйственно-бытовая керамика
980 – 1080	Глины	Плитка	Строительная керамика
1180 – 1220	Глины, каолины, кварцевый песок, полевые шпаты	Керамогранит	Строительная керамика
1200 – 1250	Глины, каолины, кварцевый песок, полевые шпаты	Санитарно-технические изделия	Строительная керамика
1250 – 1420*	Глины, каолины, кварцевый песок, полевые шпаты	Фаянсовая и фарфоровая посуда	Хозяйственно-бытовая керамика
1300 – 1430	Глины, каолины, кварцевый песок, полевые шпаты	Фарфоровые изоляторы	Техническая керамика
1350 – 1400	Глины	Шамотные огнеупоры	Огнеупоры
1550 – 1750	Глинозем	Корундовая керамика	Техническая керамика
1700 – 1900	Нитрид кремния	Керамика из нитрида кремния	Техническая керамика

Обжиг керамических изделий обычно проводят в печах, оснащенных газовыми горелками, или электронагревателями из металлических сплавов, графита, керамики (карбида кремния, хромита лантана, дисилицида молибдена).

2.1.3.7.1. Печи периодического действия

К ним относятся печи с выкатным подом и колпаковые печи, которые представляют собой одиночную камеру, куда загружают предварительно высушенные заготовки. В колпаковых печах колпак, оборудованный нагревательным элементом, устанавливают на под при помощи подъемного устройства, в печах с выкатным подом садку помещают в рабочее пространство печи на вагонетках. После загрузки печь герметично закрывают и обжигают изделия по заданному режиму. В качестве источника тепла обычно служат газовые горелки, конструкция печей позволяет четко контролировать температуру и характер среды (окислительный или восстановительный).

В производстве огнеупоров, технической керамики также используют газовые камерные печи с садкой изделий в капсулы – огнеупорные коробки, защищающие изделия от потоков раскаленных газов и непосредственного влияния дымовых газов.

Для обжига изделий технической керамики используют вакуумные шахтные печи нагревателями из графита, вольфрама или молибдена, развивающие температуру до 2200 – 2500 °С. Часто обжиг в таких печах ведут в среде азота или инертных газов (аргона, гелия).

Для получения особо плотных изделий технической керамики простой формы используют прессы горячего прессования с графитовыми нагревателями, для обжига изделий сложной формы – изостаты – печи электросопротивления, способные создать давления газа (азота или инертных газов) до 200 МПа.

Печи периодического действия применяют при небольших объемах производства для выпуска специализированных изделий (кирпича особой формы, фитингов, огнеупоров и т. д.). Главное достоинство таких печей – возможность гибко регулировать технологический процесс, особенно при частой смене продукции, что до некоторой степени компенсирует их сравнительно низкую энергоэффективность. На рисунке 2.1.1 представлен поперечный разрез печи с выкатным подом.

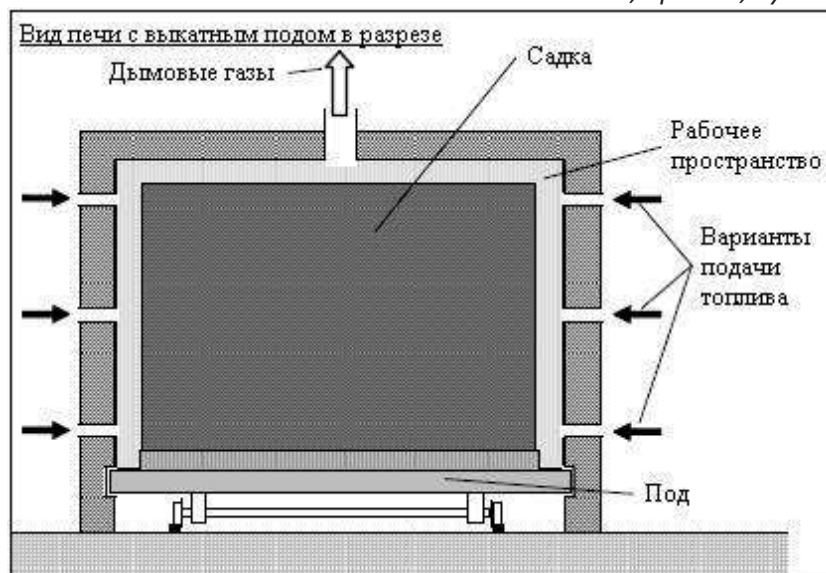


Рисунок 2.1.1 – Вид в разрезе печи с выкатным подом

2.1.3.7.2. Непрерывно действующие печи

Кольцевые печи (печи Гофмана). Эти печи состоят из ряда соединенных между собой камер, которые последовательно заполняют высушенными изделиями (например, кирпичом), герметично закрывают и обжигают в псевдонепрерывном режиме, при этом горячие газы поступают из первой камеры в следующую по дымоходам и через отверстия между камерами. Такая схема позволяет осуществлять предварительный обогрев изделий и охлаждение дымовых газов, что повышает энергоэффективность печи и ведет к снижению затрат по сравнению с печами периодического действия. В настоящее время для обогрева таких печей в основном используют газ, местами выполняют верховую загрузку опилками, углем или мазутом. Печи Гофмана применяют при выпуске особых видов продукции, в частности, окрашенного кирпича. Печи Гофмана считаются устаревшими, но в ряде случаев используются для обжига кирпича, в частности, в модернизированном виде с подъемным сводом, через который осуществляется разгрузка и выгрузка изделий.

Туннельные печи. Эти печи представляют собой сконструированные из огнеупорных материалов туннели, в которых проложены рельсы для перемещения вагонеток. На вагонетках устроены огнеупорные полки, куда в определенном порядке загружают изделия. Вагонетки проталкивают вдоль печи через определенные интервалы против движения воздуха, нагнетаемого одним или несколькими вентиляторами в вытяжной канал вблизи устья печи. Большая часть современных туннельных печей обогревается газом, максимальная

температура создается в зоне обжига около центра печи. По мере своего движения входящая садка прогревается горячими топочными газами, а выходящая охлаждается при обдуве подаваемым в печь воздухом, который при этом подогревается. Часть воздуха из зоны охлаждения отбирают в смежные сушилки, что обеспечивает существенную экономию топлива.

Канал печи и вагонетки обычно изолируют от подсоса воздуха извне при помощи песчаного затвора с целью снизить продолжительность обжига и энергопотребление путем создания герметичного рабочего пространства печи. В последнее время разработаны конструкции печей с водяной и механической изоляцией [18].

В ряде случаев туннельные печи, оснащенные особыми видами транспортных устройств (например, контейнерами-лодочками) используют для обжига сырья и изделий технической керамики.

На рисунках 2.1.2 и 2.1.3 представлены схема и поперечный разрез туннельной печи.

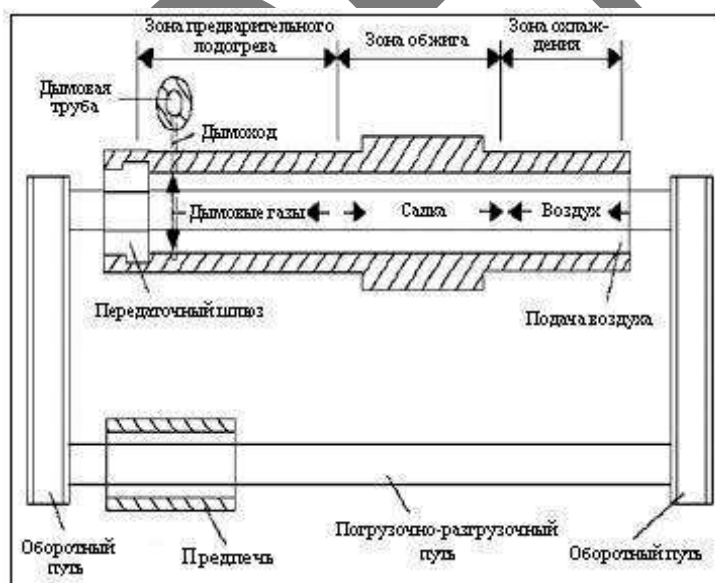


Рисунок 2.1.2 – Схема туннельной печи

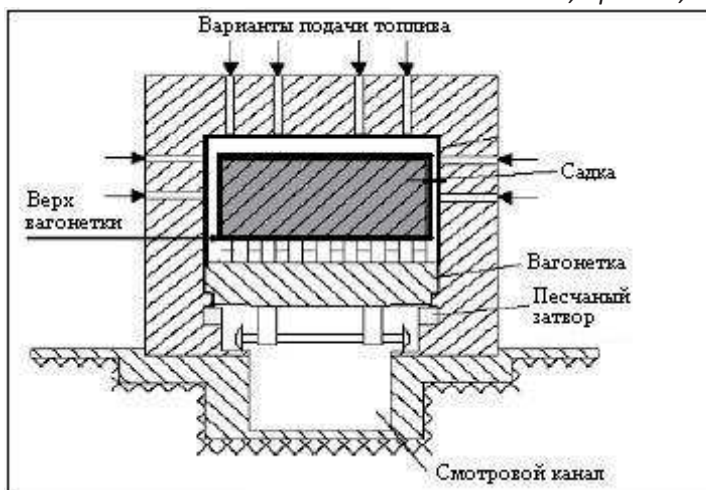


Рисунок 2.1.3 – Вид туннельной печи с вагонеткой в разрезе

Роликовые печи. В настоящее время одноярусные роликовые печи находят практически повсеместное применение в производстве облицовочной и напольной плитки, продолжительность обжига в них обычно составляет менее 40 мин. Плитка движется по вращающимся роликам, для обогрева служат горелки на природном газе, установленные по периферии печи. Основными механизмами передачи тепла являются конвекция и излучение, а поскольку такие печи оборудуют открытыми горелками, это ведет к повышению коэффициента теплопередачи, и как следствие, к снижению продолжительности обжига и энергопотребления. Роликовые печи также применяют при производстве черепицы, керамических труб, санитарно-технических изделий и посуды. Ниже показан поперечный разрез роликовой печи (рисунок 2.1.4).

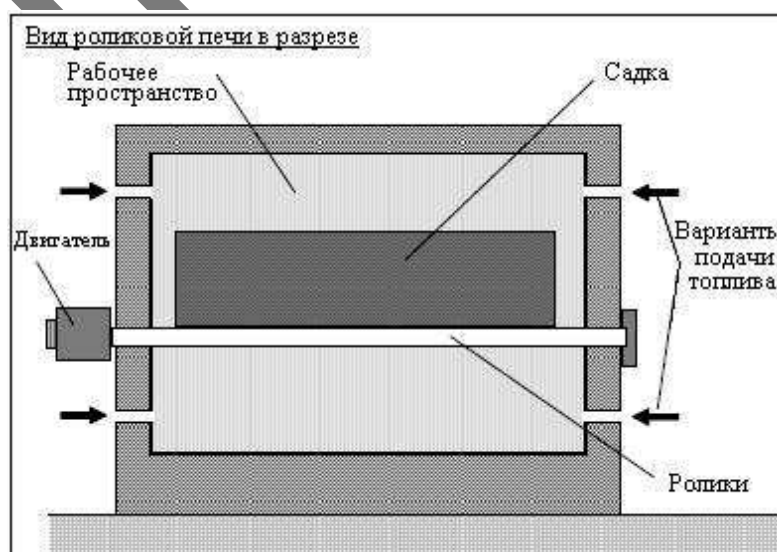


Рисунок 2.1.4 – Вид роликовой печи в разрезе

Туннельные печи с движущимся подом. Эти печи также служат для скоростного обжига и действуют по тому же принципу, что и роликовые. Основное их отличие сводится к тому, что садку размещают на огнеупорных «тележках»,двигающихся по проложенным вне рабочего пространства печи рельсам. В туннельных печах с движущимся подом можно обжигать изделия различной, в том числе неправильной, формы, а в роликовых – изделия только правильной формы.

Вращающиеся печи. Вращающаяся печь имеет форму длинного цилиндра, как правило, расположенного под уклоном и медленно вращающегося вокруг своей оси. Для обогрева служит горелка, устанавливаемая по оси печи в нижнем ее конце. Такие печи используют при обжиге глины на шамот и для прокаливания карбонатного сырья (доломита или магнезита).

Стадия обжига является наиболее энергоемкой в технологии производства изделий из керамики, и в качестве воздействия на окружающую среду здесь следует рассматривать не только материальную (эмиссии), но и энергетическую составляющую (степень энергетической эффективности процесса, избыточное тепло). Эмиссии на данном технологическом переделе включают прежде всего выбросы газообразных веществ неорганической (CO, NO_x, SO_x, в некоторых случаях – HF, HCl) и органической (легколетучие органические вещества) природы, которые образуются в результате сгорания топлива и физико-химических превращений в материале, а также незначительное количество пыли из организованного источника. Помимо этого, происходит образование твердых отходов в основном (брак изделий) и вспомогательном (средозащитные средства) технологическом процессе, эти отходы в подавляющем большинстве случаев являются невозвратными и требуют утилизации.

2.1.3.8. Послеобжиговая (финишная) обработка

2.1.3.8.1. Механическая обработка (шлифовка, сверление отверстий, резка, полировка)

Механическая обработка обожженных изделий необходима при производстве изделий, конечную форму или размеры которых не удастся с достаточной точностью воспроизвести в ходе предварительной обработки. Шлифовка и полировка используется при производстве керамической плитки из керамогранита для получения шероховатой или абсолютно гладкой поверхности (последняя не уступает по декоративному эффекту глазурованной поверхности

[16]). Механической обработке подвергаются практически все изделия технической керамики, имеющие строгие допуски по размерам.

Шлифовка – это групповой процесс, в котором несколько изделий укрепляют на станине и пропускают под алмазной шпиндельной головкой. Этим способом часто обрабатывают нижнюю грань строительных кирпичей и блоков для более прочного схватывания с тонким слоем вяжущего.

Сухую шлифовку нижней грани строительных блоков алмазными дисками также проводят для улучшения сцепления с тонким слоем раствора. В этом случае вся шлифовальная машина должна быть герметично закрыта.

Сверление керамических изделий, в особенности огнеупоров, осуществляют, когда требуемое отверстие не удастся с заданной точностью получить в результате прессования и обжига.

Распил изделий выполняют, когда конечную форму кирпича, в том числе огнеупорного, не удастся воспроизвести при формовании. В этом случае прессуют и обжигают кирпич заведомо большего размера, из которого затем выпиливают нужное изделие. Практически во всех операциях применяют замкнутый цикл подачи воды, которая служит для смазки рабочих поверхностей и смывает с них удаленные частицы, одновременно снижая пылеобразование.

2.1.3.8.2. Насыщение углеродом (огнеупоры)

Огнеупорные изделия используют в крайне агрессивных условиях, поэтому зачастую обожженные изделия необходимо пропитывать смолой на нефтяной основе. Введение углерода в готовые изделия имеет ряд преимуществ:

- углерод служит смазкой, что удобно при работе шибберных заслонок;
- сравнительно высокая теплопроводность углерода повышает стойкость изделий к термоудару;

- углерод заполняет поры, что снижает проницаемость изделий и повышает их устойчивость к внедрению шлака и металла.

Пропитке подвергают сразу несколько изделий. Эту операцию, как правило, проводят в трех вертикальных цилиндрических емкостях с навесными крышками. Обрабатываемые изделия загружают в металлические корзины. В первой емкости садку прогревают до температуры порядка 200 °С путем обдува горячим воздухом и передают во вторую емкость (так называемый автоклав) с рубашкой для поддержания температуры. Автоклав герметично закрывают, вакуумируют и заполняют смолой из подогреваемых при температуре 180 – 200 °С накопительных резервуаров. Пропитка происходит при понижении вакуума и последующей подаче азота под давлением. После высыхания садку перемещают

в третий цилиндр для охлаждения при температуре значительно ниже той, при которой происходит испарение летучих компонентов смолы.

В заключение необходимо удалить из смолы значительную долю летучих компонентов, присутствие которых может негативно сказаться на эксплуатационных свойствах изделий. Обычно с этой целью пропитанные изделия загружают в печь и нагревают по определенному режиму. Вытяжной вентилятор такой печи связан с термическим дожигателем, разогретым до температуры свыше 800 °С, продолжительность пребывания газа в котором составляет не менее 0,5 с. Такие условия обеспечивают полное сгорание летучих соединений (сложных углеводов).

После подобной обработки на поверхности изделий присутствует светлый хрупкий углеродистый налет, который перед упаковкой или дальнейшей обработкой следует удалить. Для этого изделия зачищают на обдучном станке [19].

2.1.3.8.3. Введение вспомогательных материалов

Изоляционные материалы (вермикулит, минеральное волокно) помещают в некоторые сорта крупномерных глиняных или легковесных блоков для повышения их теплоизоляционных свойств [19].

2.1.3.8.4. Металлизация керамики

Значительную часть изделий технической керамики, главным образом в радио- и электронной технике (конденсаторы, резисторы, пьезоэлементы, интегральные схемы и т.д.) подвергают металлизации, а в некоторых случаях – последующей пайке с металлоконструкциями. Назначение металлизации – это создание электрических контактов, металлокерамических узлов, декоративных эффектов. Для металлизации применяют благородные металлы – Au, Ag, Pt, Pd и их сплавы; тугоплавкие – W, Mo, Ta, Cr, Ni; элементы и сплавы группы железа. Толщина металлических пленок изменяется от долей до нескольких сотен микрометров и зависит от назначения покрытий и технологии их нанесения (тонко- или толстопленочный метод). Особое место в электронной технике занимают металлокерамические соединения (узлы), эффективные в условиях высоких температур и корродирующих воздействий [20].

2.1.3.8.5. Окончательная сборка

Для производства некоторых видов изделий необходимы операции по окончательной сборке, например, монтаж металлической арматуры

высоковольтных изоляторов для установки в проходных изоляторах, трансформаторах и иной аппаратуре.

Стадия послеобжиговой обработки характеризуется широким спектром возможных видов воздействия на окружающую среду. В зависимости от принятого способа послеобжиговой обработки возможно образование выбросов неорганических и органических веществ в воздух (огнеупоры, металлизация), сбросов производственных сточных вод, содержащих значительное количество взвешенных и растворенных веществ (механическая обработка, металлизация), твердых производственных отходов, которые в большинстве случаев требуют утилизации. Послеобжиговая обработка технической керамики в ряде случаев требует введения стадии дополнительного высокотемпературного обжига [1; 8].

2.1.3.9. Сортировка, упаковка и хранение

На ряде производств, в частности, керамических камней, огнеупорных изделий специальной формы, посуды и декоративных изделий, сортировку и упаковку по-прежнему выполняют вручную. Впрочем, за последние годы более тщательный контроль обжига привел к снижению количества боя, и возникла тенденция к автоматизации данного процесса. В настоящее время разработаны системы инструментального контроля цветности, что особенно важно для керамической плитки. При автоматической загрузке кирпича и керамических блоков в печь уровень потерь крайне мал, а садка позволяет осуществлять упаковку термоусадочной пленкой (при этом потребителя уведомляют о возможном получении 1 - 2 % брака).

Керамические изделия правильной формы (кирпич, камни, огнеупорные изделия) собирают в штабеля стандартного размера, которые затем упаковывают в полиэтилен и складывают на поддонах [21].

Наиболее дорогая керамическая продукция – посуда и декоративные изделия – нуждается в тщательном контроле и сортировке и требует сложной защитной упаковки. Напротив, неформованные огнеупоры обычно засыпают в мешки по весу и складывают на поддонах. Также для хранения используют металлические бочки.

Керамические плитки сами по себе являются сравнительно хрупкими, однако при плотной упаковке в картонные коробки плитка легко выдерживает хранение и транспортировку [22].

Грубокерамические изделия массового производства обычно хранят на открытом пространстве, однако продукция, упакованная в мешки или ящики, а

также чувствительные к воздействию влаги огнеупоры требуют складского хранения.

2.1.4. Вспомогательные участки и участки переработки (системы очистки отходящих газов и сточных вод)

Важными участками обеспечения сокращения негативного воздействия на окружающую среду на предприятиях по производству керамических изделий являются установки по удалению пыли из отходящих газов, а также для очистки производственных сточных вод. Для очистки выбросов от пыли на российских предприятиях по производству керамических изделий применяют циклоны и рукавные фильтры. Сокращения выбросов ЗВ, образующихся при сушке и обжиге изделий, добиваются путём оптимизации процесса сжигания топлива.

Сточные воды, образующиеся в процессе изготовления керамики, как правило, содержат взвешенные частицы, поэтому при их очистке часто используют отстойники. Осаждение взвешенных веществ ускоряют путем введения флокулянтов и коагулянтов.

Тип топливного хранилища зависит от вида используемого топлива. На российских предприятиях в качестве топлива используют природный газ, реже – уголь и иногда – отходы заготовки древесины и деревообработки. Кусковой уголь хранят на открытом пространстве и под навесами, измельченный – в силосах. Природный газ поступает по газораспределительной сети от компаний-поставщиков.

На некоторых предприятиях, например, при выпуске санитарно-технических изделий, посуды, функционируют вспомогательные участки, в частности, производство гипсовых форм, где выпускаются формы для массового применения.

2.1.5. Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства

В целях повышения энергетической эффективности и экологической результативности производства керамических изделий применяют как внедрение новых энергоэффективных технологических способов и проектных решений;

- модификация полуфабрикатов и изделий;
- снижение водопотребления (организация водооборота);
- использование современного оборудования, прежде всего печей и сушил, и его совершенствование;
- максимальное использование остаточного тепла печей;
- использование высокоэффективных видов топлива.

Среди технологических и технических подходов, применимых во всех отраслях производства изделий из керамики, можно упомянуть увеличение функциональности и облегчение изделия; приближение формы полуфабриката к форме изделия; введение пластификаторов, гидрофобных отощителей, плавней.

Управленческие подходы включают внедрение систем экологического и энергетического менеджмента или использование их инструментов (аудита, программ повышения экологической результативности и энергоэффективности и пр.).

В большинстве отраслей производства керамических изделий такие отходы, как обрезки, стружка и некондиционные изделия, возвращают на стадию подготовки сырья. Обожженные изделия низкого качества используют внутри предприятия, получая после дробления и отсева так называемый «бой». Этот материал относится к непластичным, и его введение в массу облегчает сушку и способствует уменьшению усадки благодаря повышению проницаемости заготовок. Даже если такой бой неприменим в том технологическом процессе, в котором он образовался, его можно использовать в процессах других производств.

Отработанные огнеупорные изделия, образующиеся при перефутеровке печей, как правило, загрязнены шлаками, солями, стеклом или металлами, поэтому их введение может ухудшить огнеупорные характеристики любого изделия. Аналогичным образом, материалы, содержащие другие виды загрязняющих веществ (например, остатки глазури), невозможно использовать повторно. Отработанные гипсовые формы также непригодны к повторному использованию, однако могут применяться как сырье для цементной промышленности.

Измельченный гранулированный бой кирпича, помимо возврата в технологический процесс, в ряде случаев используют в качестве замены продукции других отраслей производства керамических изделий, имеющей тот же зерновой состав, например, как заполнитель в бетонах или наполнитель в асфальте для дорожного строительства.

Там, где это возможно, на стадии охлаждения изделий в обжиге осуществляют рекуперацию тепла, для этого охлаждение изделий стараются ускорить путем принудительной циркуляции воздуха в садке после зоны обжига. В результате образуется значительный объем чистого горячего воздуха, большую часть которого отбирают из печи вентиляторами и подают в сушку. Этот прием особенно эффективен при использовании туннельных печей.

2.1.6. Схема входных и выходных потоков производства керамических изделий

На рисунке 2.1.5 представлена схема входных и выходных потоков на различных стадиях производства керамических изделий.

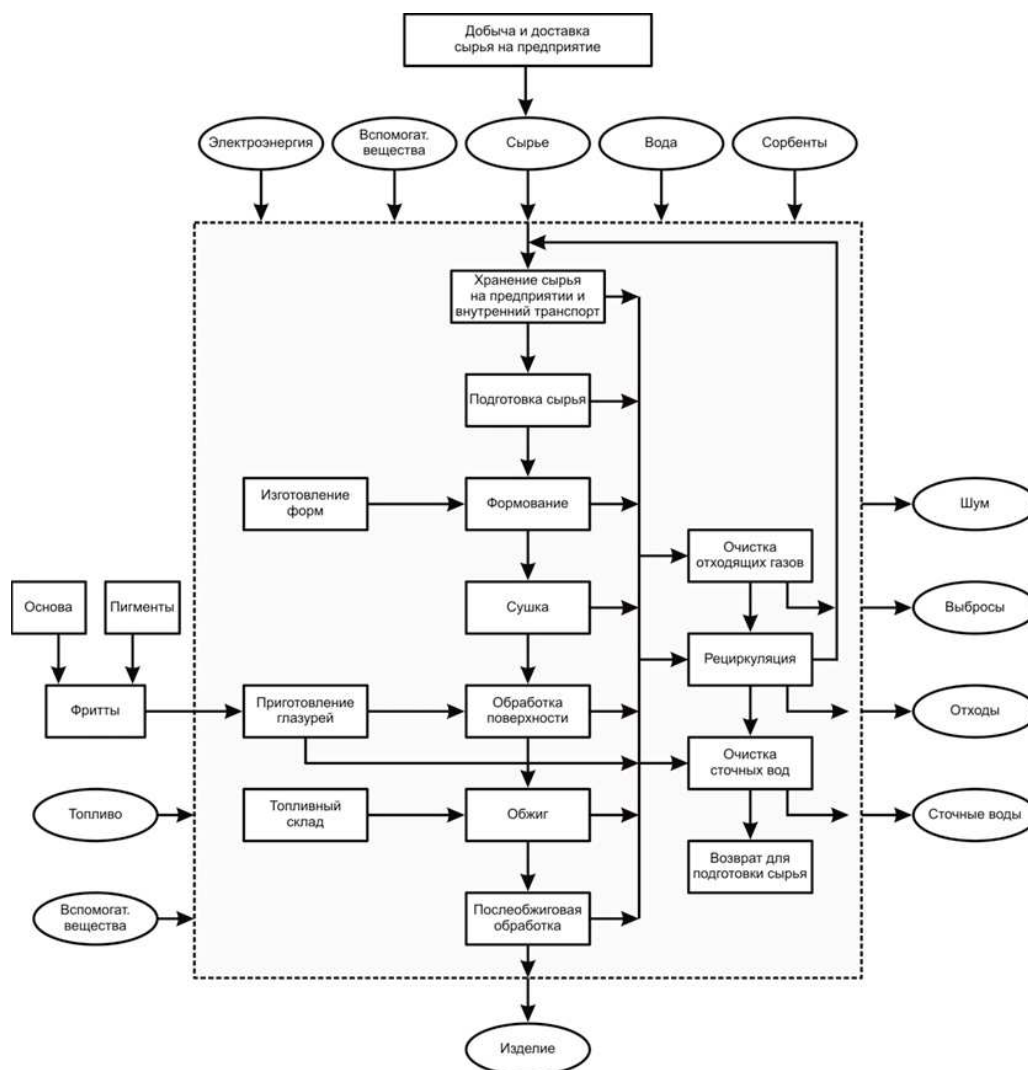


Рисунок 2.1.5 – Входные и выходные потоки на различных стадиях производства керамических изделий [23]

2.2 Кирпич

Данный раздел подготовлен производителями керамического кирпича и камня совместно со специалистами в химической технологии керамики с использованием отечественных и зарубежных источников информации, основными из которых являются учебник по химической технологии керамики [1], справочник ЕС [24] и энциклопедия по керамике [8], а также [25] и [26].

Основными технологическими процессами в производстве кирпича являются:

- добыча глинистого сырья и его конусование (в настоящем документе не рассматривается);
- переработка сырьевых материалов и приготовление шихты;
- формование;
- сушка;
- обжиг.

Технологическая схема производства керамического кирпича способом пластического формования представлена на рисунке 2.2.1.

2.2.1 Переработка сырьевых материалов и приготовление шихты

Основным сырьем для производства кирпича являются глинистые (глина, суглинки, сланцы) и отощающие (песок, шамот) материалы. Для придания заданных свойств готовой продукции в процессе производства могут использоваться различные добавки.

Глинистые материалы являются осадочными горными породами и, в силу специфики естественного природного происхождения, свойства глин различных месторождений имеют существенные отличия. Основными определяющими характеристиками глин являются химический, минеральный и зерновой составы. Из глин различных месторождений возможно производство кирпича с разными характеристиками на одной и той же технологической линии. В тоже время технология производства одного и того же вида продукции может существенно отличаться для глин разных месторождений. Свойства глин определяют способы и режимы производства (технологические параметры переработки, формовки, сушки, обжига) кирпича, а также показатели готовой продукции (прочность, морозостойкость, водопоглощение и др.).

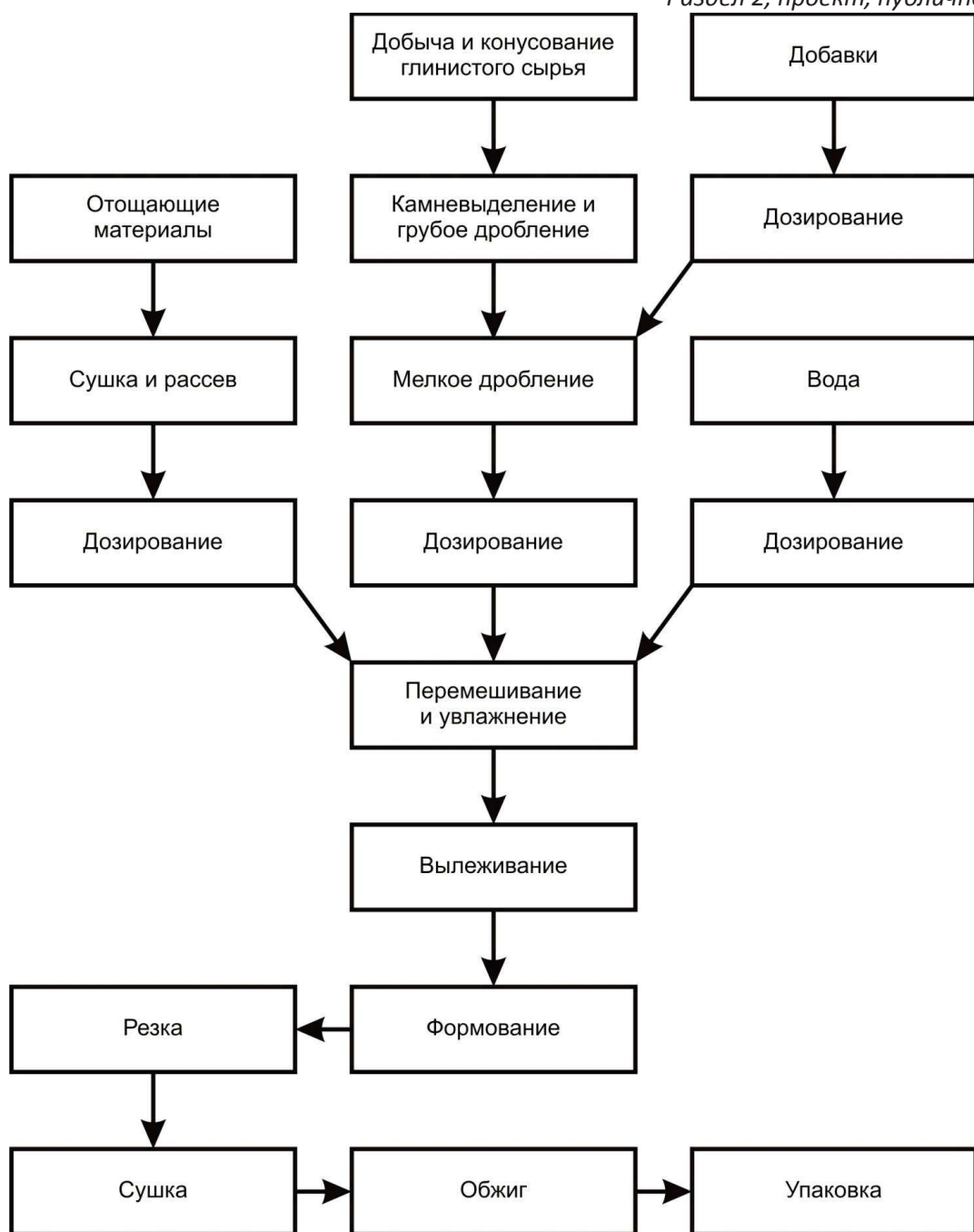


Рисунок 2.2.1 – Технологическая схема производства керамического кирпича способом пластического формования

Добавки применяют как для корректировки свойств глин (например, пластифицирующие) в процессе производства, так и для придания заданных свойств готовой продукции (например, выгорающие при производстве поризованных изделий).

Хранят глинистое сырье в крытых или открытых глинозапасниках (конусах), отощающие материалы – как правило, на открытой площадке.

Для получения шихты (формовочной массы) исходное сырье подвергают переработке. Целью переработки сырьевых материалов, независимо от технологии производства и применяемого оборудования, является разрушение природной структуры глины, удаление камней и измельчение посторонних примесей (например, карбонатных включений), гомогенизация компонентов шихты и получение массы, пригодной к формованию.

Камнеудаление и грубое дробление обычно проводят на валковых дробилках с зубчатыми и гладкими валками, мелкое дробление – на бегунах и валковых дробилках с малым зазором между валками.

В зависимости от способа формования полуфабриката – полусухого прессования на механических и гидравлических прессах или пластического формования на ленточных прессах применяют два способа подготовки масс.

Для изготовления кирпича способом полусухого прессования применим сухой способ подготовки массы, при котором глину подвергают камневыделению, грубому дроблению, подсушивают в сушильных барабанах, после чего смешивают с другими компонентами шихты в смесительных бегунах, доводя ее влажность до 8 – 12 %.

При более распространенном способе пластического формования массу готовят на основе исходной влажной глины путем последовательного измельчения на валковых дробилках крупного и мелкого дробления или бегунах до размеров куском менее 1 мм (0,5 - 0,8 мм), далее увлажняют в лопастных смесителях до 18 – 22 %.

Перед формованием практикуется вылеживание формовочной массы в течение 3 - 14 суток в шихтозапасниках для усреднения влажности. При этом шихтозапасник разделяет участки переработки сырья и участок формования, что способствует стабильной и бесперебойной работе завода.

2.2.2 Формование

Формование представляет собой процесс придания приготовленной шихте формы будущего изделия (кирпича). Существует три основных способа формования кирпича (см. раздел 2.1.3.4):

- полусухое прессование;
- пластическое формование и его разновидность – жесткая экструзия;
- способ «ручной формовки» (данный способ механизирован и вручную такой кирпич не формуется).

Способ полусухого формования применяется на заводах малой и средней производительности и отличается ограниченным ассортиментом изделий. Способ «ручной формовки» в Российской Федерации в настоящее время не применяется. Способ жесткой экструзии не нашел широкого распространения в России, поскольку для него требуется использование специфического оборудования и глин с определенными свойствами, а номенклатура изделий, производимых этим способом существенно ограничена. Наибольшее распространение получило пластическое формование, позволяющее выпускать широкую гамму изделий из большинства видов глинистого сырья. При использовании этого способа пластическую массу формуют под давлением до 1,5 - 3 МПа ленточным вакуумным прессом, затем разрезают на заготовки, при необходимости удаляя с них фаски и (для лицевого кирпича) накатывая на поверхность рисунок.

2.2.3 Сушка

Перед обжигом кирпич-сырец высушивают. Сушку проводят в туннельных или камерных сушилах. В процессе сушки кирпич, установленный на сушильные вагонетки, подвергается воздействию теплого ненасыщенного влагой воздуха и отдает ему воду. На начальном этапе сушки теплоноситель имеет высокую влажность и температуру, близкую к температуре кирпича-сырца. На конечном этапе – низкую влажность и высокую, до 130 °С температуру. Сушка в туннельной печи организована методом противотока, в камерных метод противотока имитируется. Для сушки полностью используется тепло, полученное при охлаждении кирпича в печи обжига. Обычно это составляет около 50 % от всего необходимого для сушки тепла. Продолжительность сушки в зависимости от формовочной влажности и габаритов полуфабрикатов составляет от 18 до 72 часов.

Кирпич-сырец, полученный методом полусухого прессования и методом жесткой экструзии, не нуждается в мягком (длительном) режиме сушки. Применение некоторых типов глин дает возможность сушить полуфабрикат непосредственно в печи обжига, где для этого выделены первые зоны печи. Кирпич пластического формования и «ручной формовки» перед отправкой в печь дополнительно подсушивают в специальных небольших сушилах – предпечах.

2.2.4 Обжиг

В процессе обжига происходят необходимые изменения в структуре глинистых минералов, в результате спекания образуется прочная структура и

кирпич приобретает требуемые свойства. В основном обжиг кирпича ведут в туннельных печах. Применяют также кольцевые печи со съёмным сводом. В качестве топлива подавляющее большинство заводов использует природный газ. Обжиг организован методом противотока в окислительной среде. Это позволяет наиболее полно использовать тепло отходящих газов и обеспечивает полное сгорание топлива. Как правило, в производстве кирпича используют легкоплавкие глины с температурой обжига 950 – 1000 °С. При производстве кирпича светлых тонов и клинкера температура обжига обычно выше 1000 °С. Воздух из зоны охлаждения печи полностью используется для сушки кирпича-сырца. Температура отходящих газов составляет обычно 100 – 140 °С для предотвращения конденсации паров в дымоходе печи.

Обожжённый кирпич, как правило, не нуждается в дополнительной обработке после обжига. Но в некоторых случаях, например, для нейтрализации карбонатов, вызывающих отколы, обожжённый и упакованный на поддоны кирпич погружают на несколько минут в воду. В случае производства крупноформатных блоков для кладки на тонкий слой раствора постельные поверхности таких блоков шлифуют.

2.2.5 Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства керамического кирпича и поризованного камня

Несмотря на простоту технологической схемы производства кирпича способов ее реализации много. Выбор способа диктуется, в первую очередь, требованиями к готовой продукции, а также свойствами сырья. В свою очередь, требования к готовой продукции определяются областью её применения. При этом будут существенно отличаться как нормативы расходов сырья и энергоносителей для производства для того или иного вида кирпича, так и количество и состав выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Основными решениями, направленными на сокращение негативного воздействия на окружающую среду и повышение ресурсоэффективности производства кирпича и камня керамического, являются:

- оптимизация состава сырья с целью уменьшения температуры обжига и сокращения его цикла;
- автоматизация сушилок с целью непрерывного контроля температуры и влажности;

- повышение эффективности системы пылеулавливания с применением современных рукавных фильтров;
- интерактивное компьютерное управление режимом обжига с целью снижения затрат энергии при обжиге;
- снижение уровня шума и вибрации путем улучшения изоляции источников, а также (если необходимо) улучшение звукоизоляции производственных зданий.

2.3 Керамическая плитка

Данный раздел подготовлен специалистами в химической технологии керамики с использованием отечественных и зарубежных источников информации, основными из которых являются учебник по химической технологии керамики [1], справочник ЕС [24] и энциклопедия [8].

Технология производства керамической плитки (КП) включает в себя следующие переделы:

- приемка и хранение сырьевых материалов;
- подготовка сырья;
- формование полуфабриката;
- сушка полуфабриката;
- нанесение глазури, декорирование;
- обжиг;
- послеобжиговая обработка;
- сортировка и упаковка готовых изделий.

Общая технологическая схема представлена на рисунке 2.3.1 и содержит различные варианты последовательности технологических операций, используемые при производстве разных видов керамической плитки (плитки для внутренней облицовки стен однократного или двукратного обжига, глазурованной и неглазурованной плитки для облицовки пола, керамогранита).

Особенностью технологии керамической плитки является высокая степень автоматизации основных технологических стадий, связанная со скоростным обжигом на конвейерных (роликовых) печах.

Декоративные элементы КП (вставки, бордюры) изготавливают из основных плиток на специальных участках, проводя резку и/или нанося до 3 слоев дополнительных декорирующих препаратов.

2.3.1 Приемка и хранение сырьевых материалов

Сырьем для производства КП служат глины и каолины, а также непластичные материалы (кварцевый песок, полевые шпаты, нефелины, доломиты и т. д.). Виды глин и их количество в сырьевой смеси зависят от разновидности производимой плитки: для выпуска керамогранита используют огнеупорные глины и каолины, плитки для облицовки пола выпускают с использованием каолинов, огнеупорных и тугоплавких глин, плитки для внутренней облицовки стен – с использованием тугоплавких, легкоплавких глин и, иногда, каолинов. Часто в качестве шамота используют брак обожженных изделий.

Для декорирования керамической плитки используют большое количество декорирующих средств: ангобов, глазури, пигментов и фритт. Фритты, в которых все компоненты уже смешаны, сплавлены и подвергнуты измельчению, используют как при приготовлении глазури, так и отдельных видов декоров, наносимых на поверхность плитки.

Компоненты сырья для производства КП хранятся в крытых складских помещениях с постоянной температурой и влажностью.

Примерные рецептуры массы представлены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1 – Примерный состав массы для производства керамической плитки

Компонент сырья	Влажность, %	Содержание в массе для производства, %		
		Плитки для внутренней облицовки стен	Плитки для облицовки пола	Керамогранита
Каолин	3 – 5	0 – 25	5 – 10	10 – 25
Глина	15 – 17	25 – 50	25 – 70	35 – 40
Полевошпатное сырье	1	10 – 30	13 – 25	35 – 40
Кварцевый песок	1	10 – 30	10 – 15	10 – 15
Карбонатное сырье	15	10 – 30	0 – 10	-
Бой изделий	-	5 – 20	5 – 10	До 5

2.3.2 Подготовка сырья

Плитку преимущественно производят методом полусухого прессования, используя для подготовки сырьевых материалов мокрый способ. Крупные куски глины предварительно дробят в валковых мельницах или бегунах. Сырьевые компоненты (глину, песок, плавни) измельчают совместно в шаровых мельницах в воде до получения однородной суспензии (шликера) с размером частиц менее 0,1 мм и влажностью 35 – 50 %. При более экономичном отдельном способе подготовке пластичных и отощающих компонентов (рисунок 2.3.2) глинистые материалы предварительно распускают в воде. Для тонкого мокрого помола сырьевой смеси широкое распространение получили шаровые многокамерные трубные мельницы непрерывного действия.

Суспензию из бассейнов насосами подают в башенные распылительные сушилки. Сушку осуществляют при температуре 350 – 550 °С (в зависимости от характеристик используемого сырья) до остаточного влагосодержания 5 – 7 %. Полученные гранулы вылеживают в силосах не менее 24 часов.

При производстве керамогранита для окрашивания массы вводят небольшие количества (5 – 10 %) пигментов, путем смешивания полученных на отдельных башенных распылительных сушилках цветных гранул с базовым пресс-порошком.

2.3.3 Формование полуфабриката

Керамическую плитку в основном формуют способом полусухого прессования на гидравлических или, реже, на ударных коленно-рычажных прессах под давлением 30 – 45 МПа. Как правило, применяют многоштамповые прессы, которые позволяют изготавливать несколько плиток в одном цикле. Наблюдается тенденция к увеличению габаритов плиток и, соответственно, к увеличению мощности используемых прессов.

Некоторые виды плиток (в общем объеме не более 5 %) изготавливают способом пластического формования (экструзии). Такие плитки отличаются большей толщиной. Для подготовки массы в этом случае используют способы подготовки пластичной массы (см. раздел 2.1.3).

2.3.4 Сушка, декорирование и обжиг

Сушку, декорирование (ангобирование, глазурование) и обжиг плиток осуществляют на автоматизированных линиях, представляющих собой роликовый

конвейер, который объединяет прессы, сушилки, печи для обжига плитки, систему автоматизированной сортировки и упаковки.

Прессованные заготовки зачищают и сушат преимущественно в вертикальных роликовых сушилках. Температура сушки колеблется в зависимости от применяемой технологии от 120 до 350 °С. Остаточное влагосодержание полуфабриката не должно превышать 1 %.

Нанесение ангоба и глазури осуществляют способами полива или распыления в кабинах, установленных на автоматизированной линии. Порядок операций глазурования и обжига может меняться в зависимости от того, покрывают ли изделия глазурью и проводят ли обжиг в одну или две стадии.

В процессе движения полуфабриката по конвейеру на его поверхность могут наносить рисунок, для чего применяют шелкографию (станки трафаретной печати), декорирование штампом (печать гравированным силиконовым валиком), цифровую печать (при помощи струйных принтеров).

Декорирование керамогранита в основном осуществляют, создавая рисунок смешиванием окрашенных пресс-порошков во всем объеме заготовки или их распределении в поверхностном слое заготовки в пресс-форме непосредственно перед прессованием.

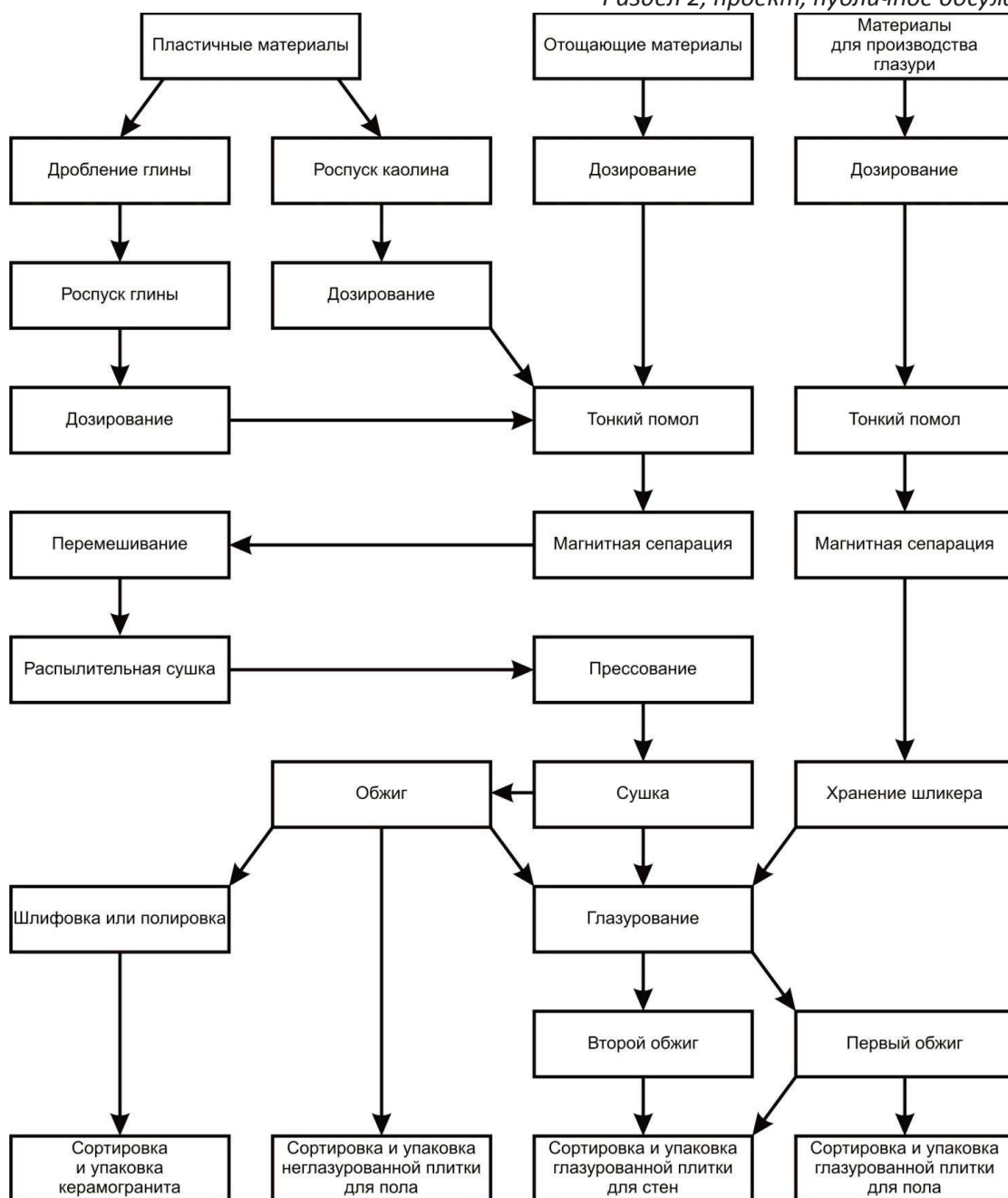


Рисунок 2.3.2 – Основная технологическая схема производства различных видов керамических плиток

Обжиг плиток, в зависимости от их вида, может быть одно- и двукратным. Для производства декорированных вставок и бордюров используют отдельный, обычно третий по порядку, обжиг.

При технологии двукратного обжига сначала производят уфельный обжиг в роликовой печи и глазуруют методом распыления или полива. Для маскировки цвета и избегая дефектов глазурирования, на поверхность плитки перед глазурированием наносят слой ангоба. Обжиг плиток ведут в течение короткого времени (0,5 – 1 час) при температурах 950 – 1200 °С, после чего их сортируют и

упаковывают. Температура обжига зависит от области применения (вида) плиток и определяется их сырьевым составом. Типичные температуры обжига указаны в таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2 – Типичные температуры обжига керамических плиток

Вид плитки	Область применения	Максимальная температура обжига, °С
Плитка для внутренней облицовки стен	Облицовка стен внутри зданий	980 – 1050
Плитка для облицовки полов	Облицовка полов внутри зданий	1020 – 1080
Керамогранит	Облицовка стен и полов, в том числе фасадов и мостовых	1180 – 1220

Обжиг плиток керамогранита ведут при повышенных температурах (свыше 1200 °С), продолжительность обжига может достигать 2 часов.

Из части обожженных глазурованных плиток изготавливают вставки и бордюры, декорируя специальными средствами и снова подвергая обжигу при температурах 800 – 1050 °С.

2.3.5 Послеобжиговая обработка

После обжига плитки подвергают шлифовке и, иногда, полировке. Механическая обработка (шлифовка, полировка) плитки после ее обжига производится в основном для плотных водонепроницаемых плиток керамогранита, широко используемых, прежде всего, в качестве напольного покрытия.

2.3.6 Сортировка и упаковка готовых изделий

Сортировка и упаковка плиток осуществляется автоматически на конвейерной линии. Прежде всего, контролируются размерные характеристики плиток. Плитки упаковывают в картонные коробки, обычно в количестве соответствующем 1 м².

2.3.7 Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства керамической плитки

Основными решениями, направленными на сокращение негативного воздействия на окружающую среду и повышение ресурсоэффективности производства керамической плитки, являются:

- увеличение размера и уменьшение толщины плитки;
- оптимизация состава сырья с целью снижения температуры обжига и сокращения его цикла;
- использование мельниц непрерывного действия для подготовки сырьевых компонентов;
- автоматизация сушилок с целью непрерывного контроля температуры и влажности;
- интерактивное компьютерное управление режимом обжига с целью снижения затрат энергии при обжиге;
- повышение эффективности системы пылеулавливания с применением рукавных фильтров или циклонов;
- перемещение пылящего сырья от башенной распылительной сушилки при помощи закрытых конвейеров;
- организация сбора отходов глазури и отходов шлифовки в местах их образования;
- повторное использование шлама в составе формовочной массы
- использование производственных сточных вод в замкнутом цикле; (с очисткой в соответствии с технологическими требованиями);
- снижение уровня шума и вибрации путем улучшения изоляции источников, а также улучшение (если необходимо) звукоизоляции производственных зданий.

Переход на сухой способ подготовки сырья в производстве КП позволяет существенно снизить энергопотребление, но может быть оправдан при использовании компонентов сырья невысокой влажности.

2.4 Огнеупорные изделия

Данный раздел подготовлен производителями огнеупоров совместно со специалистами в химической технологии керамики с использованием отечественных и зарубежных источников информации, основными из которых

являются учебник по химической технологии керамики [1], справочник ЕС [24], справочник по огнеупорам для промышленных агрегатов и топок [27; 28] и энциклопедия по огнеупорным материалам [19].

Огнеупорные изделия классифицируют по основному входящему в их состав компоненту. Выделяют следующие группы (таблица 2.4.1):

Таблица 2.4.1 – Типы и группы огнеупоров [по 29 и 30]

Тип	Группа	Содержание определяющих химических компонентов, %
Кремнеземистые	Кварцевые	$\text{SiO}_2 \geq 97$
	Динасовые	$\text{SiO}_2 \geq 93$
	Динасовые с добавками	$80 \geq \text{SiO}_2 < 93$
	Кварцевые (бетонные и безобжиговые)	$\text{SiO}_2 \geq 85$
Алюмосиликатные	Полукислые	$\text{SiO}_2 < 85, \text{Al}_2\text{O}_3 < 28$
	Шамотные	$28 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 45$
	Муллито-кремнеземистые	$45 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 62$
	Муллитовые	$62 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 72$
	Муллито-корундовые	$72 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 90$
	Из глиноземо-кремнеземистого стекла (волокнистые)	$40 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 90$
Глиноземистые	Корундовые	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 90$
Глиноземисто-известковые	Алюминаткальциевые	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 60, 10 < \text{CaO} < 35$
Магнезиальные	Периклазовые	$\text{MgO} \geq 85$
Магнезиально-известковые	Периклазо-известковые	$50 < \text{MgO} < 85, 10 < \text{CaO} < 45$
	Периклазо-известковые стабилизированные	$35 < \text{MgO} \leq 75, 15 < \text{CaO} \leq 45$
	Известково-периклазовые (доломитовые)	$10 < \text{MgO} \leq 50, 45 \leq \text{CaO} \leq 85$
Известковые	Известковые	$\text{CaO} \geq 85$
Магнезиально-силикатные	Периклазо-форстеритовые	$65 < \text{MgO} < 85, \text{SiO}_2 \geq 7$
	Форстеритовые	$50 \leq \text{MgO} \leq 65, 25 \leq \text{SiO}_2 \leq 40$
	Форстерито-хромитовые	$45 \leq \text{MgO} \leq 60, 20 \leq \text{SiO}_2 \leq 30, 5 < \text{Cr}_2\text{O}_3 < 15$

Окончание таблицы 2.4.1

Тип	Группа	Содержание определяющих химических компонентов, %
Магнезиально-шпинелидные	Периклазо-хромитовые	$MgO \geq 60, 5 \leq Cr_2O_3 \leq 20$
	Хромито-периклазовые	$40 \leq MgO \leq 60, 15 \leq Cr_2O_3 \leq 35$
	Хромитовые	$MgO < 40, Cr_2O_3 > 30$
	Периклазо-шпинелидные	$50 \leq MgO \leq 85, 5 \leq Cr_2O_3 \leq 20, Al_2O_3 \leq 25$
	Периклазо-шпинельные	$MgO > 40, 5 \leq Al_2O_3 \leq 55$
	Шпинельные	$25 \leq MgO \leq 40, 55 \leq Al_2O_3 < 70$
Хромистые	Хромоксидные	$Cr_2O_3 \geq 90$
Цирконистые	Бадделеитовые	$ZrO_2 > 90$
	Бадделеито-корундовые	$20 \leq ZrO_2 \leq 90, Al_2O_3 \leq 65$
	Цирконовые	$ZrO_2 > 50, SiO_2 > 25$
Оксидные	Специальные из огнеупорных оксидов BeO, MgO, Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ , оксиды PЗЭ, ZrO ₂ , ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , Sc ₂ O ₃ и др.	Максимально достижимое содержание перечисленных оксидов, соединений и твердых растворов на основе этих оксидов
Углеродистые	Графитированные	$C > 98$
	Угольные	$C > 85$
	Углеродсодержащие	$8 \leq C \leq 85$
Карбидокремниевые	Карбидкремниевые	$SiC > 70$
	Карбидкремний-содержащие	$15 \leq SiC \leq 70$
Бескислородные	Из нитридов, карбидов, боридов, силицидов, и других бескислородных соединений (кроме углеродистых)	Максимально достижимое содержание перечисленных соединений

В настоящее время в России осуществляется производство высокомагнезиальных, магнезиальношпинелидных и оксидоуглеродистых огнеупорных изделий различных форм и размеров, а так же неформованных огнеупорных материалов, с использованием как отечественного сырья, так и импортируемого периклаза.

Технология производства огнеупоров включает в себя следующие основные переделы:

- приёмка, подготовка и хранение сырьевых материалов;
- формование полуфабриката;
- сушка;
- обжиг;
- сортировка и упаковка готовых изделий.

Общая технологическая схема производства огнеупорных изделий на примере основных огнеупоров показана на рисунке 2.4.1.

ПРОЕКТ

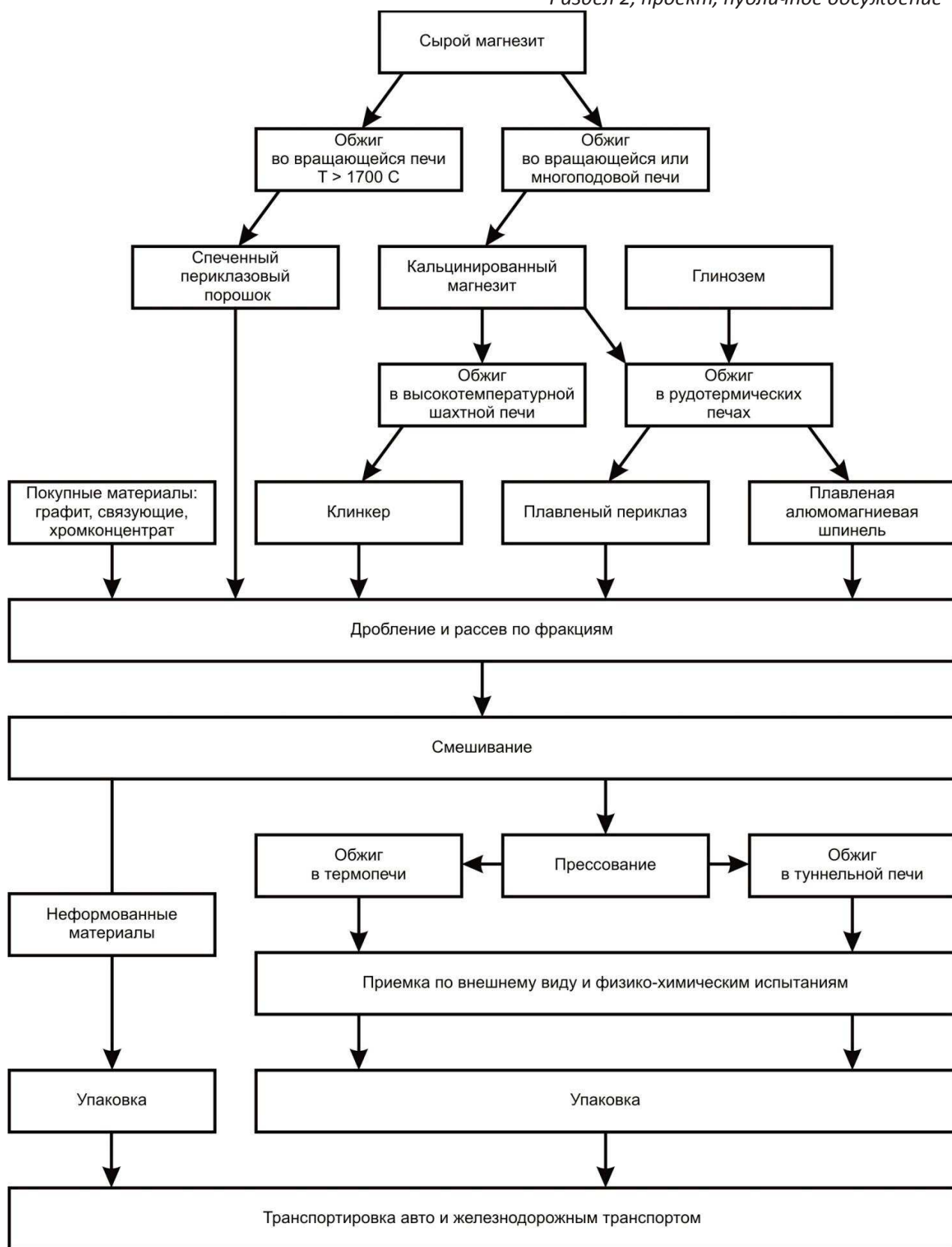


Рисунок 2.4.1 – Аппаратурно-технологическая схема производства основных огнеупоров

2.4.1 Приёмка, подготовка и хранение сырьевых материалов

В качестве сырья при производстве огнеупоров используют огнеупорную глину, шамот, природное минеральное сырье – кварцит, доломит, магнезит, боксит, которое могут подвергать прокаливанию, а также искусственно получаемые материалы (спеченный корунд, карбид кремния, плавленный муллит, спеченный периклазовый порошок и клинкер, плавленный периклаз, шпинель, хромконцентрат). Для получения формовочных масс к измельченным сырьевым материалам добавляют заполнители и связующие самых разных видов – глиняный шликер, сульфитный щелок, каменноугольную смолу, нафталин, синтетические смолы, известковое молоко, воск, фосфорную кислоту, сажу, графит, серу. Сырье хранят в крытых боксах, предварительно измельченные закупаемые материалы содержат в силосах, чтобы избежать их взаимодействия с водой.

Спеченный периклазовый порошок и клинкер для производства изделий и неформованных огнеупоров получают обжигом сырого магнезита во вращающихся печах $90 \times 3,5$ и $170 \times 4,5$ м и высокотемпературных шахтных печах в одну или две стадии (через кальцинацию с последующим брикетированием), конечная температура обжига превышает 1700 °С. Обоженные порошки и клинкер могут быть отгружены заказчиком.

Плавленный периклаз получают путем плавки кальцинированного магнезита в руднотермических электродуговых печах способом «на блок». Плавленную алюмомагниевою шпинель получают путем совместной плавки кальцинированного магнезита и глинозема в руднотермической печи способом «на слив».

Сырьевые материалы (периклазовые порошки, клинкер и плавленные материалы) подвергают измельчению до необходимых фракций. Для грубого измельчения используют валковые и конусные дробилки, тонкое измельчение проводят в трубных и вибромельницах. Фракционированный материал, а так же графит и хромконцентрат подают в бункера над смесителями. Дозирование материалов в смесители периодического действия, где масса гомогенизируется, производят при помощи весовых дозаторов. При необходимости в смеситель вводят связующее. Неформованные материалы (торкрет-массы, набивные массы) сразу после перемешивания затаривают для отгрузки потребителю.

2.4.2 Формование полуфабриката

После смесителя массу для изготовления изделий подают на гидравлические прессы. Спрессованные изделия (сырец) передают на термообработку или высокотемпературный обжиг.

2.4.3 Сушка

Сушку полуфабриката ведут в камерных или туннельных сушилках, ее продолжительность в зависимости от размеров и формы изделий составляет от суток до нескольких недель. Крупноразмерные изделия сушат при контролируемой влажности воздуха-теплоносителя. Остаточная влажность перед началом обжига должна быть менее 1 %.

2.4.4 Обжиг

Оксидоуглеродистые изделия направляют в термопечь, где при температуре 240 – 260 °С происходит их термообработка. Высокомагнезиальные и магнезиальношпинелидные изделия подают на вагонетках в туннельную печь, где происходит обжиг изделий при температуре свыше 1650 °С.

2.4.5. Сортировка и упаковка готовых изделий

Изделия после термопечи и туннельной печи подвергают сортировке по внешнему виду и размерам. В особых случаях проводят послеобжиговую обработку огнеупорных изделий путем шлифовки, полировки или токарной обработки сухим либо мокрым способом. Готовую продукцию проверяют на соответствие нормативной документации. После физико-химических испытаний, а так же проверки на соответствие требованиям к форме, размерам и структуре, продукцию упаковывают. Транспортировку пакетов с изделиями и биг-бэгов с неформованными материалами потребителям осуществляют автомобильным и железнодорожным транспортом.

2.4.6 Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства

Основными решениями, направленными на сокращение негативного воздействия на окружающую среду и повышение ресурсоэффективности производства огнеупоров, являются:

- оптимизация состава сырья с целью уменьшения температуры обжига и сокращения его цикла;
- использование по возможности сухого способа подготовки сырья;

- интерактивное компьютерное управление режимом обжига с целью снижения затрат энергии на обжиг;
- снижение уровня шума и вибрации путем улучшения изоляции источников, а также улучшение (если необходимо) звукоизоляции производственных зданий.

2.5 Санитарно-технические изделия

Данный раздел подготовлен специалистами в химической технологии керамики с использованием отечественных и зарубежных источников информации, основными из которых являются учебник по химической технологии керамики [1], справочник ЕС [24; 19] и энциклопедия [8].

Технология производства санитарно-технических изделий (СТИ) включает в себя следующие переделы:

- приёмка и хранение сырьевых материалов;
- приготовление шликера и глазури;
- формование полуфабриката;
- оправка и подвялка полуфабриката;
- сушка полуфабриката;
- глазурование;
- обжиг;
- реставрация («лечка»);
- сортировка и упаковка готовых изделий.

2.5.1 Приёмка и хранение сырьевых материалов

Для производства санитарных керамических изделий, как и для других керамических изделий применяют пластичные и отошающие материалы.

Пластичные материалы – это огнеупорные, тугоплавкие глины и каолины первичные или обогащенные.

Отошающие материалы – кварцевый песок, бой обожженных изделий, полевой шпат, пегматит, гранит.

Товарный вид и высокие гигиенические свойства СТИ придает глазурное покрытие. Составы глазури многокомпонентны. Для приготовления глазури используют полевые шпаты, глины, каолины, кварцевый песок, мел, доломит, цирконовый концентрат, оксид цинка, углекислый барий, фритты и ряд других

компонентов регулирующих свойства глазурного покрытия. Для окрашивания глазурей используют пигменты или красящие окислы.

Для регулирования литейных свойств основного и глазурного шликера используют добавочные материалы – электролиты: неорганические – силикат натрия, кальцинированную соду, гидрат окиси бария; органические – углещелочной реагент, танин, сложные полиакрилаты, производные карбоксиметилцеллюлозы.

Сырьевые материалы поступают на склад в насыпном или упакованном виде в железнодорожных вагонах или автотранспортом. Сырье хранят в отдельных отсеках закрытого склада. При поступлении на склад все сырьевые материалы подвергают входному контролю.

Общая технологическая схема производства СТИ показана на рисунке 2.5.1. Ориентировочные составы массы и глазури указаны в таблице 2.5.1.

ПРОЕКТ

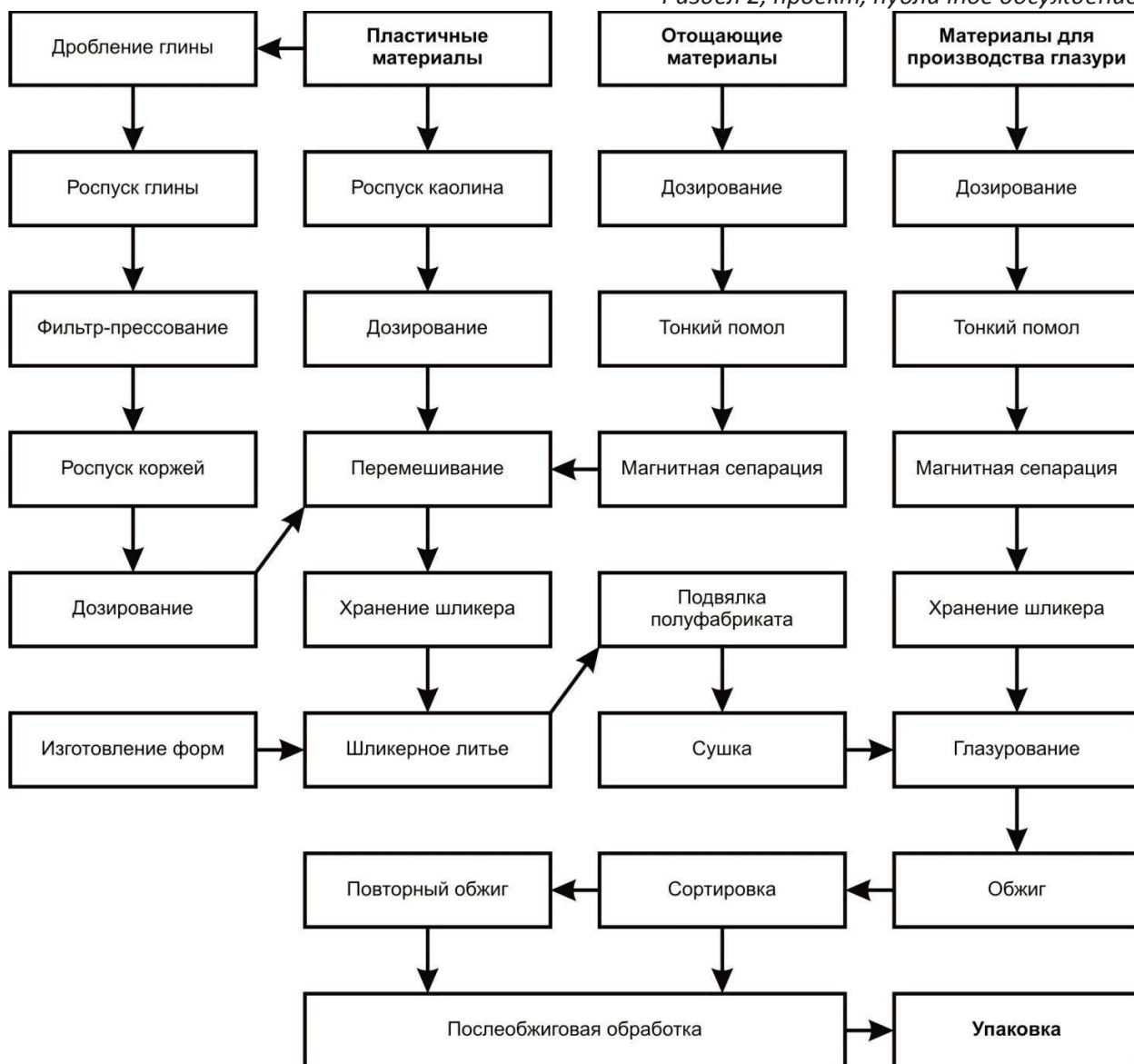


Рисунок 2.5.1 – Технологическая схема производства санитарно-технических изделий

Таблица 2.5.1 – Ориентировочные состав массы и глазури для производства санитарно-технических изделий

Наименование сырья	Содержание, %	
	в массе	в глазури
Каолины	25 – 33	2 – 7
Глины	10 – 26	1 – 5
Полевошпатное сырье	15 – 40	20 – 28
Кварцевый песок	20 – 30	20 – 27
Карбонатное сырье	0 – 3	8 – 10
Другие добавки	1 - 5	До 25
Бой изделий	0-10	0 – 3

2.5.2 Приготовление шликера и глазури

Начало технологического процесса изготовления санитарных керамических изделий – массоприготовление (приготовление шликера).

Основные задачи этого технологического передела – разрушение природной структуры сырьевых материалов, их дезагрегирование, удаление вредных примесей, правильное дозирование шихтовых компонентов и придание однородности массе путём тонкого измельчения компонентов.

Отощающие компоненты массы при необходимости подвергают грубому дроблению в щековых или конусных дробилках, мелкому дроблению на молотковых дробилках или бегунах.

Дробление глин при необходимости производят на горизонтальном стругаче.

При использовании глин с высоким содержанием вредных примесей (растворимых солей) применяют прессовый метод подготовки глин – роспуск в бассейнах с последующим обезвоживанием на фильтрпрессах и дальнейшим роспуском полученных «коржей».

Последующей операцией по приготовлению шликера является тонкий помол компонентов и приготовление водной суспензии пригодной для литья. Существует несколько методов приготовления шликера для производства СТИ – в зависимости от способа измельчения – совместный помол отощающих и глинистых компонентов, отдельный и комбинированный.

При отдельном и комбинированном методе для помола отощающих применяют шаровые мельницы мокрого помола, конусные или шаровые мельницы сухого помола. Роспуск глин производят в пропеллерных мешалках.

В процессе приготовления шликера проходит многократное ситовое и магнитное обогащение. Окончательной стадией приготовления шликера является доведение его до литьевых параметров при помощи электролитов и выдержка.

Для эффективного разжижения глинистого шликера используют электролиты (силикаты и карбонаты натрия, натриевые соли карбоновых кислот и др.), которые добавляют непосредственно при роспуске глинистых или при роспуске коржей, образовавшихся после фильтр-пресса. Количество электролитов обычно составляет 0,1 – 0,3 % от массы глинистых компонентов.

Отходы массы, образуемые при производстве СТИ (избыток шликера из форм, брак формования, подвялки и сушки, отходы оправки) возвращают в производство по отдельной технологической нитке, используя роспуск и фильтр-прессование.

Количество шликера, полученного из возвратных отходов и добавляемого в основной, не должно превышать 30 %.

Особое внимание при производстве СТИ уделяют качеству воды (содержанию в ней растворимых примесей), для эффективности процесса шликерного литья воду часто подвергают предварительной очистке. Качество воды особо важно при производстве СТИ способом литья под давлением.

Глазурь аналогично шликеру готовят путём совместного помола всех входящих в неё компонентов в шаровых мельницах мокрого помола. Соотношение материалов, воды и шаров обычно принято 1:1:1,3. Для лучшей адгезии к поверхности полуфабриката в состав глазури вводят клеящие вещества (карбометилцеллюлозу и её производные.).

2.5.3 Формование

Формование (шликерное литье) СТИ производят сливным или наливным способом в гипсовые и полимерные пористые формы.

Основные операции традиционного шликерного литья в гипсовые формы (сборка форм, заливка шликером, выдержка шликера в форме для набора массы, слив избытка шликера, выдержка набранного слоя для закрепления полуфабриката, разборка форм) выполняют с использованием механизированных стандов, на которых одновременно производят несколько десятков полуфабрикатов.

На участке формования (литья) обеспечивают стабильные температурно-влажностные условия, во многом определяющие продолжительность каждой стадии формования и качество продукта. После формования полуфабрикат извлекают из формы и отправляют на операцию оправки. В среднем в каждой форме станда осуществляют формование 1 – 2 полуфабрикатов в сутки.

Для формования используют рабочие гипсовые формы, изготовленные на гипсомодельном участке производства способом литья в специальные капы (матрицы). Капы производят из гипсоцементного раствора или синтетических смол, более прочных и обеспечивающих лучшее качество поверхности. Гипсовые

формы, вышедшие из употребления, утилизируют за пределами производства, например, на производствах цемента.

Более прогрессивным и получающим все большее внедрение способом формования СТИ служит высокопроизводительное шликерное литье под давлением в полимерные формы. Этот способ реализуется на автоматизированных прессах и стендах, на которых предварительно подогретый до 40 – 45 °С шликер подается под давлением 6 – 15 бар в пористые полимерные формы.

Процесс литья на таких установках включает в себя сборку формы, заливку шликера в форму под давлением, выдержку, сбор давления, разборку формы, извлечение полуфабриката и очистку формы. Весь процесс формования в автоматизированном прессе или стенде литья под давлением занимает 15 – 30 минут, что многократно превышает производительность процесса традиционного литья. Существуют также установки для литья под средним давлением (2 – 4 бар), использующие специальные гипсовые формы.

Преимуществом шликерного литья под давлением в полимерные формы является высокая производительность, точность размеров полуфабриката, хорошее качество поверхности полуфабриката, длительный срок службы форм. Недостатком литья под давлением является высокая стоимость оборудования и форм, оправданная при большой производительности участка формования.

2.5.4 Оправка и подвялка полуфабриката

После извлечения из форм полуфабрикаты дополнительно обрабатывают (оправляют), зачищая швы, заделывают технологические отверстия и трещины, прорезают монтажные отверстия.

Перед сушкой полуфабрикаты подвяливают в течение 24 – 48 часов, выдерживая в условиях цеха (влажность 45 – 55 %, температура 25 – 35 °С), после чего отправляют на сушку.

2.5.5 Сушка

Сушку полуфабриката проводят в камерных или туннельных сушилках при температуре 60 – 90 °С до влажности 1 %. Продолжительность сушки составляет от 6 до 20 часов. Для перемещения полуфабриката используют специальные тележки, на которых изделия устанавливают в один или несколько ярусов или конвейеры. Сушка осуществляется конвекцией теплоносителя (подогретого воздуха), нагнетаемого вентиляторами в пространство сушилки. Поток воздуха

распределяют по поперечному и продольному сечениям сушки, обеспечивая равномерный и постоянный съем влаги с поверхности полуфабриката.

После сушки полуфабрикат очищают от пыли, обдувая сжатым воздухом, смачивают поверхность проблемных мест полуфабриката керосином (керосиновый контроль) и подвергают визуальному осмотру на предмет обнаружения посечек и трещин.

2.5.6 Глазурование

Глазурование СТИ осуществляют способом распыления и полива как вручную, так и с использованием глазуровочных конвейеров и глазуровочных роботов.

Для некоторых изделий способы глазурования комбинируют (полив и распыление), добиваясь равномерного покрытия слоем глазури толщиной до 1 мм лицевых рабочих поверхностей.

После глазурования полуфабрикаты зачищают и отправляют к печам для обжига где устанавливают на обжиговые вагонетки. Перед обжигом глазурованные полуфабрикаты выдерживают 6 - 8 часов для подсушки нанесенного слоя глазури.

2.5.7 Обжиг

Обжиг СТИ проводят в туннельных, реже в камерных, печах при температурах 1200 – 1250 °С. Продолжительность обжига составляет от 12 до 20 часов.

Для реставрации («лечки») изделий с незначительными дефектами глазурного слоя, обнаруженными после обжига, проводят повторный обжиг в камерных печах при температурах 1050 – 1200 °С. Для реставрации дефектов изделий на проблемные места наносят глазурные препараты или изделия покрывают цветными глазурями со специальными эффектами. В некоторых случаях используют «холодную лечку» устраняя дефекты полимерными составами.

Для декорирования изделий иногда применяют деколи, которые наносят на глазурованные изделия, прошедшие обжиг, затем проводят повторный обжиг.

2.5.8 Сортировка и упаковка изделий

Прошедшие обжиг изделия сортируют, проводят функциональные испытания. Бракованные изделия, не подлежащие реставрации, отправляют в бой для дальнейшей переработки и использования в составе шликера.

Для улучшения качества изделий монтажные поверхности изделий могут подвергаться шлифованию.

Годные изделия упаковывают в специальную гофротару, комплектуя необходимой арматурой.

До отгрузки потребителю упакованные СТИ хранят на специализированных складах.

2.5.9 Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства

Основными решениями, направленными на сокращение негативного воздействия на окружающую среду и повышение ресурсоэффективности производства санитарно-технических изделий, являются:

- оптимизация состава сырья с целью уменьшения температуры обжига и сокращения его цикла;
- интерактивное компьютерное управление режимом обжига с целью снижения затрат энергии при обжиге;
- замена туннельных печей роликовыми, с укороченным циклом обжига и меньшим соотношением массы огнеприпаса к массе обжигаемых изделий [31];
- автоматизация сушилок с целью непрерывного контроля температуры и влажности;
- обеспечение эффективного пылеулавливания с применением рукавных фильтров или циклонов;
- установка систем сбора отходов глазури в местах их образования;
- повторное использование шлама в составе шликера;
- организация водооборота;
- использование пластиковых форм (капов) взамен гипсовых (гипсоцементных) с целью увеличения срока службы и улучшения качества полуфабрикатов;
- использование «холодных» способов реставрации изделий с дефектами поверхности;

- снижение уровня шума и вибрации путем улучшения изоляции источников, а также улучшение (если необходимо) звукоизоляции производственных зданий.

2.6. Керамика хозяйственно-бытового назначения

Данный раздел подготовлен российскими практиками с использованием отечественных и зарубежных источников информации, основными из которых являются учебник по химической технологии керамики [1, справочник ЕС [24] и энциклопедия по керамике [8].

Для изготовления керамических изделий хозяйственно-бытового назначения применяют широкий спектр материалов: твердый фарфор, мягкий (в т.ч. костяной) фарфор, фаянс, майолика и пр. Технологические схемы (технологические переделы) производства изделий из этих материалов достаточно близки. Различия состоят в используемых сырьевых компонентах, их соотношении, температурах обжига и приемах декорирования.

Технология керамических изделий хозяйственно-бытового назначения включает в себя следующие переделы:

- хранение сырьевых материалов;
- подготовка формовочной массы;
- формование;
- сушка;
- первый (утельный) обжиг;
- глазурование:
- второй (политой) обжиг;
- контроль, сортировка;
- декорирование
- третий (декорирующий) обжиг;
- контроль и упаковка.

2.6.1 Хранение сырьевых материалов

Для производства посуды и художественно-декоративных изделий применяют глины, каолины, кварц (кварцевый песок), полевые шпаты и породы, их содержащие (пегматит), а также карбонатные породы (доломит, мел, известняк), тальк и другие добавки.

Ориентировочные составы массы и глазури указаны в таблице 2.6.1. Большой разброс в содержании компонентов сырья объясняется разнообразием рецептуры для производства посуды: наряду с фарфоровой посудой (для которой характерно соотношение глинистых и каменистых компонентов примерно равное 1:1), получившей наиболее распространение, выпускают посуду из майолики, фаянса (с преобладанием глинистого сырья) и каменной керамики (в которой может отсутствовать глинистый компонент).

Таблица 2.6.1 – Ориентировочные составы некоторых масс для производства посуды

Наименование сырья	Содержание, мас. %				
	Твердый фарфор	Костяной фарфор	Твердый фаянс	Майолика	Каменная керамика
Каолины	50 – 55	25 – 40	25 – 50	0 – 25	0 – 50
Глины	0 – 25	–	15 – 40	25 – 40	0 – 50
Полевошпатное сырье	15 – 30	25 – 30	3 – 8	0 – 15	5 – 30
Кварцевый песок	10 – 35	–	30 – 50	30 – 40	20 – 70
Карбонатное сырье	–	–	–	0 – 35	–
Другие добавки	–	25 – 50*	0 – 35	–	–

* В костяном фарфоре в качестве плавня используется костяная зола

Типовая технологическая схема производства фарфоровых изделий представлена на рисунке 2.6.1.

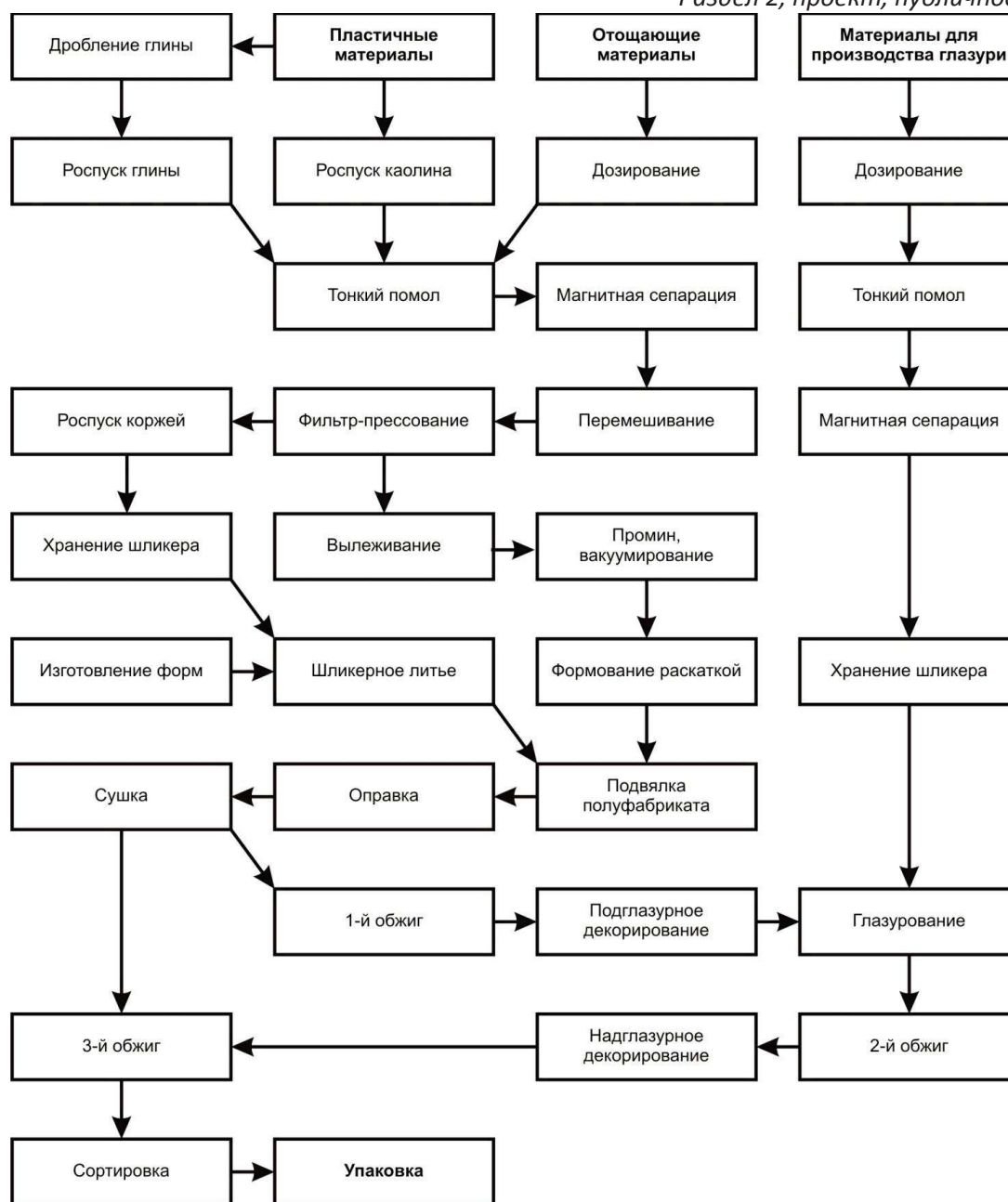


Рисунок 2.6.1 – Технологическая схема производства фарфоровых изделий хозяйственно-бытового назначения

В качестве примера производства керамической посуды рассмотрена технология фарфоровых изделий, как наиболее полно включающая в себя характерные технологические переделы, в той или иной степени, используемые и в технологии разнообразных керамических изделий хозяйственно-бытового назначения.

Сырьевые материалы поступают на склад в насыпном (глина, кварцевый песок) или упакованном (каолин, полевой шпат) виде и хранятся в отдельных

отсеках закрытого склада при поддержании стабильных условий влажности и температуры.

2.6.2 Подготовка формовочной массы

Керамические изделия хозяйственно-бытового назначения формуют пластичным формованием (раскаткой пласта) и методом шликерного литья в гипсовые формы. Для подготовки шликера глинистые материалы (глины, каолины) при необходимости предварительно измельчают в глинорезках и распускают в бассейнах с пропеллерными мешалками.

Каменистые компоненты массы (кварцевый песок, полевошпатные материалы и др.) подвергают дроблению в щековых дробилках и бегунах и тонкому помолу в шаровых мельницах. Полученный шликер процеживают через вибросита, подвергают магнитной сепарации и хранят при перемешивании в расходных бассейнах.

Для эффективного разжижения глинистого шликера используют электролиты (силикаты и карбонаты натрия, натриевые соли карбоновых кислот и др.), которые добавляют непосредственно при роспуске глинистых.

Компоненты глазури подвергают длительному помолу в шаровых мельницах, процеживанию и магнитной сепарации. Для получения глазурного шликера также используют электролиты.

Отходы массы, образуемые при производстве фарфора (избыток шликера из форм, брак сушки, отходы оправки) возвращают в производство по отдельной технологической нитке, используя роспуск, фильтр-прессование.

Особое внимание при производстве фарфоровой посуды уделяют качеству воды (содержанию в ней растворимых примесей), для эффективности процесса шликерного литья воду могут подвергать предварительной очистке, например, в установках обратного осмоса.

После роспуска в воде глинистых материалов (глин и каолинов) их смешивают с тонкоизмельченным (мокрый помол в шаровых мельницах) каменистым кварц-полевошпатным сырьем. Для удаления примесей железа шликер подвергают электромагнитной сепарации.

Полученную жидкую массу влажностью 55 – 60, а иногда и до 65 %, частично обезвоживают на фильтр-прессах до влажности 22 – 27 %. Отжатыю на фильтр-прессах массу подвергают гомогенизации и вакуумированию. После вылеживания, она готова к пластичному формованию.

При подготовке шликера для формования методом литья в гипсовые формы, полученную на фильтр-прессах массу, вновь распускают в мешалках, доводя влажность до оптимальных для получения требуемой текучести значений (29 – 33 %).

Пластичное формование. Для формования плоской и некоторых видов полых посуды (тарелок, блюдца, пиал и т. п.), имеющих примитивную форму тел вращения, используют раскатку пластичного пласта влажностью 23 – 25 % на гипсовых или пластмассовых формах с помощью формирующих роликов или шаблонов (см. раздел 2.1.3.4.2).

Шликерное литьё. Этот способ применяют в производстве в основном полых несимметричных и/или тонкостенных, а также декоративных изделий сложной формы. Суть метода состоит в том, что шликер заливают в пористую форму, обычно изготавливаемую из гипса. За счет капиллярного всасывания на внутренней поверхности формы происходит удаление воды из шликера и образование плотной отливки. При достижении необходимой толщины стенки шликер сливают и образовавшуюся в форме заготовку выдерживают до набора прочности необходимой для ее извлечения из формы. Такой способ шликерного литья называют сливным и используют для формования тонкостенных изделий. При наливном способе, используемом для формования толстостенных изделий, масса набирается в полости между двумя стенками полости гипсовой формы и заполняет её полностью (см. раздел 2.1.3.4.3).

Успешно внедряется на отечественных предприятиях формование посуды способами шликерного литья под давлением в полимерные формы и изостатического прессования (см. раздел 2.1.3.4.1).

После формования полуфабрикаты подвяливают и проводят оправку. К чашкам и чайникам приставляют (приклеивают шликером) заранее отформованные приставные детали (ручки и носики).

2.6.3 Сушка

Сушку отформованных изделий обычно проводят конвективным способом в вертикальных или горизонтальных конвейерных, а также в карусельных сушилах по режимам, установленным для каждого типа продукции в зависимости от массы и толщины стенки. Длительность сушки при этом определяется временем, необходимым для достижения необходимой влажности (1 – 2 %).

2.6.4 Первый (утельный) обжиг

Назначение первого обжига – упрочить полуфабрикат, поскольку относительно тонкий черепок необожженных изделий при последующем глазуровании размокает и деформируется под собственным весом.

Обычно утельный обжиг проводят при температурах 900 – 1100 °С (за исключением обжига фаянса, для которого температура первого обжига может достигать 1280 °С) в камерных печах периодического действия или в туннельных печах непрерывного действия.

По мере повышения температуры из материала испаряется остаточная (формовочная) и гигроскопическая влага, удаляется кристаллическая вода из структуры глинистых минералов, происходит выгорание органических примесей, содержащихся в минеральном сырье. Таким образом, фарфоровая масса в результате первого обжига уже не может вновь стать пластичной под воздействием воды.

2.6.5 Глазурование

Обычно глазурование посуды проводят методом окупания. При этом суспензия глазури равномерно покрывает изделие за счет того, что вода впитывается в пористый черепок, и на его поверхности остается тонкий слой твердых компонентов глазури. Толщина слоя регулируется длительностью погружения в суспензию глазури.

На этом же этапе происходит выбраковка изделий с дефектами от первого обжига.

После глазурования полуфабрикаты в специальных огнеупорных капсулах устанавливают на обжиговые вагонетки.

2.6.6 Второй (политой) обжиг

Назначение второго обжига фарфоровых изделий – спекание керамики до плотного состояния, а также расплавление и растекание расплава глазури по поверхности изделия. Для фаянса спекание завершается в процессе утельного обжига и, как для майолики, значительно упрочняет изделие, но не устраняет пористость.

В зависимости от минерального состава фарфоровой массы, температура политого обжига твердого фарфора составляет 1360 – 1430 °С, для других разновидностей хозяйственно-бытовой керамики температура этого обжига составляет от 950 до 1250 °С.

После политого обжига посуда приобретает весь комплекс технических свойств: постоянство размеров, прочность, твердость, химическую и термическую стойкость и ряд декоративных свойств, например, белизну и просвечиваемость.

2.6.7 Сортировка

На этом этапе происходит контроль дефектов изделий после политого обжига, их сортировка по наличию и количеству допустимых дефектов, а также комплектация сервизов/наборов по белизне.

2.6.8 Декорирование

Декорирование – завершающий этап формирования потребительских свойств изделий хозяйственно-бытового назначения. Техника, применяемая для декорирования, весьма разнообразна: аэрография, штамп, офсетная печать, деколь, отводка, ручная роспись и пр., а также их комбинации. Основная особенность декорирования керамической посуды состоит в использовании специальных «керамических» красок, которые обычно состоят из тугоплавких пигментов (15 – 20 масс. %) и флюсов. Пигменты представлены чаще оксидами или соединениями на их основе, а также и другими тугоплавкими соединениями металлов, образующие в результате термообработки, химически-стойкие, окрашенные соединения с флюсом, глазурью или черепком фарфорового изделия.

Также для декорирования используют люстры – тонкие, с эффектом перламутрового блеска пленки оксидов и металлов, образующиеся в результате декорирующего обжига из растворов органических соединений металлов (Mn, Co, Cr, Fe и другие, в том числе, благородных) в эфирных маслах и органических растворителях.

2.6.9 Третий (декорирующий) обжиг

Назначение декорирующего обжига – закрепление декора на поверхности глазури (или в её объеме). Обжиг проводят при температуре 720 – 880 °С. В ряде случаев, например, при многоцветном декоре, возможно неоднократное повторение «третьего обжига», в зависимости от температуры плавления флюсов и стойкости пигментов керамических красок различных цветов.

2.6.10 Контроль и упаковка

После выходного контроля и комплектации сервизов (наборов) продукцию упаковывают и отправляют потребителю или в сбытовые структуры предприятия.

2.6.11 Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства

Основными мерами по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства посуды и художественно-декоративных изделий являются:

- оптимизация состава сырья с целью уменьшения температуры обжига и сокращения его цикла;
- утилизация тепла отходящих газов;
- автоматизация сушилок с целью непрерывного контроля температуры и влажности;
- использование скоростных циклов обжига в роликовых печах;
- использование пластмассовых форм взамен гипсовых с целью сокращения твердых отходов;
- повышение эффективности системы пылеулавливания с применением рукавных фильтров;
- установка систем сбора отходов глазури в местах их образования;
- повторное использование шлама в составе шликера;
- организация водооборота.

2.7 Техническая керамика (изоляторы)

Данный раздел подготовлен специалистами в химической технологии керамики с использованием отечественных и зарубежных источников информации, основными из которых являются учебник по химической технологии керамики [1], справочник ЕС [24] и энциклопедия [8].

Универсальной технологической схемы для производства изделий технической керамики (ТК) не существует, поскольку для каждого из материалов используют специфическое сырье, требующее своих способов подготовки и формования. Сырьё для получения ТК – во многих случаях материалы искусственного происхождения. Для получения требуемых свойств изделий применяют наиболее эффективные и дорогие способы формования и спекания, такие как горячее прессование, горячее изостатическое прессование, импульсное спекание и др.

Наряду с ТК на основе искусственного сырья достаточно широко используют керамические материалы, полученные из традиционного, в том числе

глинистого сырья. В качестве примера производства ТК рассмотрена технология фарфоровых электроизоляторов.

2.7.1 Технология производства фарфоровых изоляторов

Технология производства фарфоровых электроизоляторов включает в себя следующие переделы:

- хранение сырьевых материалов;
- подготовка формовочной массы;
- формование;
- сушка;
- глазурирование:
- обжиг;
- контроль;
- сборка.

Общая технологическая схема представлена на рисунке 2.7.1, т. к. для производства фарфоровых изоляторов используют типовое сырье для производства фарфора (пластичные и отошающие компоненты) схема подобна технологическим схемам производства фарфоровой посуды и санитарно-технических изделий.

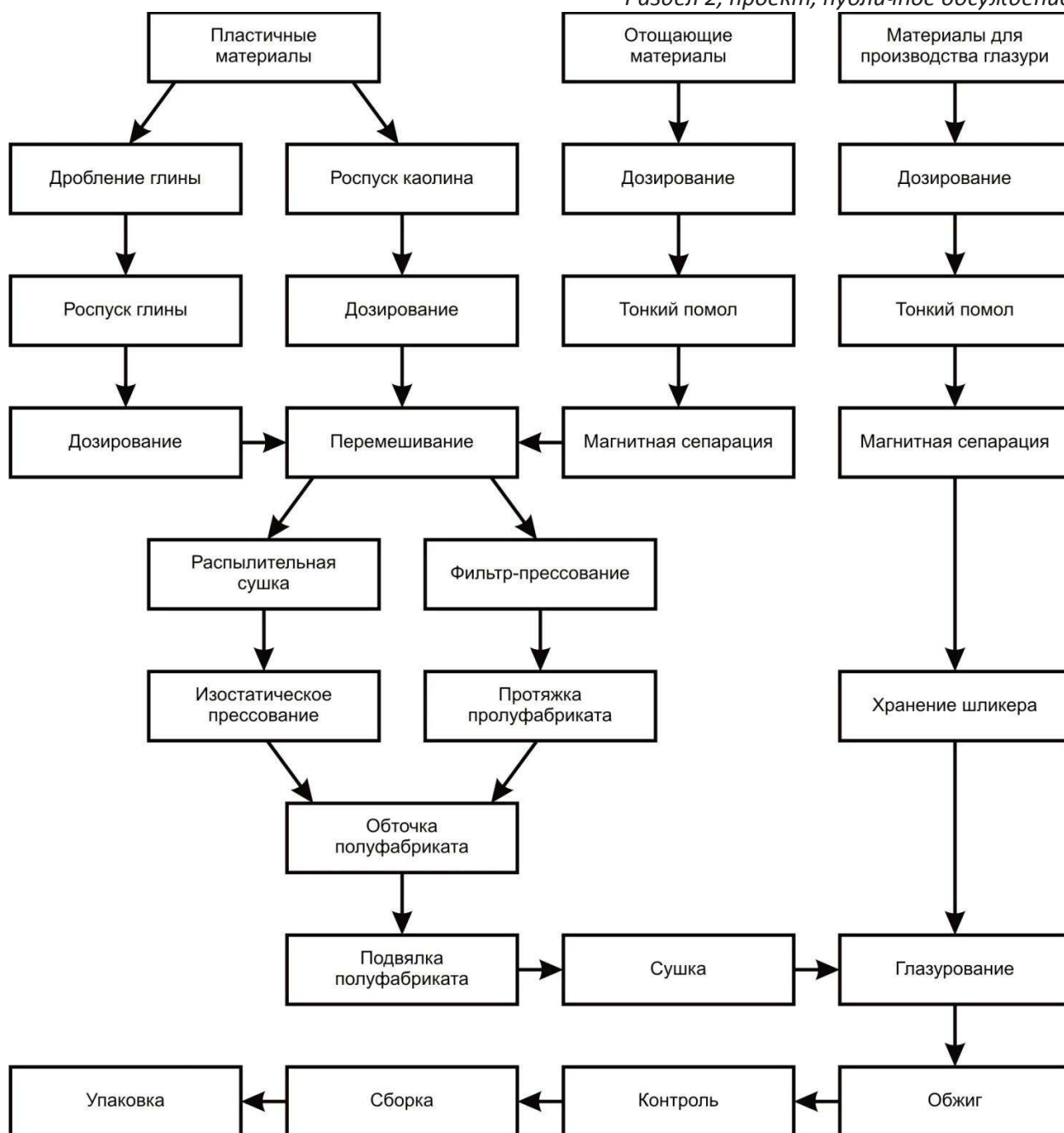


Рисунок 2.7.1 – Технологическая схема производства фарфоровых электроизоляторов

2.7.1.1 Хранение сырьевых материалов

Сырьем для производства фарфоровых электроизоляторов служат каолины, огнеупорные глины, кварцевый песок и полевошпатовые материалы (полевые шпаты, пегматиты). Для повышения электроизоляционных свойств в состав сырья нередко вводят глинозем. Типичные составы массы приведены в таблице 2.7.1.

Таблица 2.7.1 – Примерный состав массы и глазури для производства электрофарфоровых изоляторов

Компонент сырья	Влажность, %	Содержание, %	
		в массе	в глазури
Каолин	3-5	20 – 30	3 – 5
Глина	15-17	15 – 20	5
Полевошпатное сырье	1	35 – 40	13 – 25
Кварцевый песок	1	10 – 15	30 – 35
Карбонатное сырье	15	-	3 – 10
Другие добавки	-	До 5	До 15
Бой изделий	-	5 – 10	20 – 30

Сырьевые материалы поступают на склад в насыпном (глина, кварцевый песок) или упакованном (каолин, полевой шпат) виде и хранятся в отдельных отсеках закрытого склада при поддержании стабильных условий влажности и температуры.

2.7.1.2 Подготовка формовочной массы

Заготовки (полуфабрикат) фарфоровых изоляторов формуют способами пластического формования (протяжкой, штамповкой) и изостатического прессования для чего шликерным (мокрым) способом готовят пластическую массу и пресс-порошок. После роспуска в воде глинистых материалов (глин и каолинов) их смешивают с тонкоизмельченным (мокрый помол в шаровых мельницах в течение 6 - 8 часов) каменистым полевошпатным сырьем. Для избавление от электропроводных примесей железа шликер подвергают электромагнитой сепарации.

Тщательно перемешанный шликер обезвоживают до влажности 19 – 23 % (на фильтр-прессах) и до влажности до 4 – 6 % (в башенных распылительных сушилках). Для различных способов формования изделий полученную массу могут подсушивать (подвяливать) до влажности 17 – 21 %, а пресс-порошок

подсушивать до влажности 1 – 4 % или, напротив, увлажнять до влажности 12 – 14 %.

2.7.1.3 Формование

Несмотря на одинаковый состав массы, разнообразие видов и форм электроизоляторов определяет разнообразие способов их формования, что характерно для изделий технической керамики. Изоляторы формуют способами обточки на многорезцовых токарных станках трубчатых заготовок пластичных масс, подвяленных до влажности 17 – 19 %, способами штамповки в металлических формах пластичных заготовок с влажностью 19 – 23 %, раскаткой шаблонами пластов влажностью 22 – 23 % с последующей склейкой полученных деталей, прессованием порошков влажностью 12 – 14 %, изостатическим прессованием пресс-порошков с влажностью 1 – 4 %.

Некоторые типы изоляторов могут быть отформованы на высокопроизводительных автоматизированных роторных линиях, на которых обточка заготовок осуществляется одновременно несколькими вращающимися резцами.

После пластического формования полуфабрикаты подвяливают до влажности 17 – 18 % в условиях цеха и затем обтачивают на токарных станках. После прессования полуфабрикаты оправляют (зачищают). Полученные заготовки отправляют на сушку.

2.7.1.4 Сушка

Сушку полуфабрикатов обычно проводят конвективным способом в туннельных или камерных сушилках по режимам, соответствующим габаритам и особенностям формы конкретных видов изоляторов. Полуфабрикаты крупногабаритных изоляторов сушат в камерных сушилках.

Температура теплоносителя (подогретого воздуха) для сушилок конвективного типа составляет от 40 до 120 °С в зависимости от вида изолятора и стадии сушки. Длительность сушки определяется периодом времени, необходимым для достижения влажности 1 % (для малогабаритных изделий допустима влажность 2 %).

Крупногабаритные полуфабрикаты могут подвергать радиационно-конвективной сушке в камерных сушилках или сушке переменными токами, в том числе сушкой токами высокой частоты.

2.7.1.5 Глазурование

Глазурование проводят способом окунания, реже – распыления.

После глазурования полуфабрикаты зачищают и устанавливают на обжиговые вагонетки. Крупногабаритные глазурованные полуфабрикаты дополнительно подсушивают непосредственно перед обжиговой печью.

2.7.1.6 Обжиг

Обжиг фарфоровых изоляторов проводят в туннельных или камерных печах при температурах 1300 или 1430 °С. Продолжительность обжига составляет от 30 до 80 часов в зависимости от вида изоляторов.

2.7.1.7 Контроль и сборка фарфоровых изоляторов

После обжига изоляторы подвергают контролю с целью проверки физико-химических и, прежде всего, электрофизических характеристик.

Прошедшие контроль изоляторы подвергают после обжиговой обработки (шлифовки торцевых поверхностей) и сборки с установкой металлической арматуры.

Бракованные изоляторы разбивают и дробят до крупности кусков, необходимых для помола в шаровой мельнице. Измельченный бой используют при приготовлении глазури и фарфоровой массы.

2.7.2 Особенности производства изделий из технической керамики

Особенности технологий изделий ТК заключаются в разнообразии сырьевых материалов и способов их подготовки и обработки. Много видов ТК производится из специально получаемых искусственных видов сырьевых материалов. Для их спекания требуется применение ультрадисперсных порошков, особых способов обжига, а изготавливаемые детали столь разнообразны по своим габаритам и форме, что охватывают весь диапазон способов формования керамических изделий. В отличие от изделий строительной и хозяйственно-бытовой керамики, изделия ТК – детали, практически всегда требующие дополнительной обработки – шлифовки, полировки, нанесения покрытий и т. д. Ниже представлены некоторые подробности технологии ТК.

2.7.3 Сырьевые материалы

Компонентами сырьевых смесей для получения ТК служат природные минералы (минералы глин, кварц, тальк, магнезит и др.), материалы, полученные переработкой природных минералов и руд (оксиды алюминия, кальция, бария, титана и др.), так и специально синтезированные вещества (карбиды, нитриды, силициды и др.). Технология ТК может включать в себя стадии производства основных сырьевых компонентов, например, стадию высокотемпературного синтеза силикатов или титанатов.

Требования к чистоте и дисперсности сырья для производства ТК обычно выше, чем для других видов керамических материалов. В ряде случаев для производства изделий ТК используют ультрадисперсные (нано-) порошки, получаемые химическими способами, в том числе из газовой фазы.

2.7.4 Подготовка формовочной смеси

В технологии ТК используют все виды формовочных смесей – пресс-порошки, пластичные массы, шликера. В отличие от традиционных видов керамики нередко используют грануляты из ультрадисперсных порошков, комплексные полимерные связки, в качестве дисперсионной среды для шликеров – органические растворители. Количество компонентов сырьевых смесей для производства ТК может достигать 8 – 10, однородное распределение дисперсных компонентов выступающих в роли добавок, вводимых в малых количествах, представляет собой сложную задачу и достигается многоступенчатым смешиванием, использованием растворов.

2.7.5 Формование

В технологии ТК применяют как традиционные, так и редко используемые в других областях способы формования: горячее (инжекционное) литье из термопластичных шликеров, пленочное литье шликеров на термопластичной связке, изостатическое прессование.

Пресс-порошки в зависимости от содержания временной технологической связки формуют сухим одноосным или изостатическим прессованием (1 – 4 % связки), полусухим одноосным прессованием (6 – 8 %). В зависимости от пресс-порошка и формы изделия используют пневматические, гидравлические и механические прессы и гидростаты. Способами сухого и полусухого прессования

формуют изделия простой формы, изостатическим прессованием – сложной формы.

Пластическую массу формуют способом протяжки (экструзии) через мундштуки шнековых и поршневых прессов при содержании связки от 15 до 25 %. Таким способом формуют обычно удлиненные изделия постоянного сечения.

Для горячего шликерного литья на основе расплавов полимеров применяют порошки, высушенные до 0,1 % остаточной влажности и комплексные связки из нескольких полимеров (низкотемпературных полимеров – воска, парафина или высокотемпературных полимеров – полиэтилена, пролистирола и др.) и поверхностно-активных веществ. Количество связки обычно составляет от 8 до 12 %.

Шликеры на основе низкотемпературных термопластов формуют на литьевых машинах при температурах 70 – 100 °С, шликеры с высокотемпературными полимерными связками – на литейных машинах шнекового или поршневого типов при температурах 150 – 200 °С.

Способами горячего литья формуют малогабаритные изделия сложной формы.

Пленочное литье из термопластичных шликеров применяют для получения многослойных пластин изоляторов полупроводниковых приборов.

Традиционное шликерное литье из водных шликеров влажностью 28 - 35 % используют для формования тонкостенных полых изделий.

2.7.6 Удаление временной технологической связки

Особенностью этой стадии в технологиях многих видов ТК является удаление (выжигание) полимерной технологической связки, которое проводят в особых условиях (в тонкодисперсной засыпке) по длительному режиму нагрева. Использование особых режимов термического удаления полимерных связок особенно характерно для технологий изделий сложной формы, формируемых способами горячего шликерного литья (парафинового литья) и инжекционного формования. Полученные после выжига полуфабрикаты имеют небольшую прочность и требуют аккуратного обращения. Стадию удаления связки совмещают с предварительным или окончательным обжигом изделия.

2.7.7 Обжиг

Обжиг изделий ТК проводят в основном в высокотемпературных газовых камерных печах (горнах) или камерных печах электросопротивления. Для продукции массового спроса используют высокопроизводительные туннельные печи, в том числе печи электросопротивления, работающие в инертной среде или в среде азота.

Для обжига некоторых видов ТК используют высокотемпературные вакуумные печи электросопротивления с графитовыми или вольфрамовыми нагревателями, работающие в инертной среде или в среде азота.

Плотные изделия ТК получают способом горячего прессования в графитовых формах при температурах 1200 – 1800 °С и давлениях 100 – 200 МПа.

Для получения ряда изделий сложной формы используют горячее изостатическое прессование в газостатах, реализуя спекание в условиях высоких температур (до 2000 °С) и давлений (до 200 МПа).

2.7.8 Дополнительная обработка

Для технологии ТК характерно широкое использование как механической обработки изделий (шлифовки, полировки, резки), так и нанесения различного рода покрытий. К последним относятся не только защитные ангобы и глазури, но металлизация и припой.

2.7.9 Меры по сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства

Меры сокращению воздействия на окружающую среду и повышению ресурсоэффективности производства изделий технической керамики являются:

- оптимизация состава сырья с целью уменьшения температуры обжига и сокращения его цикла;
- использование по возможности сухого способа подготовки сырья;
- использование пластиковых и металлических форм взамен гипсовых;
- организация водооборота;
- интерактивное компьютерное управление режимом обжига с целью снижения затрат энергии при обжиге;

- снижение уровня шума и вибрации путем улучшения изоляции источников, а также улучшение (если необходимо) звукоизоляции производственных зданий.

ПРОЕКТ