

Строительные материалы и изделия

Проведите детальный анализ содержания учебника «**Строительные материалы и изделия**» под авторством Ю.Г. Барабанщикова, на страницах 119–128, 169-183. (Приложено ниже). Составьте конспект в рабочей тетради по теме «Керамические и стеклянные материалы».

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Керамическими называются материалы, которые получают в результате обжига до спекания отформованной сырьевой массы, состоящей из тонкодисперсного минерального сырья, содержащего чаще всего глину в качестве основного компонента.

По назначению керамические изделия подразделяются на три основные группы:

- 1) художественно-декоративная и хозяйственная керамика;
- 2) техническая керамика (электротехническая, радиотехническая, химически стойкая, огнеупорная);
- 3) строительная керамика, к которой относятся: стеновые материалы (кирпич и камни керамические); кровельные материалы (керамическая черепица); облицовочные материалы (облицовочные плитки стеновые, половые, фасадные, майолика, терракота); санитарно-технические изделия (умывальники, унитазы, писсуары, биде, смывные бачки, урны и т.д.); трубы (дренажные, канализационные); теплоизоляционные материалы.

Материал, из которого состоят керамические изделия, называется черепком. Различают изделия с пористым черепком, у которых водопоглощение по массе $V_m > 5\%$, и изделия с плотным черепком, у которых $V_m \leq 5\%$. К изделиям с пористым черепком относятся кирпич, дренажные трубы, керамзит. К изделиям с плотным черепком относятся клинкерный кирпич, плитки для пола, канализационные трубы.

В зависимости от внешнего вида черепка керамические изделия подразделяются на изделия грубой керамики, имеющие окрашенный черепок с неоднородной по размеру и окраске компонентов структурой, и изделия тонкой керамики, имеющие однородную структуру и однообразную, преимущественно белую, окраску.

На многие керамические изделия как пористого, так и плотного черепка в процессе их изготовления наносят тонкий поверхностный слой более или менее легкоплавкого стекла — глазури. Глазурь закрывает поры, сглаживает шероховатости поверхности, придавая ей гладкий и блестящий вид. В соответствии с этим все изделия могут быть разделены на глазурованные и неглазурованные. Неглазурованные изделия, в отличие от глазурованных, имеют матовую, шероховатую поверхность.

5.2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сырьевые материалы, применяемые в керамическом производстве, подразделяются на непластичные и пластичные.

Непластичные материалы — это различные природные или искусственные продукты, которые при добавлении к глине снижают ее пластичность. Они употребляются как добавки к глине для регулирования ее технических свойств, но в редких случаях используются в виде основного сырья (например, кварцит для получения динаса, магнезит для получения магнезитового кирпича).

В зависимости от назначения различают три вида непластичных материалов: отошающие добавки; плавни, или флюсы; порообразующие добавки.

Отошающие добавки (песок, шамот) применяются для снижения излишней пластичности глины. Они снижают усадку и коробление изделий при сушке и обжиге, тем самым повышая их качество.

Плавни, или флюсы (полевой шпат, мрамор, обсидиан), снижают температуру обжига, образуя легкоплавкие смеси (эвтектики) и позволяя получить расплав, необходимый для спекания черепка, уже при температуре 1 150 ... 1 300 °С.

Порообразующие добавки образуют поры, либо выгорая при обжиге (древесные опилки, каменноугольная мелочь, торфяная крошка), либо разлагаясь с выделением газов (карбонатные породы).

Пластичные материалы — это различные сорта глин, которые при затворении водой образуют пластичную массу, способную принимать и сохранять заданную форму.

Глина — распространенная тонкодисперсная горная порода, обладающая способностью при затворении водой давать легко

формулирующуюся пластичную массу и способностью превращаться после обжига в твердое камневидное тело.

Минералогический состав глин разнообразен. Например, минерал каолинит в некоторых глинах (каолинах) находится в количестве до 100 %, а в некоторых — почти совершенно отсутствует. Помимо каолинита в составе глин встречаются и другие глинообразующие минералы: монтмориаллонит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), гидрослюда и др.

Технические свойства глины определяют ее пригодность к получению керамических изделий надлежащего качества.

Пластичность глины — это способность глиняного теста деформироваться без разрывов и трещин. Глины, дающие высокопластичное тесто, называются *жирными*, а глины, дающие низкопластичное тесто, — *тощими*. Жирные глины в отличие от тощих требуют больше воды для получения той же пластичности теста. Вследствие этого изделия из жирных глин при высыхании сильно уменьшаются в объеме и дают трещины.

Цвет глины после обжига определяет, для какого вида изделий — грубой или тонкой керамики — может быть применена данная глина.

Чистые глины, состоящие только из водных алюмосиликатов (каолинита и др.), после обжига дают белый цвет и называются *беложгущимися*.

Наиболее частой примесью, вызывающей окраску глин после обжига, являются соединения железа. Чем больше содержание оксидов железа в глине и чем выше температура ее обжига, тем интенсивнее получается окраска. Кирпич, обожженный при недостаточно высокой температуре (недожог), всегда слабее окрашен, чем нормально обожженный кирпич, имеющий обычно ровную красную окраску. Пережженный кирпич, наоборот, имеет цвет от бурого до синевато-черного.

Огнеупорность глин — это та температура, при которой происходит потеря формы (падение) образца глины в виде трехгранной пирамидки и которую принимают за температуру плавления $t_{\text{пл}}$, поскольку глины плавятся в некотором интервале температур. По температуре плавления глины подразделяются на огнеупорные ($t_{\text{пл}} > 1580^\circ\text{C}$), тугоплавкие ($t_{\text{пл}} = 1350 \dots 1580^\circ\text{C}$) и легкоплавкие ($t_{\text{пл}} < 1350^\circ\text{C}$).

Огнеупорность глин тем выше, чем они чище, поэтому из числа глинистых материалов наибольшую огнеупорность будет иметь совершенно чистый каолинит, который плавится при температуре 1770°C . Примеси в глинах понижают температуру их плавления.

ния. Огнеупорность глины можно понизить добавкой к ней плавней (флюсов).

Интервал плавкости глин — это разность между температурой плавления и температурой спекания глин. Если интервал плавкости мал, то существует опасность, что некоторые изделия при обжиге будут расплавлены, так как заводские печи не обеспечивают равномерную температуру по всему пространству и отклонения ее в более высокую сторону могут превысить интервал плавкости.

Чем выше температура обжига, тем больше образуется расплава и тем более спекшийся (более плотный) получается черепок. В керамике за температуру спекания принимают ту температуру обжига, при которой водопоглощение получаемого черепка составляет 5 %.

Усадка (воздушная) — уменьшение размеров изделия в результате его высыхания; *огневая усадка* — уменьшение размеров изделия в результате обжига. *Общей усадкой* называется суммарное изменение размеров изделия в результате сушки и обжига. Введение отошающих добавок позволяет снизить усадку.

5.3. ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Несмотря на все многообразие керамических изделий и применяемого для их изготовления сырья важнейшие процессы при их производстве, различаясь в деталях, по существу одни и те же. Получение керамических изделий состоит в основном из следующих технологических операций:

- 1) подготовка сырой керамической массы;
- 2) формование изделий;
- 3) сушка изделий и отделка их в необожженном виде;
- 4) обжиг изделий;
- 5) глазурирование изделий (может предшествовать обжигу или выполняться после предварительного обжига с последующим обжигом для закрепления глазури).

Приготовление керамической массы. В общем случае керамическая масса состоит из четырех компонентов: глины (или смеси глин); отошителя; флюса и воды. В некоторых случаях, при подходящих природных глинах, отсутствует необходимость в использовании отошителя или флюса. При необходимости получения пористого черепка в массу вводят порообразующие материалы.

Для того чтобы точно дозировать и равномерно смешивать с другими компонентами, глину подвергают сначала грубому, а затем тонкому измельчению. Необходимым условием нормальной работы агрегатов тонкого помола является невысокая влажность глины (не выше 7...10 %). Поэтому излишне влажную глину сушат в сушильных барабанах сразу после грубого измельчения дробилками или глинорезками.

При другом способе производится помол всех компонентов в шаровых мельницах мокрого помола. Полученную керамическую суспензию пропускают через вибрационное сито и подвергают распылительной сушке, получая пресс-порошок влажностью 5...7 %.

Для производства доброкачественных изделий необходимо придать глине высокую однородность, для чего ее перемешивают в глиномешалках, при необходимости доувлажняя и иногда разогревая для повышения пластичности.

Выбор схемы подготовки керамической массы осуществляется с учетом как особенностей сырьевых материалов, так и способа последующего формования, для которого главным моментом является влажность W сырьевой смеси. Существуют три наиболее часто применяемых способа подготовки керамической массы: полусухой ($W = 7...12\%$), пластический ($W = 17...22\%$) и мокрый ($W > 30\%$).

Формование керамических изделий. Формование керамических изделий осуществляют пластическим способом, полусухим прессованием и шликерным литьем.

Пластическое формование ($W = 17...22\%$) осуществляют при помощи *шнекового (ленточного) пресса*. Современный безвакуумный ленточный пресс — сложный агрегат, однако принцип его работы чрезвычайно прост (рис. 5.1). Керамическая масса через воронку 1 и нагнетательные валки 2 подается на лопасти шнека (червяка) 4, который, вращаясь вокруг своей оси, захватывает массу и перемещает ее в сторону сужающейся части — головки 5. На выходе из головки устанавливается съемная насадка — мундштук 6, отверстие в котором имеет ту или иную форму, зависящую от конкретного изделия. При изготовлении кирпича мундштук имеет прямоугольное отверстие размером 250×120 мм. Под действием давления (1,6...7,0 МПа), развиваемого шнеком, масса выдавливается через отверстие мундштука и выходит в виде непрерывной глиняной ленты, которая разрезается на отдельные кирпичи стальными струнами.

Методом пластического формования изготавливают как полнотелый, так и пустотный (многодырчатый) кирпич, трубы, черепи-

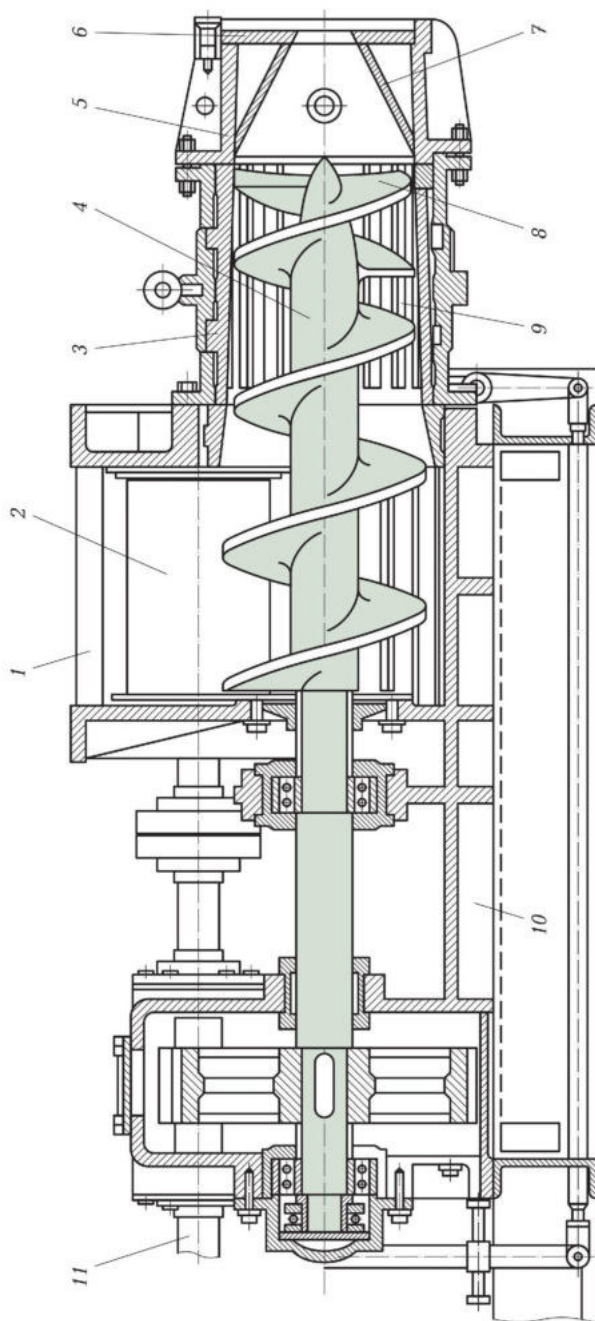


Рис. 5.1. Безвакуумный ленточный пресс:

1 — приемная часть (воронка); 2 — нагнетательный валок; 3 — цилиндр; 4 — шнек; 5 — головка; 6 — мундштук; 7 — рубашка; 8 — выпорные лопасти; 9 — ребра; 10 — станина; 11 — вал

цу и другие изделия. При производстве керамических труб используют вертикально формующие шнековые прессы.

Полусухое прессование производится при высоком давлении (25...35 МПа). В этом случае оптимальное содержание влаги в рабочей массе должно составлять 7...12 %. Формование осуществляется на механических и гидравлических прессах. Упрощенная схема формования этим способом показана на рис. 5.2. Прессование производится в пресс-форме 4, куда из бункера 1 с помощью каретки 3 переносится порция пресс-порошка (рис. 5.2, а). Одновременно при движении вправо каретка сталкивает отформованный сырец 6 (рис. 5.2, в) на приемное устройство (на рис. 5.2 не показано).

При обратном движении каретки (влево) нижний штамп 5 опускается и пресс-порошок заполняет пресс-форму (рис. 5.2, а). После этого опускается и входит в пресс-форму верхний штамп 2, производя предварительное уплотнение массы при давлении около 2 МПа, в результате чего ее объем уменьшается на 30...35 % (рис. 5.2, б). Дальнейшее прессование производится нижним штампом в две ступени. На первой ступени создается давление около 9 МПа. После этого нижний штамп опускается вниз, давая выход отжатому из прессуемой массы воздуху. Если этого не делать, то воздух, расширяясь после снятия давления, разрыхлит отформованное изделие. Окончательное прессование производится при давлении около 30 МПа.

Полусухим прессованием получают керамические плитки, кирпич, черепицу. Этот способ формования имеет преимущество пе-

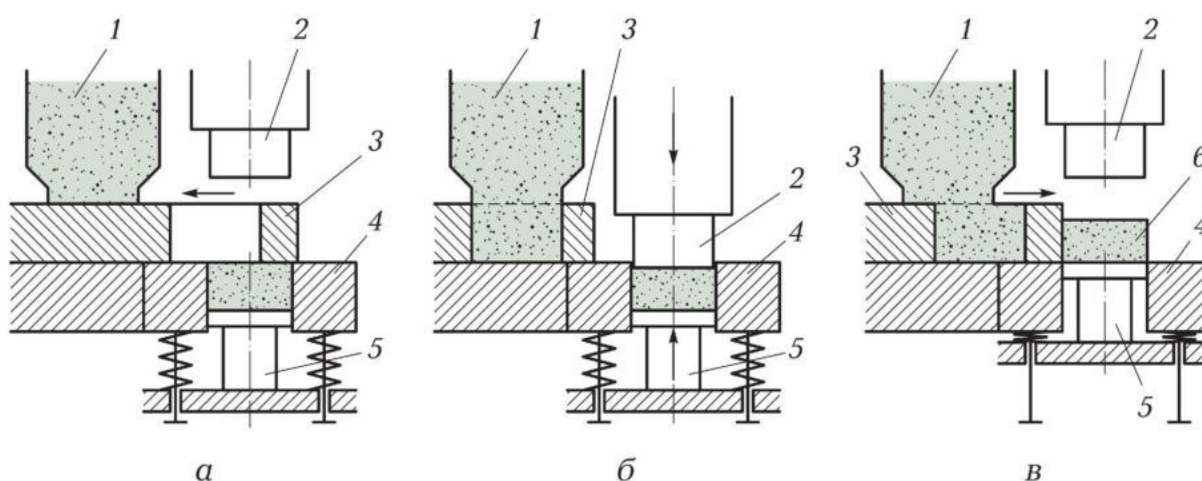


Рис. 5.2. Последовательность (а...в) полусухого прессования кирпича:

1 — бункер с пресс-порошком; 2 — верхний штамп; 3 — каретка;
4 — пресс-форма; 5 — нижний штамп; 6 — кирпич-сырец

ред пластическим — при нем практически не требуется сушки изделий и они могут сразу направляться на обжиг.

Шликерное литье керамических изделий основано на способности затвердевшего гипса впитывать воду. Применяют три способа литья: сливной; наливной; комбинированный.

При сливном способе формования жидкую керамическую массу (шликер) наливают в гипсовую форму, пористые стенки которой впитывают влагу, отнимая ее от шликера, вследствие чего по внутренней поверхности формы образуется сплошной равномерный слой загустевшей массы (рис. 5.3, а). Когда этот слой приобретет нужную толщину, избыток шликера сливают, а изделие оставляют еще на некоторое время в форме для высыхания (подвялки), вследствие чего оно дает усадку и легко отстает от стенок формы.

При наливном способе шликер заливают в пространство между сопрягаемыми частями разъемной формы. При этом способе процесс уплотнения массы протекает быстрее, так как влага отби-

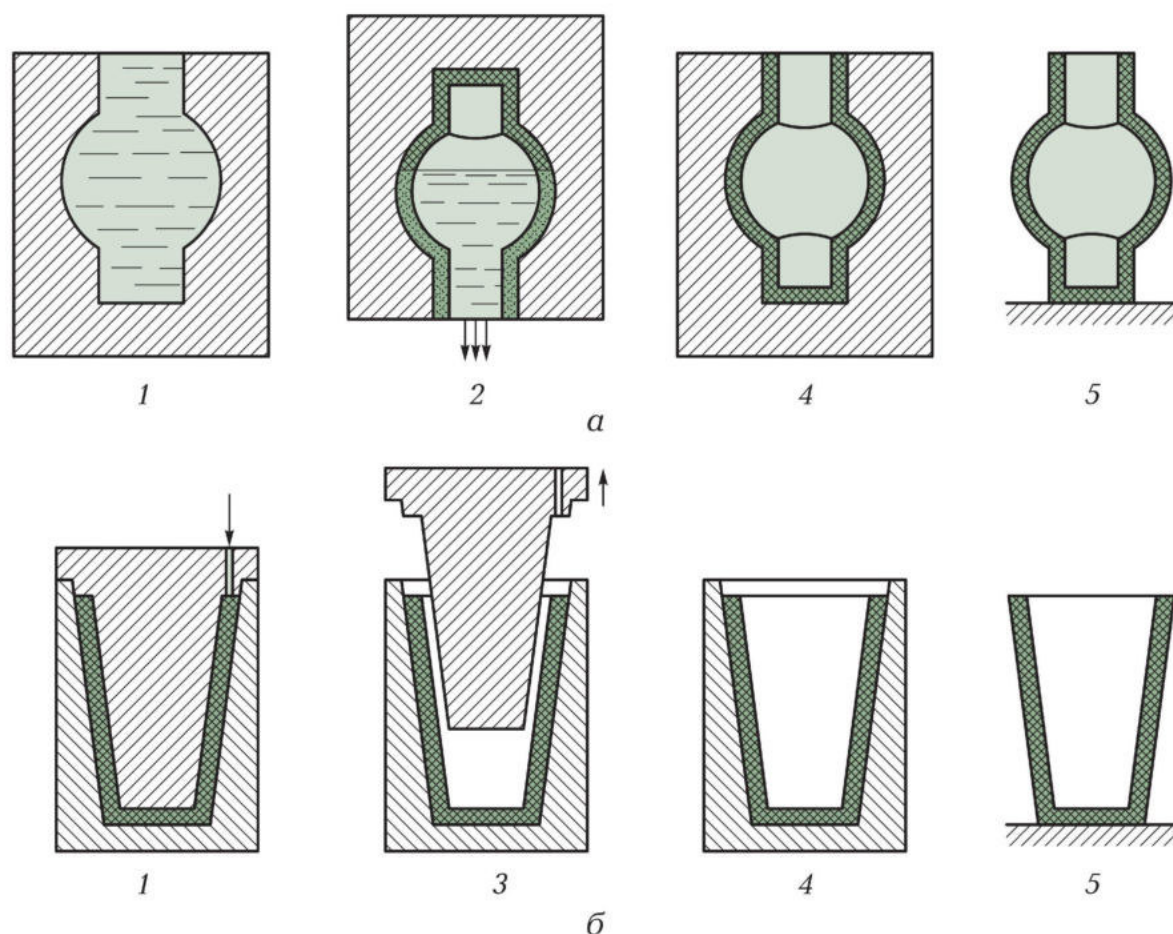


Рис. 5.3. Способы шликерного литья:

а — сливной; б — наливной; 1 — заливка шликера; 2 — слив излишнего шликера; 3 — разъем формы; 4 — подвялка; 5 — отформованные изделия

рается и с наружной, и с внутренней поверхностями заготовки (рис. 5.3, б). В отличие от сливного наливной способ позволяет формовать изделия более сложной формы и с большей точностью размеров.

В некоторых случаях целесообразно использовать оба способа (комбинированный способ). Например, у раковин и умывальников «тело» чаши — наливное, а полые борта — сливные.

Методом литья изготавливают тонкостенные фаянсовые и фарфоровые санитарно-технические изделия, посуду, вазы, статуэтки, химическую посуду и приборы. Этот способ в отличие от других позволяет изготавливать изделия сложной формы.

Сушка изделий. Сушка изделий осуществляется в сушилках разнообразных конструкций (камерных, туннельных). Сушка керамических изделий является трудоемкой стадией производства, так как в процессе сушки получается большой процент брака вследствие образования трещин и деформации заготовок.

Глазурование керамических изделий. Глазурью называется тонкий стекловидный слой, наносимый на поверхность керамического изделия с целью придать ему красивый внешний вид и одновременно повысить водонепроницаемость и стойкость к химическим и механическим воздействиям. По составу и физическим свойствам глазури представляют собой разновидности стекол. Для приготовления глазури используют природные материалы, содержащие кремнезем и глинозем (кварцевый песок, глину, полевошпат, тальк и др.), а также соли и оксиды различных металлов: калия, натрия, лития, бора, кальция, магния, бария, цинка, свинца, олова и т.д. Оксиды металлов придают глазури ту или иную окраску, улучшают блеск и другие свойства, понижают температуру плавления глазури.

Глазури могут быть прозрачными и непрозрачными (глухими). И те, и другие могут быть окрашенными и бесцветными.

Тонко измельченную глазурь смешивают с водой для получения суспензии с консистенцией сливок (плотностью 1 350... 1 400 кг/м³) и наносят на поверхность изделия путем полива, окунания или пульверизации. Во время обжига глазурь расплавляется, растекается по поверхности и при охлаждении превращается в стекловидный слой.

Обжиг керамических изделий. Обжиг позволяет осуществить необратимое превращение керамической массы в твердое камневидное тело. Этот процесс называется спеканием.

Процессы при обжиге начинаются с испарения той части механически примешанной воды, которая целиком не была удалена

из изделия при сушке. При дальнейшем повышении температуры в интервале от 500 до 800 °С происходит выделение химически связанной воды. При этом, например, каолинит переходит в метакаолинит: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \uparrow$. В интервале температур от 800 до 900 °С происходит диссоциация глинообразующих минералов, например метакаолинита: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$, а также присутствующего в массе углекислого кальция: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Оксид кальция, так же как и остальные оксиды металлов, при последующем повышении температуры начинает реагировать с кремнеземом и глиноземом, образуя легкоплавкие смеси различных силикатов и алюмосиликатов. Количество образующегося расплава увеличивается по мере нагрева; в соответствии с этим изменяются и свойства черепка. Сначала пористый черепок начинает постепенно уплотняться и терять свою пористость, превращаясь в плотный клинкер. Для получения пористых изделий обжиг проводят при невысокой температуре. Если же необходимо получить изделие с плотным каменным черепком, то температуру повышают до такого значения, при котором количество расплава становится достаточным для заполнения всех промежутков и пустот между нерасплавленными частицами.

Температура обжига различных изделий строительной керамики составляет от 900 до 1 700 °С.

Печи для обжига, применяемые в керамической промышленности, в основном непрерывно действующие. По форме печного пространства современные печи бывают туннельными и щелевыми.

Туннельная печь представляет собой длинный (100...160 м) узкий канал, выложенный изнутри огнеупорным кирпичом. Зона обжига в этой печи располагается примерно посередине. Обжигаемые изделия помещаются на вагонетки и вкатываются в печь одна за другой, образуя сплошной поезд. При вдвигании новой вагонетки с одного конца печи весь поезд перемещается так, что с другого конца выталкивается вагонетка с уже обожженным материалом. Туннельные печи используются при производстве кирпича, керамических труб, сантехнических изделий.

Щелевые печи применяются для обжига керамической плитки и черепицы. Они работают подобно туннельным печам, но имеют очень узкий щелевидный канал, в который подаются изделия с помощью роликового конвейера. Ширина канала щелевых однорядных печей — от 0,9 до 2,5 м, высота — 0,6...0,8 м; длина щелевой печи — от 24 до 65 м.

СТЕКЛО И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для получения минеральных расплавов и изделий из них применяют сырьевые материалы, температура плавления которых не превышает 1 400 ... 1 500 °С. Таких исходных продуктов существует всего три вида: стеклянная шихта, горные породы и шлаки (металлургические и топливные). Один и тот же минеральный расплав в зависимости от скорости охлаждения и ряда других условий может затвердевать в аморфном (стеклообразном) или кристаллическом состоянии. Поэтому материалы, получаемые из расплавов, по структуре (а следовательно, и по свойствам) подразделяются на две группы: стеклообразные (СОМ) и стеклокристаллические (СКМ), или ситаллы*. К первым относятся стекло, каменное литье и шлаковое литье; ко вторым — стеклоситаллы, получаемые из специальных по составу стекол, петроситаллы, изготавливаемые из горных пород, и шлакоситаллы — продукты переработки шлаков. Стеклообразные материалы могут быть плотными (листовое стекло), ячеистыми (пеностекло) и волокнистыми (стекловата, каменная вата, шлаковата).

7.2. СОСТАВ И СТРУКТУРА СТЕКЛА

В зависимости от вида стеклообразующих кислотных оксидов стекла подразделяются на силикатные (SiO_2), алюмосиликатные (Al_2O_3 и SiO_2), боросиликатные (B_2O_3 и SiO_2), бороалюмосиликатные и др. Помимо стеклообразующих компонентов (Al_2O_3 , SiO_2 и B_2O_3) стекла содержат также различные основные

* Термин «ситалл» образован из слов «стекло» и «кристалл».

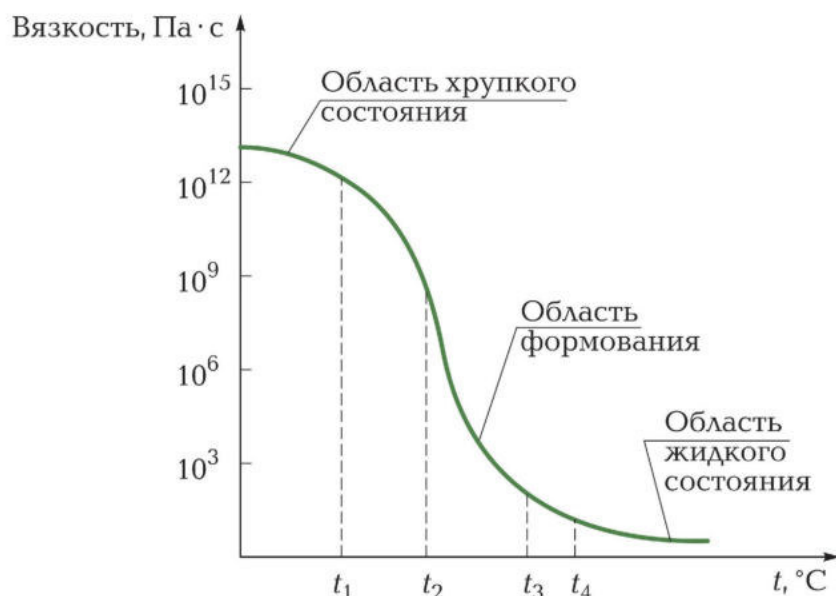


Рис. 7.1. График зависимости вязкости стекла от температуры:
 t_1 — температура стеклования; $t_2 \dots t_3$ — интервал температур формования; t_4 — температура разжижения

оксиды: Li_2O , K_2O , Na_2O , BeO , CaO , MgO , SrO , BaO , ZnO , CdO , PbO и др. В состав строительного (оконного) стекла кроме кремнезема (SiO_2) входят Na_2O , CaO и небольшие количества MgO и Al_2O_3 .

При высокой температуре (выше $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$) минеральные стекла образуют расплав, представляющий собой истинный раствор химических соединений. При быстром охлаждении стекольного расплава атомы не успевают выстроиться в строгом порядке, как это происходит в кристаллах. Стеклообразная структура вещества по степени упорядочения частиц является промежуточной между беспорядком в расплаве и идеальным порядком в кристаллическом состоянии.

Стекла не имеют точки плавления; они характеризуются температурным интервалом размягчения. Вязкость расплавленного стекла в среднем при $1\,480 \dots 1\,500\text{ }^\circ\text{C}$ составляет $9 \dots 11\text{ Па}\cdot\text{с}$, а при затвердевании возрастает до $10^{12} \dots 10^{13}\text{ Па}\cdot\text{с}$ (рис. 7.1). Стекло формуют, когда вязкость колеблется в диапазоне $10^2 \dots 10^8\text{ Па}\cdot\text{с}$, что имеет место в сравнительно узком температурном интервале $t_2 \dots t_3$ ($800 \dots 1\,100\text{ }^\circ\text{C}$). Ниже температуры стеклования t_1 (для силикатных стекол $400 \dots 600\text{ }^\circ\text{C}$) стекло становится хрупким. Эта температура неодинакова для различных стекол; ей соответствует одинаковая для всех стекол вязкость, равная $10^{12}\text{ Па}\cdot\text{с}$.

Выше температуры t_2 (приблизительно в диапазоне 700...850 °С) в стекле начинают проявляться свойства, характерные для жидкости. При этой температуре из стекла можно вытягивать тонкие нити.

Стекла имеют склонность к кристаллизации. Образующиеся кристаллы нарушают прозрачность и понижают прочность стекла. Для подавления кристаллизации в состав стекол вводят специальные добавки.

7.3. СВОЙСТВА СТЕКЛА И ЕГО ПОЛУЧЕНИЕ

Свойства стекла. В отличие от кристаллических веществ стекла изотропны, прозрачны и чрезвычайно хрупки. Свойства стекол можно изменять термической, химической или механической обработкой.

Обычное листовое стекло имеет плотность, равную 2 500...2 600 кг/м³. Его твердость колеблется от 5 до 7 по шкале Мооса. Прочность стекла составляет: при сжатии — 500...2 000 МПа; при растяжении — 30...60 МПа; при изгибе — 35...70 МПа. Модуль упругости при растяжении находится в пределах $(4,5...8,5) \cdot 10^4$ МПа.

Получение стекла. Изготовление стекла включает в себя подготовку сырьевых компонентов, составление шихты, варку стекла (расплавление шихты и гомогенизацию расплава), формование, отжиг, резку, шлифовку и полировку изделий, нанесение рисунка (для некоторых видов изделий).

Сырьем для производства бесцветного строительного стекла являются кварцевые маложелезистые пески, кальцинированная сода или сульфат натрия, известняк, доломит и др. Варят стекло в ваннах печей непрерывного действия. В процессе варки при 800...900 °С происходят твердофазовые реакции с образованием силикатов, которые спекаются с кремнеземом. При температуре около 1 200 °С спекшаяся масса расплавляется и происходит взаимное растворение силикатов и кремнезема. При дальнейшем нагревании до 1 400...1 500 °С из жидкой стекломассы выделяются газовые пузырьки, она осветляется и становится однородной.

Листовое стекло формируют машинным вытягиванием, горизонтальным прокатом и флоат-процессом.

Способ машинной вытяжки стекла, разработанный Эмилем Фурко в 1902 г., используют при производстве плоского неполированного стекла. Существует несколько разновидностей этого способа.

При лодочном способе вертикального вытягивания (рис. 7.2, а) ленту стекла 6 вытягивают из стекломассы 4 через сквозную щель шамотной лодочки 3 с помощью асбестовых вытягивающих валков 7 машины. За время движения от лодочки до валков лента охлаждается водяными холодильниками 2 до состояния, исключающего ее деформацию. Камера формирования 5 отделена от остального пространства глухим ограждающим мостом 1, погруженным в стекломассу на 50... 150 мм.

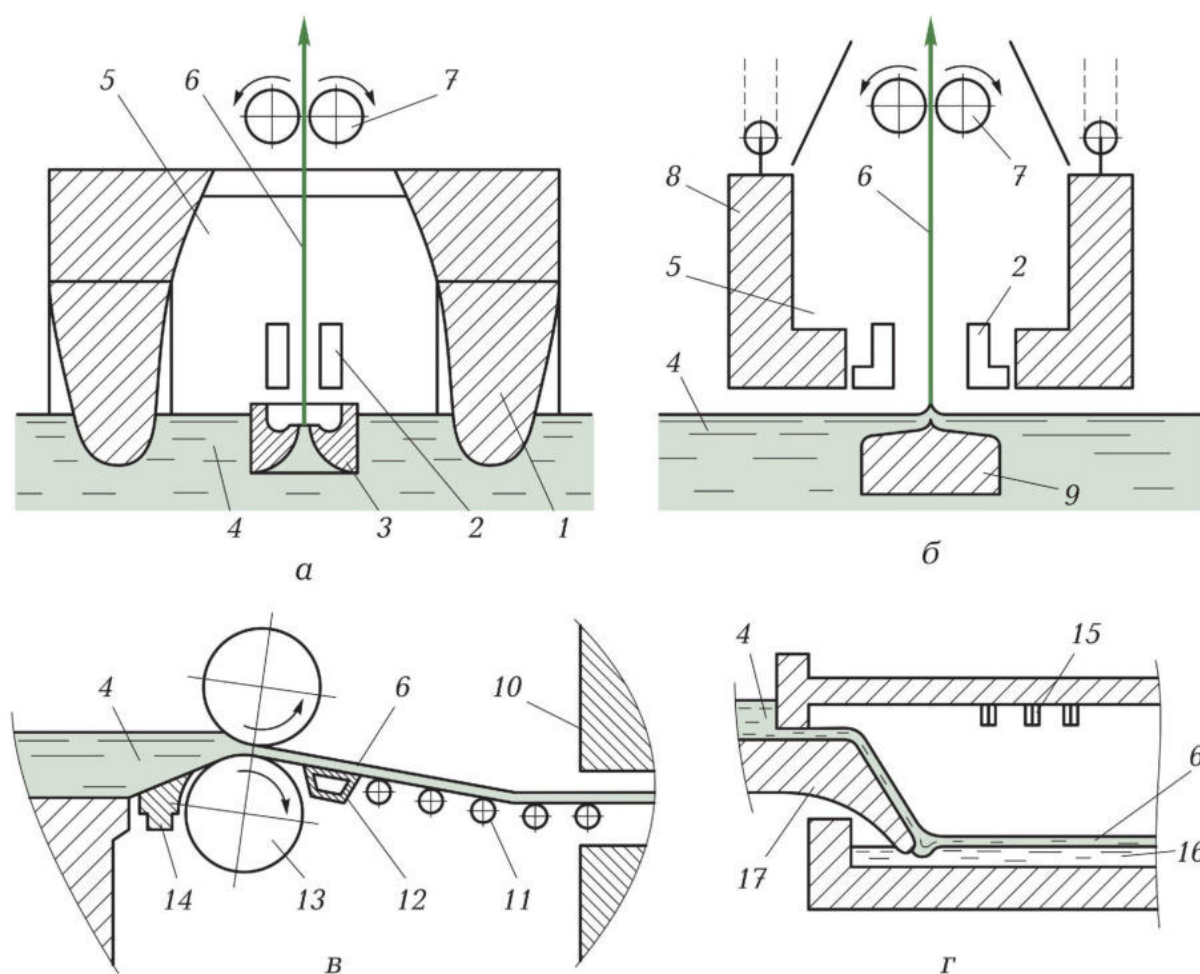


Рис. 7.2. Формование листового стекла:

а, б — соответственно лодочный и безлодочный способы вертикального вытягивания; в — горизонтальный прокат; г — флоат-процесс; 1 — ограждающий мост; 2 — холодильник; 3 — шамотная лодочка; 4 — стекломасса; 5 — камера формирования; 6 — лента стекла; 7 — вытягивающие валки; 8 — шамотные экраны; 9 — шамотное погружаемое тело; 10 — печь для отжига; 11 — валки роликового конвейера; 12 — охлаждаемая плита; 13 — охлаждаемые прокатывающие валки; 14 — приемный лоток; 15 — нагреватели; 16 — расплав олова; 17 — приемный лоток

Безлодочный способ вертикального вытягивания стекла со свободной поверхности стекломассы обеспечивает более высокое качество стекла и более высокую производительность. Необходимый для формования вязкостный контур стекла создается с помощью подвесных шамотных экранов 8 и холодильников 2 (рис. 7.2, б). Для выравнивания потока стекломассы, а также ее температуры и вязкости применяются шамотные тела 9, погружаемые под уровень ванны.

Горизонтальный прокат заключается в пропускании вязкой стекломассы между двумя металлическими валками, охлаждаемыми водой (рис. 7.2, в). При этом поверхность получается шероховатой (кованой), а стекло — непрозрачным. Поэтому после отжига стекло подвергают двухстороннему механическому шлифованию и полированию. При изготовлении узорчатого стекла верхний прокатывающий валок имеет рельефный рисунок. Прокатным способом получают также армированное стекло. При этом в формуемую ленту закатывают металлическую сетку.

Флоат-процесс, разработанный в 1959 г. фирмой Pilkington, позволяет получать стекло наиболее высокого качества. Формование листа этим способом происходит на поверхности расплавленного металла (рис. 7.2, г). Для предупреждения окисления металла во флоат-ванне предусмотрена азотно-водородная газовая среда.

После формования (при всех способах) лента стекла сразу же подвергается отжигу с целью снижения полученных при формовании температурных напряжений. Отожженное стекло поступает затем на участки резки, сортировки и упаковки листов.

7.4. ПОРОКИ СТЕКЛА И МЕТОДЫ ЕГО УПРОЧНЕНИЯ

Пороки стекла. *Газовые включения* — пузырьки газов (O_2 , N_2 , CO , CO_2 , SO_2 , H_2O и др.), образующихся при варке в результате термического разложения продуктов и химических реакций.

Стекловидные включения — результат попадания в стекломассу инородных минеральных веществ.

Кристаллические включения: 1) нерастворившиеся в расплаве зерна исходных компонентов (песка, глинозема, известняка, мела и др.) или продукты разрушения огнеупоров; 2) продукты кристаллизации стекломассы (рух — потеря прозрачности).

Методы упрочнения стекла. *Термический метод* упрочнения стекла сводится к его закалке путем нагрева выше температуры стеклования t_1 и быстрого равномерного охлаждения в потоке воздуха.

В результате закалки в стекле появляются остаточные напряжения, распределенные так, что наружные слои листа испытывают сжатие, а внутренние — растяжение. Это приводит к повышению термостойкости стекла и прочности при изгибе.

При разрушении закаленное стекло покрывается густой сетью трещин и распадается на мелкие осколки. Закаленное стекло очень чувствительно к ударам в края или углы. В этом случае его прочность уменьшается в 2—3 раза.

Химический метод упрочнения стекла основывается на удалении или «залечивании» (обычно на глубину 50...150 мкм) поверхностных дефектов путем травления стекла (растворения поверхностных слоев), чаще всего — растворами плавиковой кислоты или ее смесей с серной, азотной или фосфорной кислотами.

Прочность при изгибе листового полированного стекла (толщиной 5...6 мм) при удалении с его поверхности дефектного слоя толщиной 100 мкм увеличивается примерно в 4,5 раза.

Другой вариант химического упрочнения стекла связан с нанесением на его поверхность кремнийорганических соединений, образующих тончайшие прозрачные пленки полиорганосилоксанового и кремнекислородного $[\text{SiO}_2]_n$ полимеров, которые снижают расклинивающее действие влаги в микротрещинах.

Термохимический метод упрочнения стекла основывается на изменении структуры и свойств поверхностного слоя стекла. Упрочнение достигается взаимодействием поверхности стекла, нагретого выше температуры стеклования t_1 , с кремнийорганическими соединениями, аэрозолями некоторых неорганических солей, расплавами солей лития и др. Такой метод упрочнения наиболее эффективен.

При обработке нагретого силикатного стекла в расплавах солей лития ионы лития диффундируют в стекло на глубину около 100 мкм и вытесняют из него более крупные ионы натрия или калия.

При этом коэффициент термического расширения поверхностного слоя стекла уменьшается. При охлаждении внутренние слои стекла уменьшаются в объеме сильнее наружных, вызывая сжатие поверхностных слоев, что упрочняет стекло.

7.5. ВИДЫ СТРОИТЕЛЬНОГО СТЕКЛА

Листовое стекло может быть полированным и не полированным. Для остекления окон используются стекла, как правило, толщиной 2,0...6,0 мм. Более толстые стекла (6,5...12,0 мм) применяются для остекления витрин, витражей, световых фонарей.

Листовое узорчатое стекло имеет на одной или обеих поверхностях рельефный узор. Его получают горизонтальным прокатом.

Узорчатое стекло может быть бесцветным или цветным. Толщина листов составляет 3,5; 5,0; 6,0 и 7,0 мм.

Селективные стекла изменяют спектральный состав проходящего через них излучения, которое в зависимости от длины волны λ можно подразделить на три области: одну видимую ($\lambda = 380 \dots 770$ нм) и две невидимые (УФ — ультрафиолетовую ($\lambda = 280 \dots 380$ нм) и ИК — инфракрасную ($\lambda = 770 \dots 25\,000$ нм)). Солнечное излучение с длиной волны $\lambda < 280$ нм полностью поглощается атмосферой. Селективные стекла, пропуская одни световые волны, поглощают или отражают другие. При изменении видимого спектра излучения возникает та или иная окраска стекол (цветные стекла), а общее светопропускание снижается. Если светопропускание стекла в ИК или УФ области не такое, как у обычного оконного стекла, то его относят к специальным строительным стеклам — солнцезащитным, теплосберегающим, фотохромным, увиолевым, поглощающим УФ лучи.

Стекла с избирательным пропусканием получают тремя способами:

1) модифицированием (окрашиванием) в массе (в состав стекольной шихты добавляют оксиды или соли металлов);

2) нанесением металлического, металлооксидного или солевого покрытия, что фактически является модифицированием тонкого (толщиной несколько микрон) поверхностного слоя стекла путем химического процесса или диффузионного внедрения химических элементов или соединений;

3) наклеиванием на стекло специальной полимерной пленки.

Цветное стекло бывает прозрачное и глушеное. Для окрашивания стекла в массе в его состав вводят оксиды металлов (марганца, хрома, железа, кобальта, никеля, меди, церия, титана, ванадия), сернистые соединения железа, кадмия, свинца, меди, а также элементарную серу и селен. Например, введением окиси меди получают голубой цвет, а введением окиси хрома — зеленый.

Модифицирование поверхности стекла осуществляют в основном электрохимическим способом, который легко совмещается с флоат-процессом. При контакте стекломассы с расплавленным металлом, включенным в электрическую цепь в качестве анода, происходит переход металлических ионов в стекло на глубину 1...2 мкм. Роль катода выполняет вспомогательный электрод, введенный в стекломассу.

Солнцезащитные стекла обладают высоким сопротивлением прохождению коротковолновых инфракрасных (тепловых) лучей (с длиной волны $\lambda = 770 \dots 2500$ нм), которые, проходя через обычное стекло, нагревают помещение, что в летнее время нежелательно. Как правило, они имеют пониженное пропускание и в видимой области светового спектра. Солнцезащитные стекла можно подразделить на два вида: теплопоглощающие и теплоотражающие (рефлективные).

Теплопоглощающие стекла модифицируют в массе оксидами железа, меди, кобальта, никеля. При этом стекло приобретает ту или иную окраску за счет поглощения не только ИК излучения, но и некоторой части видимого спектра. Наиболее сильно поглощает ИК радиацию закись железа FeO, обеспечивая наименьшее поглощение видимых лучей по сравнению с другими оксидами (CuO, CoO, NiO). Поэтому закись железа применяют для получения слабо окрашенных стекол. В отличие от силикатных фосфатные теплопоглощающие стекла являются практически бесцветными.

Для синтеза теплопоглощающих пленок применяют как электрохимический способ (с анодом, чаще всего — из сплава свинца и меди), так и напыление металлических оксидов (например, оксидов олова и сурьмы, придающих синеватый цвет) или растворов солей на разогретую до 500...800 °С поверхность стекла. Модифицированный слой получается в результате химических реакций в поверхностном слое.

В результате поглощения энергии теплопоглощающие стекла в летних условиях могут нагреваться до 60...80 °С. Поэтому их устанавливают в наружных слоях двойного остекления, обеспечивая естественную вентиляцию воздушной прослойки между стеклами. Этого не требуется при использовании теплоотражающих стекол.

Теплоотражающие стекла получают главным образом нанесением зеркального металлизированного слоя (путем испарения металла и оксидов в вакууме, катодного напыления или химического осаждения из растворов). Для получения максимального

отражения существенное значение имеет толщина получаемой пленки. Обычно наносят пять слоев: четыре слоя — металлооксидных, пятый слой — серебряный. Серебро почти полностью отражает излучение с длиной волны $\lambda > 760$ нм. Зеркальные пленки могут быть бесцветными и цветными.

Теплосберегающие стекла позволяют сократить потери тепла из помещения через окна приблизительно на 35...40 %, что очень актуально зимой. Такие стекла называют низкоэмиссионными, подчеркивая тем самым их низкую излучательную способность с наружной поверхности. Эти стекла не препятствуют прохождению в помещение коротковолнового ИК излучения, но отражают волны длинноволнового инфракрасного диапазона ($\lambda = 2\,500 \dots 25\,000$ нм), излучаемые в обратном направлении отопительными приборами и предметами интерьера. Такие свойства им придают два типа покрытий:

- металлооксидное (называемое твердым в связи с высокой износоустойчивостью);
- металлизированное (мягкое), которое не обладает достаточной твердостью.

В соответствии с этим имеется два вида стекол: К-стекло с твердым металлооксидным покрытием (например, из окиси олова), образующимся на поверхности стекла в результате химической реакции при высокой температуре (пиролитический способ) и I-стекло с мягким покрытием, получаемым вакуумным напылением и представляющим собой структуру из трех (или более) чередующихся слоев серебра и оксидов (BiO , TiO_2 и др.). По своим теплосберегающим свойствам I-стекло в 1,5 раза превосходит К-стекло, но покрытие его не износоустойчиво и поэтому может долго служить только внутри стеклопакетов. Стеклопакет ориентируют так, чтобы I-стекло находилось со стороны помещения.

При обычном двойном остеклении используют К-стекла, которые устанавливают во внутреннем ряду покрытием, обращенным в межстекольное пространство. Наружным стеклом может быть обычное или солнцезащитное стекло. Температура теплозащитного стекла в зимний период в среднем на 5...6 °С выше, чем у обычного стекла.

Фотохромные стекла автоматически уменьшают светопропускание при избыточной интенсивности солнечного света и восстанавливают его при уменьшении излучения. Это достигается введением в состав стекла галоидов серебра.

Увioletовые стекла обладают способностью пропускать ультрафиолетовые лучи с $\lambda < 320$ нм, которые благотворно влияют на

жизнедеятельность человека, животных, растений. Обычное оконное стекло почти полностью поглощает эту часть ультрафиолетового спектра. Эти стекла изготавливаются из очень чистого сырья с минимальным количеством оксидов железа, титана и хрома.

Стекла, поглощающие УФ лучи, применяются для защиты музейных экспонатов, книг, картин и документов от выцветания. В отличие от обычного оконного стекла эти стекла поглощают также и более длинные УФ волны. Их можно подразделить на три группы:

- 1) бесцветные стекла (почти не поглощающие видимых лучей) с областью поглощения УФ излучения $\lambda < 360$ нм;
- 2) слабо-желтые стекла, поглощающие лучи с $\lambda < 400$ нм и, следовательно, захватывающие видимую область фиолетовых и частично синих лучей;
- 3) желтые стекла, поглощающие ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи с $\lambda < 420$ нм.

Стекла для безопасного остекления применяют в строительстве, когда велика вероятность случайного или намеренного разрушения стекла. Безопасное стекло должно противостоять разрушению, но если разрушение произойдет, не должно образовываться крупных и острых осколков, опасных для людей и животных.

Защитные стекла согласно международной классификации подразделяются на три класса: стекла класса А (стекла защиты от вандализма) рассчитаны на удар брошенного камня; стекла класса Б (стекла защиты от проникновения) выдерживают определенное число ударов молотка с энергией 350 Дж и скоростью 12,5 м/с; стекла класса В — пуленепробиваемые стекла.

Для безопасного остекления используют армированное стекло, закаленное стекло и многослойное стекло.

Листовое армированное стекло укреплено плоской металлической сеткой, запрессованной внутрь стекла при прокате. Армирование не повышает прочность стекла и даже снижает ее примерно в 1,5 раза, но сетка не позволяет осколкам разлетаться при разрушении.

Закаленные и упрочненные стекла в строительстве используют, например, при остеклении куполов, световых фонарей, высотных фасадов. При разрушении такие стекла распадаются на мелкие безопасные осколки с тупыми кромками. Закалка и другие способы упрочнения стекла рассмотрены в подразд. 7.6.

Безосколочное стекло (триплекс) — это стекло, состоящее из двух (или более) листов стекла, склеенных бесцветной или цвет-

ной полимерной пленкой (например, поливинилбутиловой). При разрушении такого стекла осколки удерживаются эластичной прокладкой и не разлетаются. В триплексах могут быть использованы солнцезащитные, теплосберегающие и другие стекла. Особо высокопрочными являются триплексы из закаленных стекол.

Противопожарное стекло — это многослойное стекло с вспенивающимися при температуре около 120 °С промежуточными слоями. Благодаря возросшему термическому сопротивлению и потере прозрачности имеет место резкое падение температуры по толщине вспененной конструкции, препятствующее нагреву и воспламенению предметов за стеклом и обеспечивающее целостность крайнего слоя стекла со стороны защищаемого пространства, что исключает распространение пламени и продуктов горения.

Самоочищающееся стекло, впервые представленное в июне 2001 г. компанией Pilkington на Международной конференции по стеклу, имеет прозрачное покрытие на основе оксида титана, обладающее рядом специфических свойств. Под воздействием ультрафиолетового света и кислорода происходит разложение органических веществ на поверхности этого покрытия. Продукты разложения легко смываются дождем. Однако неорганические загрязнения таким образом не удаляются.

7.6. СВЕТОПРОПУСКАЮЩИЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА

Стеклопакеты состоят из двух или нескольких листов стекла, разделенных воздушными прослойками и герметически скрепленных по контуру путем сваривания, пайки или склеивания (рис. 7.3). Склеивание в настоящее время практически вытеснило все другие способы. При изготовлении клееного стеклопакета зазор между стеклами обеспечивает алюминиевый или оцинкованный стальной распорный профиль 5 коробчатого сечения. Полость профиля 5 заполняют влагопоглотителем (силикагелем) 6, что препятствует запотеванию стекла изнутри. Между стеклом и профилем 5 прокладывают бутилкаучуковый жгут, который при сдавливании стеклопакета на прессе расплющивается и образует склеивающий слой 8. Дополнительная герметизация стеклопакета осуществляется полисульфидной или полиуретановой мастикой (герметиком) 7.

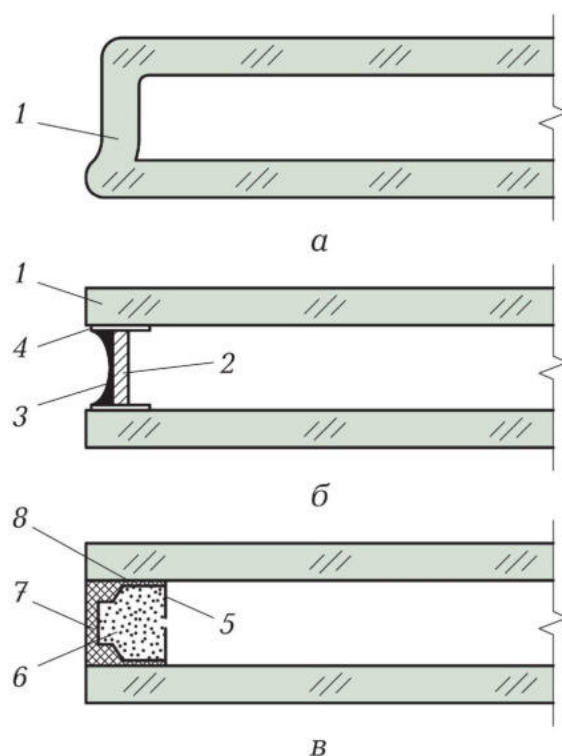


Рис. 7.3. Соединения стекол в стеклопакетах:

а — сварных; *б* — паяных; *в* — клееных; 1 — стекло; 2 — вставка из свинцового сплава; 3 — припой; 4 — металлизированный слой на стекле; 5 — распорный профиль; 6 — силикагель; 7 — герметик; 8 — клей

Звуко- и теплоизоляционные свойства стеклопакета повышаются с увеличением толщины стекол, числа и ширины воздушных промежутков. Ширина воздушных промежутков обычно составляет 12...20 мм. Бóльшее увеличение промежутков малоэффективно из-за роста конвекции.

Для звукоизоляции большое значение имеет резонансная частота конструкции, которая должна быть ниже шумового диапазона частот. С этой точки зрения двухкамерные стеклопакеты целесообразно делать с разной шириной камер и толщиной стекол.

Межстекольное пространство иногда заполняют инертным газом (чаще всего аргоном). Это повышает тепло- и звукоизолирующие свойства стеклопакета, а также снижает вероятность появления конденсата внутри него. Аргон применяют, если в стеклопакете устанавливаются теплосберегающие стекла. Звукоизоляционные свойства улучшаются также при использовании стекол с шумопоглощающим покрытием.

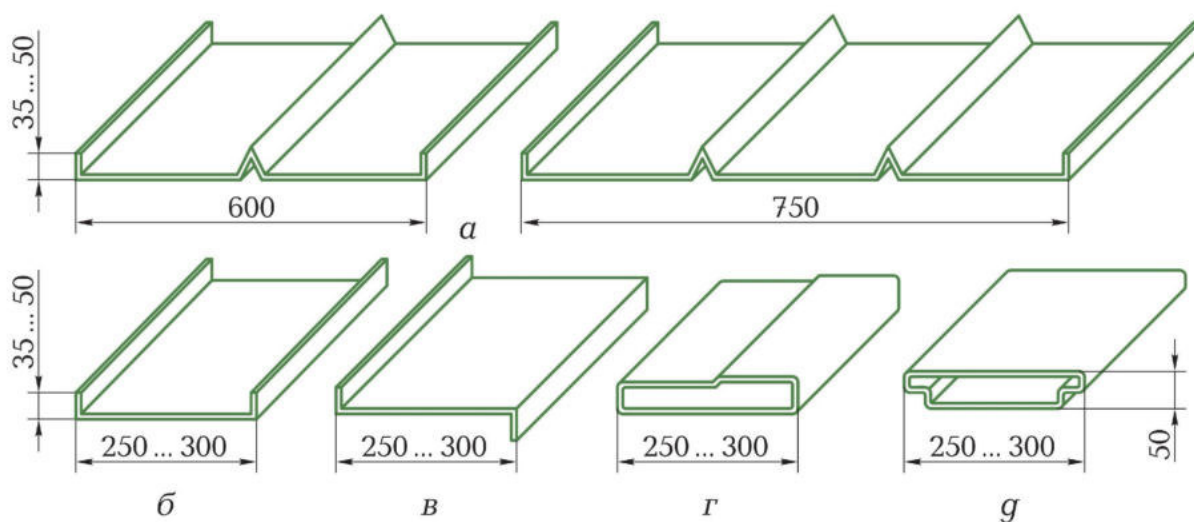


Рис. 7.4. Профильное стекло:

а — ребристое; б — швеллерное; в — обрезное; г — коробчатое с одним швом; д — коробчатое с двумя швами

Профильное стекло является погонажным изделием. Оно изготавливается изгибанием при прокате стеклянной ленты в соответствии с заданным профилем поперечного сечения (рис. 7.4). Различают профильное стекло открытого сечения (швеллерного, ребристого, Z-образного) и замкнутого сечения (коробчатого, овального, треугольного). Профильное стекло может быть бесцветным

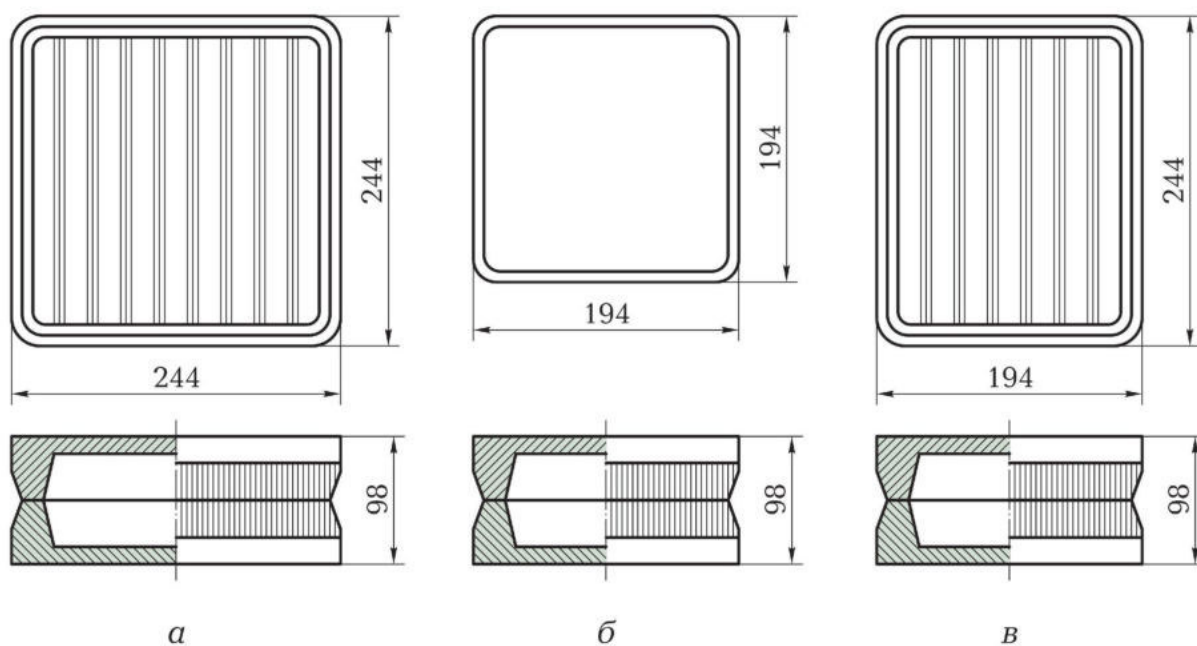


Рис. 7.5. Виды стеклянных блоков:

а — БК 244/98; б — БКЦ 194/98; в — БПЦ 294/194/98
(Б — блок; К — квадратный; П — прямоугольный; Ц — цветной)

и цветным, неармированным и армированным, с гладкой, рифленой или узорчатой поверхностью. Профильное стекло применяется для ограждающих конструкций.

Пустотелые стеклянные блоки изготавливают сваркой по периметру двух прессованных половинок, внутренняя поверхность которых может быть гладкой или рифленой, рассеивающей свет. Выпускаются стеклянные блоки квадратной и прямоугольной формы, неокрашенные и цветные (рис. 7.5). Они применяются для ограждений и остекления проемов в стенах и перегородках. Кладка блоков осуществляется на цементном растворе.

7.7. ОБЛИЦОВОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И ПЛЕНКИ ИЗ СТЕКЛА

Облицовочные изделия из стекла. *Смальта* — это кусочки цветного стекла неправильной формы и небольших размеров (от 1 до 2 см²), применяемые для мозаичных работ. Обычно используют смальты из глушеного стекла, а также золотые и серебряные смальты, получаемые путем горячей запрессовки золотой или серебряной фольги между двумя слоями стекла. Верхний слой (кантарель) — бесцветный или цветной — имеет толщину не более 1 мм, нижний слой — обычно от 3 до 10 мм. Глушеные смальты могут иметь шероховатую или гладкую поверхность. Первые получают спеканием стеклянного порошка, вторые — литьем стекломассы.

Коврово-мозаичные облицовочные плитки представляют собой изделия из цветного глушеного или полуглушеного стекла в виде плиток размерами до 45×45 мм, наклеенных на бумажную основу.

Лицевая поверхность плиток — гладкая; тыльная поверхность плиток может быть гладкой или рифленой. Эти плитки используются для изготовления орнаментальных и тематических мозаичных панно в интерьерах и на фасадах зданий.

Марблит — плоское, окрашенное в массе глушеное стекло, имеющее полированную, шлифованную или кованую лицевую и рифленую тыльную поверхность и выпускаемое в виде облицовочных плиток размерами от 50×100 до 200×300 мм или панелей размером до 2 500×4 000 мм при толщине 5...11 мм. Из марблита изготавливают также профилированные элементы, плинтуса и другие строительные детали.

Марблит выпускается самых разнообразных цветов с различной степенью глушения и применяется как для внутренней, так и для наружной облицовки зданий.

Стемалит представляет собой листы из прозрачного стекла, покрытые с одной стороны керамическими легкоплавкими красками, закрепленными на стекле в процессе термической обработки, при которой краски оплавляются и прочно соединяются с поверхностью стекла.

В зависимости от способа термической обработки стемалит может быть отожженным или закаленным. Закаленный стемалит не допускает резки, сверления или какой-либо другой механической обработки, применяемой при использовании отожженного стекла, и поставляется заданной формы и размеров, иногда с крепежными отверстиями.

Эмалированные стеклянные плитки (размерами от 100×150 до 300×300 мм) — изделия, нарезаемые из отходов оконного стекла и покрываемые стекловидной эмалью. Эмаль (в основном титановая) в виде шликера наносится на плитки тонким слоем с помощью пульверизатора и закрепляется обжигом до плавления эмали.

Пленки из стекла. *Пленочное стекло* (стеклянная фольга) представляет собой ленту стекла толщиной 1 ... 100 мкм, получаемую либо вытягиванием непрерывной ленты из расплава через формующее устройство, либо растягиванием листового стекла при его разогреве до температуры размягчения.

Чешуйчатое стекло получается в результате деления тончайшего (от 5 до 1 мкм и менее) пленочного стекла на мелкие кусочки. Чешуйки должны быть настолько тонкими, чтобы они могли легко деформироваться и прилипать друг к другу. Чем тоньше пленки или чешуйки стекла, тем выше их прочность и гибкость. Их применяют в радиотехнике, оптике, а также при производстве стеклопластиков.

7.8. КАМЕННОЕ И ШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ

Каменное литье. Материалы из расплавленных горных пород могут быть плотными, ячеистыми или волокнистыми. Сырьем для них служат диабаз, базальт, сланцы, глины и искусственные смеси, составленные из песка, известняков, доломитов.

Сырье расплавляют при температуре 1 350 ... 1 500 °С и заливают в формы, изготовленные из огнеупорной глины. В форму мож-