

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

**Н.Л. Медяник, Л.В. Чупрова
Т.М. Куликова, З.З. Одуд**

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

*Допущено УМО по переработке сырья и продуктов
животного происхождения по дисциплине
«Производство стеклянной тары» курса блока СД ГОСа ВПО
Второго поколения «Тара и ее производство» для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
656900 «Технология и дизайн упаковочного производства»*

Магнитогорск
2011

УДК 666.11:621.798

Рецензенты:

Заведующий секцией «Тара и упаковка»
Московского государственного университета печати,
профессор, доктор технических наук
Н.Ф. Ефремов

Заведующий кафедрой «Технология тары и упаковки»
МГУ прикладной биотехнологии
доцент, кандидат технических наук
А.А. Ананьев

Медяник Н.Л., Чупрова Л.В., Куликова Т.М., Одуд З.З.
Производство стеклянной тары: учебное пособие. 2-е изд.
Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова,
2011. 155 с.
ISBN 5-89514-657-0

В учебном пособии представлены сведения о физико-механических свойствах стекломассы и стекла, приведена классификация стекла, рассмотрены основные технологические процессы производства стекла и их интенсификация в современных условиях.

В связи с возросшим вниманием к тароупаковочным материалам, в пособии достаточно глубоко рассмотрены вопросы классификации и технологические особенности основных способов производства стеклянной тары.

Пособие предназначено для студентов специальности 072500 «Технология и дизайн упаковочного производства» для проведения занятий по дисциплине «Производство стеклянной тары», а также для преподавателей и широкого круга читателей.

УДК 666.11:621.798

ISBN 5-89514-657-0

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И.Носова, 2005
© Медяник Н.Л., Куликова Т.М.,
Одуд З.З., Чупрова Л.В., 2005

ВВЕДЕНИЕ

Стекло является самым широко распространённым и применяемым материалом в быту, строительстве, приборостроении, на транспорте благодаря своим уникальным качествам: прозрачности, твёрдости, химической устойчивости к активным химическим реагентам, относительной дешевизне производства. Несмотря на успехи в создании новых материалов широкого назначения, неорганические стёкла после камня, бетона, металла прочно занимают одно из главных мест среди используемых в практике.

В настоящее время во всех странах мира наибольшее количество стеклянной продукции приходится на стеклянную тару, что составляет 61% от общего объёма продукции европейской стекольной промышленности. Это обусловлено постоянным увеличением выпуска и расширением ассортимента фасованных пищевых продуктов. Ежегодно происходит увеличение объёмов выпуска стеклотары, несмотря на возрастающую конкуренцию со стороны металлической и пластиковой тары, что свидетельствует о хороших эксплуатационных и потребительских характеристиках стекла как материала для хранения пищевых и непищевых продуктов.

Стеклянная узкогорлая и широкогорлая тара используется для упаковки и хранения пищевых жидкостей, консервированных и молочных продуктов, парфюмерно-косметических изделий, лекарственных препаратов, химических реактивов, продуктов бытовой химии и других. Важнейшими особенностями стеклянной тары по сравнению с тарой из других материалов являются гигиеничность и возможность повторного использования. Стекло не выделяет вредных веществ, не имеет запаха, обеспечивает длительную сохранность продуктов, хорошо моется и дезинфицируется, легко утилизируется, обладает хорошими декоративными возможностями.

Производство стеклянной тары в России отстаёт от уровня развития зарубежных стран. До 1917 г. эта отрасль была одной из самых интенсивно развивающихся в стране. В конце XIX – начале XX вв. наша страна была крупнейшим поставщиком стеклянной тары во многие страны Европы. В те годы практически все производители водки и пива разливали свои напитки в оригинальные бутылки отечественного производства. Русские бутылки в XIX в. получали высшие награды на международных выставках в Париже и Чикаго, но за годы советской власти и последующей перестройки стеклотарная промышленность России была почти полностью развалена. В этот период на российский рынок хлынул поток стеклянной тары из многих стран Европы.

В последнее время ситуация стала меняться. Рост объемов производства пищевой промышленности стал катализатором в развитии стеклотарной отрасли. Отечественные производители стеклотары стали теснить западноевропейских поставщиков, наращивая объемы производства стеклянных бутылок. В Российской Федерации объем производства стеклянных бутылок в полулитровом исчислении составлял в 1998 году 1 млрд 800 млн штук, но уже по итогам 2003 года объем производства стеклотары в России вырос до 6,2-6,3 млрд штук, а с учетом ввода в ближайшие годы новых стеклотарных предприятий, коренной реконструкции, модернизации, замены оборудования на действующих стеклотарных заводах к 2006 году объем производства бутылок достигнет 9,8 млрд штук в год.

Однако маркетинговые исследования показывают, что рынок производства стеклотары – несмотря на существенный рост производства бутылки – испытывает дефицит, который связан с проблемами отечественного стеклотарного производства. Отечественные производители выпускают довольно узкий ассортимент стеклотары. В недостаточных количествах производятся бутылки малой вместимости, эксклюзивные и сувенирные бутылки, которые пользуются большим спросом. В настоящее время значительная часть спроса таких бутылок удовлетворяется за счет импорта, и поставки эксклюзивных, сувенирных и традиционных бутылок из Чехии, Германии, Италии, Франции снижаться пока не будут, так как их нечем заменить.

Еще одна проблема отечественного производства – устаревшее оборудование на большинстве стеклотарных заводов, которое не позволяет выпускать бутылки, отвечающие современным требованиям по форме и внешнему виду, облегченные бутылки, а также быстро переходить с одной модели на другую.

Данные проблемы успешно решаются за счет приобретения нового оборудования ведущих европейских фирм, позволяющего выпускать эксклюзивную тару, выбирать соответствующую цветовую гамму. В обостряющейся конкурентной борьбе “безликие” упаковки исчезают. Предприятия пытаются утвердить на рынке эксклюзивные по дизайну и цвету бутылки и банки, создав запоминающийся фирменный стиль.

Косвенным доказательством перспективности рынка служит строительство новых стекольных заводов, пуск в эксплуатацию модернизированных производственных линий. Как показывает опыт работы стеклотарных заводов, построенных в последнее время, и технико-экономический анализ Института стекла, срок окупаемости тарного завода составляет 2 -2,5 года. Экономическая

эффективность может быть также повышена при частичном использовании инфраструктуры и части оборудования законсервированных или реконструированных предприятий.

В настоящее время многие заводы проводят реконструкцию, внедряют прогрессивные конструкции стекловаренных печей, стеклоформующего оборудования, автоматизированные системы управления. Ряд новых заводов строится на основе применения новой техники и технологии. Основные задачи, стоящие перед стекольной промышленностью в России, напрямую связаны с качеством продукции. Именно этой цели должны быть подчинены все мероприятия по совершенствованию производственного процесса.

Глава 1

СТЕКЛООБРАЗНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА И ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

1.1. Понятие стекла

В природе вещества существуют в одном из четырёх агрегатных состояний: плазменном, газообразном, жидком и твёрдом. Газообразное состояние существует в двух формах – обычный газ и ионизированный газ (плазма). Две формы известны для жидкого состояния – обычные жидкости и жидкие кристаллы. В двух, принципиально различных, формах – кристаллической и аморфной – существуют твёрдые вещества, которые приобретают свою структуру в процессе охлаждения расплава. Если частицы расплавленного вещества при остывании принимают строго определённые формы, ограниченные плоскостями, то они носят название **кристаллов**; если при своём остывании тела образуют бесформенную массу, то их называют **аморфными**, или **стекловидными**.

Твёрдые аморфные вещества встречаются в виде порошков, плёнок, гелей, смол, стёкол. Основной разновидностью аморфного состояния является стеклообразное (для неорганических веществ) или смолообразное состояние (для органических веществ). Вещество, находящееся в стеклообразном виде, – это твёрдое, однородное, хрупкое, химически инертное и прозрачное тело с раковистым изломом. Стеклообразное состояние занимает промежуточное состояние между кристаллическим и жидким. Упругость формы делает стекло сходным с твёрдыми кристаллическими телами; по отсутствию симметрии в структуре и изотропности оно идентично жидкостям.

Затвердевшие кристаллические вещества обладают геометрически правильной, симметричной внутренней структурой – непрерывной кристаллической решеткой, образованной ионами, расположенными в строго повторяющемся пространственном порядке.

У расплавов стекловидных веществ ионы в процессе затвердевания организуются лишь в отдельные упорядоченные группы размером в несколько десятков ангстрем, образующие несимметричный структурный каркас. Размеры и степень упорядоченности этих групп зависят от температуры, при которой находился расплав, и от скорости его охлаждения.

Стекровидные вещества отличаются наличием ближнего порядка, то есть небольших участков правильной, упорядоченной

структуры, при отсутствии дальнего порядка – непрерывной пространственной решётки.

Все вещества, находящиеся в стеклообразном виде, обладают несколькими общими физико-химическими характеристиками. Типичные стеклообразные тела:

1) изотропны, то есть свойства их одинаковы во всех направлениях;

2) при нагревании не плавятся как кристаллы, а постепенно размягчаются, переходя из хрупкого в тягучее, высоковязкое и затем в капельно-жидкое состояние;

3) расплавляются и отвердевают обратимо, то есть выдерживают неоднократный разогрев до расплавленного состояния, а после охлаждения по одинаковым режимам вновь приобретают первоначальные свойства.

Стекло не представляет собой просто аморфную массу, свойства которой зависят только от химического состава. Глубокие существенные изменения свойств стекла могут происходить и в результате структурных превращений. Поэтому понятие “стекло” является широким и характеризует вещество, обладающее рядом особенностей и свойств.

Так, в соответствии с определением Комиссии по терминологии при Академии наук (1932 г.) **стеклом** называются “все аморфные тела, получаемые путём переохлаждения расплава, независимо от их химического состава и температурной области затвердевания и обладающие в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твёрдых тел, причём процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым”.

А.А. Аппен считает, что стекло является истинным раствором, и стеклообразное состояние – основная разновидность аморфного состояния, занимающая промежуточное положение между кристаллическим и жидким.

В классическом труде Г. Таммана впервые был поставлен вопрос о стеклообразном состоянии вещества. Понятие стекла не связывалось с химическим составом, а характерное свойство стёкол – затвердевание без кристаллизации – констатировалось возможным как в результате охлаждения расплава, так и в результате конденсации или полимеризации.

Определение стекла как переохлаждённой жидкости вытекает из способа получения стекла. Для перевода кристаллического вещества в стеклообразное состояние необходимо его расплавить и затем переохладить расплав. Отвердевают в виде стёкол при понижении температуры лишь те переохлаждённые жидкости, вязкость

которых быстро и непрерывно возрастает на много порядков, например от нескольких пуз до 10^{14} лз. С понижением температуры (увеличением вязкости) происходит непрерывное снижение подвижности частиц жидкости. Перестройка структуры жидкости начнет все более отставать от изменений температуры, а затем прекратится почти полностью, то есть структура "заморозится". Таким образом и получается стекло, аморфное вещество, обладающее механическими свойствами твердого тела. Оно характеризуется, как уже указывалось, термодинамической нестабильностью по отношению к кристаллическому состоянию, но из-за "замороженности" структурных перестроек сохраняется сколь угодно долго. Переход охлаждаемой жидкости в стекло происходит в определенном температурном диапазоне, который для разных стекол различен. Сам переход называют стеклованием, а температурную область этого перехода - интервалом стеклования. В интервале стеклования все физико-химические свойства претерпевают характерные изменения.

Кроме традиционного пути получения стекол - охлаждения расплава, в последнее время стали широко применяться и другие способы получения стекол. Это стеклообразные пленки, получаемые напылением из газовой фазы; "метамиктные стекла", образующиеся под воздействием ударных давлений и при бомбардировке кристаллов нейтронами, а также стекла, получаемые по золь-гель-технологии. Поэтому и существуют различные определения стекла, в основу которых положены отдельные признаки стеклообразного состояния. За основу принимаются, например, структурные признаки, способ получения стекла, тип химической связи и другие. Терминологическая дискуссия по этому вопросу ведется давно, и она далека от завершения, что, безусловно, свидетельствует о сложности объекта исследования.

В России становление науки о стекле и промышленного стеклоделия связано с именами выдающихся ученых М.В. Ломоносова и Д.И. Менделеева. Ломоносов М.В. первым в мировой практике стеклоделия обратил серьезное внимание на взаимосвязь свойств стёкол и их химического состава. По его инициативе в 1754 году была отстроена первая стекольная фабрика. Заслугой Д.И. Менделеева являются предвидение полимерного строения SiO_2 и развиваемые им представления о химической природе стекла, которое он рассматривал в общем контексте разработки таких фундаментальных понятий химической науки, как определённое – неопределённое соединение, раствор, сплав и т.д.

Современные представления о стекле как о сложном расплаве были высказаны ещё великим русским химиком Д.И. Менделеевым, который считал, что свойства стекла зависят от входя-

щих в его состав оксидов и от соотношения этих оксидов. Говоря о стёклах, он отмечал, что эти “вещества, образующие сплавы, способны соединяться, по-видимому, во всевозможных отношениях”. Им было впервые установлено, что стекло есть вещество “неопределённого” химического состава.

Исследованиями в области химии и технологии стекла также занимались русские учёные К.Л. Лаксман, С.П. Петухов, В.Е. Тищенко, А.К. Чугунов и др. Академик В.Е. Тищенко разработал составы стёкол, используемые и в настоящее время для производства химико-лабораторной посуды. Академик Д.С. Рождественский был одним из организаторов производства оптического стекла. Мировое признание получили работы известных русских учёных А.А. Лебедева, И.В. Гребенщикова, И.И. Китайгородского, Н.Н. Качалова, О.К. Ботвинкина, Н.М. Павлушкина и др.

Стекло – сложный расплав высокой вязкости. При постепенном увеличении вязкости система приводится в состояние твёрдого тела. Однако процесс твердения стёкол не вызывает появления в системе новой фазы (в отличие от обычной кристаллизации, когда переход из жидкого состояния в твёрдое всегда сопровождается появлением в системе новой фазы). В процессе увеличения вязкости стеклообразного расплава происходит и изменение физико-химических свойств стекла.

В настоящее время известно, что в стеклообразное состояние можно перевести вещества различной природы. Это и расплавы ряда чистых оксидов и их смесей в бесчисленных вариантах, и солеобразные расплавы - халькогенидные, галогенидные, нитратные и др. В стеклообразном состоянии легко могут быть получены и многие органические вещества. Стекла легко образуются водными растворами многих солей и их смесей. В последнее десятилетие стали известны металлические стекла, полученные особо быстрым охлаждением сплавов разных металлов. Таким образом, в стеклообразном состоянии могут находиться вещества самого разного химического состава, с самыми разными видами химических связей - ковалентными, ионными, металлическими и разнообразными физико-химическими свойствами.

1.2. Свойства расплава стекломассы

Вязкость - свойство жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой. Вязкость стекла – важнейшая технологическая характеристика, оказывающая большое влияние на параметры процесса варки стекла, формования изделия, их отжига и закалки.

Вязкость расплавов – главный фактор, характеризующий их способность переходить в стеклообразное состояние. Именно высокая вязкость в интервале температур кристаллизации является основной, хотя и не единственной причиной, предопределяющей склонность расплавов застывать в виде стекла.

Вязкость стёкол зависит от температуры и химического состава. Наиболее сильное влияние имеет температура. По мере её понижения вязкость увеличивается и особенно резко при температурах ниже 900°C.

Химический состав стекла влияет на изменение вязкости в меньшей степени, чем температура, однако из всех физико-химических свойств вязкость особенно сильно зависит от изменения химического состава. Повышают вязкость стекла оксид циркония (IV), оксиды алюминия, кремния и магния, а понижают – оксиды натрия, калия, лития, свинца и бария. Оксид бора и оксид кальция оказывают сложное влияние на изменение вязкости стекла. При высоких температурах оксид бора значительно снижает вязкость стекла, тогда как при низких температурах введение B_2O_3 до 15% повышает вязкость, а дальнейшее увеличение содержания B_2O_3 понижает её. При высоких температурах и содержании в стекле 8-10% CaO вязкость понижается, а при увеличении содержания оксида кальция – повышается. Известно, что при замене CaO на MgO вязкость стекол при высоких температурах всегда увеличивается.

Скорость затвердевания. Большую роль в увеличении производительности труда при формовании изделий из стекла играет скорость его затвердевания, то есть изменение вязкости во времени. Чем быстрее твердеет стекло, тем выше должна быть его производительность (безлодочное вытягивание листового стекла и труб, непрерывный прокат листового стекла, требуют быстрого твердения стёкол; при прессовании крупных изделий сложной формы стекла, наоборот, должны твердеть медленно).

На скорость твердения стекла влияет характер изменения вязкости стекла при изменении температуры, форма и размер изделия (чем крупнее изделие и чем меньше его поверхность при данном объёме, тем медленнее оно остывает и затвердевает) и первоначальная температура стекла (чем она выше, тем быстрее стекло охлаждается и твердеет). На скорость твердения влияют теплоёмкость и теплопроводность стёкол. Чем они больше, тем сильнее охлаждается стекло и тем быстрее оно затвердевает.

При одинаковых по величине температурных интервалах выработки более вязкие стёкла затвердевают быстрее, чем менее вязкие, то есть химический состав стёкол влияет на скорость их твердения в основном так же, как и на вязкость.

Поверхностное натяжение σ определяется работой, которую необходимо совершить для того, чтобы образовать единицу новой поверхности жидкости при постоянной температуре.

Поверхностное натяжение стекла в 3-4 раза превышает поверхностное натяжение воды и примерно соответствует поверхностному натяжению свинца, висмута и сурьмы в расплавленном состоянии.

В технологии стекловарения поверхностное натяжение имеет существенное влияние на удаление пузырей и на гомогенизацию стекломассы. Так, в процессе роста газового пузыря величина поверхностного натяжения будет в известной мере определять этот рост и тем самым влиять на подъёмную силу пузыря и на скорость его удаления из стекломассы.

Поверхностное натяжение имеет важное значение на различных стадиях технологического процесса производства изделий из стекла. С понижением поверхностного натяжения ускоряется провар шихты, улучшается процесс осветления стекломассы и её гомогенизация.

Поверхностное натяжение является одним из основных факторов при свободном выдувании изделий (без формы), при образовании капли стекла (заготовки) для подачи в формы стеклоформующих машин, при вытягивании листового стекла, труб, стеклянного волокна, при производстве листового стекла методом плавающей ленты, а также при оплавке края выдувных изделий и огневой полировке прессованных изделий.

В то же время в некоторых случаях поверхностное натяжение играет отрицательную роль, так как вызывает сужение ленты стекла при вытягивании или округлении острых рёбер изделий при прессовании, что особенно нежелательно при производстве рассеивателей для автомобильных фар.

Влияние температуры на изменение поверхностного натяжения стёкол незначительно. С повышением температуры на 100°C поверхностное натяжение уменьшается на 2-4%.

Введение в состав стекла ZrO_2 , Al_2O_3 резко повышает, а K_2O , Na_2O , B_2O_3 , P_2O_5 снижает поверхностное натяжение стекломассы.

Кристаллизационной способностью стекла называют склонность его к кристаллизации. Расплавленная стекломасса при охлаждении способна кристаллизоваться. Кристаллизация, называемая также расстекловыванием, нарушает нормальные условия выработки стеклянных изделий и портит стекло.

Кристаллизация стекломассы является большим злом в производстве. Образующиеся кристаллы не только нарушают нормальный ход производства, повышая выход брака, но и в некото-

рых случаях стекломасса становится совершенно непригодной для формования стеклоизделий.

Наиболее пригодной стекломассой является та, которая при всех прочих равных условиях не даёт в широких температурных пределах видимой кристаллизации.

Кристаллизация может возникнуть при охлаждении стекла до рабочей температуры выработки и во время охлаждения стекла ниже рабочей температуры, а также при формовании изделий в зоне рабочей температуры.

На практике обычно определяют температурную область кристаллизации, то есть верхнюю и нижнюю температуры возможной кристаллизации и скорость роста кристаллов (СРК) при разных температурах, которая оценивается в большинстве случаев по толщине поверхностной кристаллической корочки. Температурная область кристаллизации, очерченная в координатах “СРК – температура”, и служит практической мерой кристаллизационной способности.

Вместо определения СРК нередко прибегают к балльной оценке степени кристаллизации либо измеряют объём кристаллической фазы, образовавшейся за определённый промежуток времени в процентах. Последний способ применяется при изучении быстро кристаллизующихся расплавов, например шлаков.

Для предотвращения или ослабления кристаллизации необходимо либо добавить к стеклу любой оксид, не входящий в состав первой кристаллической фазы и не способный оказаться затравкой, либо уменьшить содержание оксидов, входящих в состав первой фазы. При этом, если первичная кристаллическая фаза представляет собой соединение двух или трёх оксидов, то уменьшают содержание всех этих оксидов в соотношении, соответствующем данному соединению.

Практически на производстве кристаллизации избегают двумя путями: изменением температуры или изменением химического состава стекла. При этом необходимо знать природу выпадающей фазы. Часто в стёклах в качестве первой кристаллической фазы выделяется кристобалит или тридимит, реже кристаллы силикатов кальция – волластонит или псевдоволластонит. В первом случае для снижения кристаллизации стекла уменьшают в нём содержание кремнезёма или добавляют вместо него оксид алюминия. Во втором случае понижают в составе стекла содержание оксида кальция, замещая его на оксид магния или бария.

Кристаллизационные свойства стёкол зависят также и от качества провара и степени однородности стекломассы. Однако на практике наблюдаются случаи, когда даже хорошо проваренная

однородная стекломасса при удачно подобранных сырьевых материалах и составе стекла начинает выделять кристаллы из-за длительного выдерживания (застаивания) раствора при определённых температурах, близких к температуре верхнего предела кристаллизации.

По характеру выпавших кристаллов можно судить, при каких условиях они образовались. Обычно мелкие кристаллы выпадают в сравнительно холодной, вязкой стекломассе, главным образом вблизи от места выработки. Редкие крупные кристаллы и сферолиты образуются в основном в более горячих зонах.

Процесс кристаллизации стекла протекает в две стадии: образование центров кристаллизации (зародышей) и рост кристаллов на них. С понижением температуры расплава растёт число центров кристаллизации, однако после достижения наибольшего значения при определённой температуре скорость образования кристаллов падает до нуля. Практически температурный интервал кристаллизации расплава стекла ограничивается нижним пределом температур, при котором появляются первые кристаллы, и верхним, при котором кристаллы растворяются.

Для того чтобы установить оптимальные параметры варки стекла и выработки изделий, необходимо знать опасный интервал температур, внутри которого стекло кристаллизуется. В большинстве случаев температура формования стекла бывает очень близкой к опасной температуре кристаллизации. Обычно при выборе состава промышленных стёкол стремятся к тому, чтобы температура верхнего предела кристаллизации была на 25 - 30°C ниже её формования.

При выработке изделий различными способами формования также учитывается кристаллизационная способность стекла. Например, при производстве листового стекла способом непрерывного проката возможно применение стёкол с большой кристаллизационной способностью, нежели при способе вертикального вытягивания стекла. Это связано с тем, что температура стекла при прокате выше, а продолжительность пребывания стекла в опасном интервале меньше, чем при вытягивании.

В отдельных случаях подбирают стёкла и условия производства изделий с целью повышения кристаллизационной способности расплава. В этом случае получают стёкла с однородной, мелкокристаллической структурой во всём объёме, обладающие устойчивостью к большим механическим нагрузкам, высоким температурам и резкому их изменению. Разработка путей управления кристаллизацией стекла послужила основой производства стеклокристаллических материалов.

При производстве стеклокристаллических материалов важную роль играет правильный выбор вида и количества каталитической добавки. Эффективность действия катализатора кристаллизации во многом зависит от химического состава исходного стекла. Наибольшее применение в практике нашли сульфидные и фторидные катализаторы, а также оксиды хрома.

1.3. Свойства стекла

Стекло обладает комплексом разнообразных физико-механических и химических свойств, не присущих другим материалам, благодаря чему оно нашло широкое применение в жизнедеятельности человека. Область применения стёкол определяется их свойствами, которые зависят от их химического состава. Рассмотрим основные физико-механические свойства стекла, характеризующие его в твёрдом состоянии.

ПЛОТНОСТЬ представляет собой отношение массы тела к его объёму:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где ρ - плотность, г/см^3 (кг/см^3); m – масса, г (кг); V – объём тела, см^3 (м^3).

Плотность стёкол в зависимости от их химического состава колеблется в довольно широких пределах: от 2,2 до 8,0 г/см^3 . Из практических стёкол наибольшую плотность имеют стёкла со значительным содержанием свинца, так называемые флинт, плотность которых доходит до 7 г/см^3 . Лёгкие стёкла содержат в большом количестве оксиды лития, бария и бора. Минимальную плотность имеет кварцевое стекло (2,2 г/см^3). Плотность большинства промышленных строительных стёкол (оконное, полированное, профильное) – 2,2-2,9 г/см^3 , в частности оконного стекла – 2,55 г/см^3 .

Плотность стёкол в некоторой степени зависит и от температуры. С повышением температуры плотность силикатных стёкол понижается на 0,15 г/см^3 на каждые 100°С.

Отжиг стекла влияет на плотность. Так, плохо отождённое стекло одного и того же химического состава имеет плотность на 0,1-0,2 г/см^3 , а закалённое на 0,8-0,9 г/см^3 ниже, чем отождённое. С изменением химического состава стекла его плотность заметно изменяется, поэтому на практике она служит косвенным средством контроля постоянства состава стекла. Степень постоянства плот-

ности и, следовательно, химического состава стекла в различных точках образца или изделия характеризует однородность стекла. Однородность стекла определяют чаще всего методом разделения порошка стекла по плотности и оценивают температурным интервалом между началом и концом всплывания частиц стеклянного порошка в жидкости при центрифугировании: чем меньше этот интервал, тем выше однородность стекла. Для сортовых и художественных стёкол однородность характеризуется интервалом 3°C.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. Прочность – способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних нагрузок. Прочность характеризуется пределом прочности. В зависимости от направления действия нагрузки определяют предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе, ударе, кручении, разрыве и другие.

Прочность стекла зависит от состояния его поверхности, химического состава, степени отжига, однородности, размера испытываемых образцов, состояния окружающей среды, температуры. Предел прочности массивного стекла, МПа: на разрыв и изгиб – 25-100; сжатие – 500-800; ударный изгиб – 15-20. В то же время теоретическая прочность стекла намного превышает эти значения. Основная причина этого – трещины, царапины, неоднородности, при этом решающее влияние оказывает состояние поверхности стекла.

На прочность стекла влияет его химический состав. Так, оксиды CaO , SiO_2 , BaO , TiO_2 и B_2O_3 значительно повышают прочность, PbO и Al_2O_3 в меньшей степени, MgO , ZnO и Fe_2O_3 почти не изменяют её. Щелочные оксиды уменьшают прочность стекла.

Температурная зависимость прочности стекла имеет сложный характер. Минимальную прочность имеет стекло в интервале температур 150 - 200°C.

Твёрдость является одной из основных характеристик любого материала, в том числе и стекла. Твёрдостью называется способность данного материала оказывать сопротивление проникновению в него другого более твёрдого материала. Чем выше твёрдость, тем больше времени требуется для механической обработки стекла и тем меньше износ стёкол при истирании. Твёрдость различных стёкол 100-200 МПа. Твёрдость стекла измеряют различными методами и поэтому в зависимости от применяемого метода различают твёрдость при вдавливании (микротвёрдость), при царапании, при истирании абразивом (твёрдость шлифования).

Твёрдость стекла зависит от его состава. Наиболее твёрдым является кварцевое стекло, а также алюмосиликатное с содержанием 18-30% оксида алюминия Al_2O_3 и малощелочное боросили-

катное с содержанием B_2O_3 до 12%. Увеличение в стекле содержания щелочных оксидов приводит к снижению твёрдости стекла. Самые мягкие стёкла – это стёкла, содержащие большое количество одновалентных оксидов (многощелочные) или окиси свинца. Многосвинцовые силикатные стёкла обладают наиболее низкой твёрдостью.

Хрупкость – способность твёрдых тел разрушаться при механических воздействиях без заметной пластической деформации. Хрупкость – характерное свойство твёрдых стёкол, возникающее тогда, когда их вязкость повышается до 10^{13} – 10^{14} лз. Стекло – типичное хрупкое тело и разрушается сразу же после достижения предела упругой деформации. Большая хрупкость стёкол ограничивает их применение.

Хрупкость стекла характеризуют его сопротивлением мгновенной нагрузке – удару. Хрупкость стекла в твёрдом состоянии определяют путём ударных испытаний – сбрасыванием стального шара с определённой высоты на стекло.

Большое влияние на хрупкость оказывает форма, размеры, толщина стекла, с увеличением которой сопротивление удару возрастает, и состояние поверхности испытываемых образцов. Увеличение толщины стекла, содержания оксидов B_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , повышение однородности приводит к уменьшению хрупкости.

Упругость – способность тела возвращаться к своей первоначальной форме после устранения усилий, вызвавших деформацию тела. Нагрузка, приложенная к твёрдому телу, может вызвать его упругую или пластическую деформацию. Упругая деформация исчезает после снятия нагрузки, пластическая в той или иной степени остаётся. Твёрдые стёкла непластичны.

Упругие свойства характеризуются величиной модуля упругости E , равного отношению напряжения к вызванной им упругой относительной деформации, измеряемого в $кг/мм^2$ или $кг/см^2$. Чем больше эта величина, тем меньше деформация тела. Различают модуль упругости при осевом растяжении – сжатии (модуль Юнга, или модуль нормальной упругости) и модуль сдвига, характеризующий сопротивление тела сдвигу и сколу и равный отношению касательного напряжения к углу сдвига.

Модуль упругости стёкол различного состава колеблется в пределах от 4800 до $8300 кг/мм^2$ (у кварцевого стекла $7140 кг/мм^2$), а у стали он равен $20\,000 кг/мм^2$. Это показывает, насколько низки упругие свойства стекла по сравнению с упругими свойствами металлов.

Оксиды CaO , Al_2O_3 и B_2O_3 , введённые взамен SiO_2 (B_2O_3 – в пределах до 12%), увеличивают модуль упругости. С повышением температуры стекла E понижается. У закалённых стёкол E на 8-10% ниже, чем у отожжённых.

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. Знание термических свойств стёкол необходимо при термических способах обработки стекла и декорирования. К термическим свойствам относятся теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность, теплопрозрачность, тепловое расширение и термостойкость.

Теплоёмкость – отношение количества теплоты, сообщаемого телу при бесконечно малом изменении его состояния в каком-либо процессе, к изменению температуры этого тела. Теплоёмкость, отнесённая к единице массы, называется удельной теплоёмкостью. Удельная теплоёмкость характеризуется количеством теплоты, необходимым для нагревания 1 г вещества на 1°C . Выражается она в $\text{Дж/кг}\cdot\text{ж}\cdot^\circ\text{C}$. Удельная теплоёмкость различных стёкол при комнатной температуре составляет 0,340-1,050 $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ и измеряется калориметром.

Теплоёмкость зависит от химического состава стекла. Наиболее низкая она – у стекла с высоким содержанием оксидов свинца и бария, поэтому их используют при прессовании изделий сложной конфигурации. Лёгкие оксиды (SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , MgO , Na_2O и особенно Li_2O) повышают теплоёмкость. Влияние остальных оксидов выражено слабее.

С повышением температуры теплоёмкость стекла увеличивается незначительно, причём тем медленнее, чем выше температура. До температуры начала размягчения она увеличивается незначительно, а при пластичном переходе начинает возрастать быстрее. Увеличение теплоёмкости стекла с повышением температуры происходит и в расплавленном состоянии.

Теплопроводность – это способность материала передавать тепло в направлении от более нагретой части объёма или поверхности к менее нагретой. Теплопроводность стекла характеризуется средним коэффициентом теплопроводности λ .

Теплопроводность стёкол довольно низка и незначительно различается для разных стёкол. Оксиды, вводимые в стекло, так же как и замена ими в стёклах кремнезёма на любой другой оксид, особенно тяжёлых металлов (PbO , BaO), уменьшают теплопроводность стекла.

Незначительной теплопроводностью обладают такие материалы, как пеностекло и стеклянное волокно, являющиеся поэтому хорошим теплоизоляционным материалом.

Теплопроводность стекла увеличивается при его нагревании. Так, в случае повышения температуры до температуры размягчения стекла величина теплопроводности примерно удваивается.

Температура начала размягчения стекла характеризует температуру, при которой стекло (стеклоизделие) начинает деформироваться. Она играет существенную роль при производстве стекла. Например, температуру отжига стекла принимают обычно на 20-30°C ниже температуры начала его размягчения, с тем чтобы изделие не деформировалось при тепловой обработке.

Температура начала размягчения в основном определяется химическим составом стекла. Тугоплавкие оксиды, размягчающиеся при высоких температурах, такие как SiO_2 , Al_2O_3 , повышают температуру начала размягчения стекла, легкоплавкие оксиды типа Na_2O , K_2O , Li_2O понижают её. Наивысшая температура начала размягчения у кварцевого стекла – 1200-1500°C. Большинство строительных стёкол, в том числе и оконное, начинает размягчаться при 550-700°C.

Тепловое (термическое) расширение – свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении – характеризуется температурными коэффициентами объёмного и линейного расширения. Для количественной характеристики линейного теплового расширения твёрдых тел служит коэффициент линейного теплового расширения α . Под коэффициентом линейного расширения понимают увеличение длины образца при нагревании его на 1°C, отнесённое к длине образца до нагревания:

$$\alpha = \frac{1}{\ell_0} \cdot \frac{\Delta \ell}{\Delta t},$$

где ℓ_0 - длина образца, см, при температуре 0°C; $\Delta \ell$ - увеличение длины образца при нагревании его на Δt °.

Между коэффициентами линейного α и объёмного β расширения существует зависимость $\beta \approx 3 \alpha$.

Коэффициент линейного теплового расширения стёкол колеблется от $5 \cdot 10^{-7}$ до $200 \cdot 10^{-7}$. Самый низкий коэффициент линейного расширения у кварцевого стекла $\alpha = 5,8 \cdot 10^{-7}$. Оконное стекло имеет $\alpha = 88 \cdot 10^{-7}$.

От величины коэффициента расширения в основном зависит сопротивляемость стекла резким изменениям температуры (термическая устойчивость). Кроме того, в технике часто приходится спаивать стекло с другими стёклами, а также с керамикой и металлами. Если спаиваемые друг с другом материалы будут иметь различное тепловое расширение, то прочного спая получить не удастся: изделия при охлаждении растрескиваются.

Величина α стекла в значительной степени зависит от его химического состава. Наиболее заметно на термическое расширение влияют щелочные оксиды: чем больше содержание их в стекле, тем больше α . Тугоплавкие оксиды типа SiO_2 , Al_2O_3 , а также B_2O_3 (при содержании в стекле менее 12-15%) и MgO понижают значение α . Li_2O резко понижает α , а некоторые стеклокристаллические материалы, содержащие соединения лития, могут иметь нулевое или отрицательное расширение.

Термостойкость – способность материала сопротивляться резким изменениям температуры. Термостойкость стекла имеет большое значение для таких изделий, как химические аппараты, химико-лабораторная посуда, стеклянная тара (банки, бутылки), чайные стаканы, которые эксплуатируются в условиях резкой смены температуры.

Мерой термостойкости является температурный перепад (максимальная разность температур), который выдерживает стекло без разрушения.

Термостойкость стекла зависит от упругости, предела прочности при растяжении, теплопроводности, теплоёмкости и, главным образом, от коэффициента термического расширения: чем он меньше, тем выше термостойкость.

Когда стекло охлаждается, его наружные слои стремятся уменьшиться в объёме. Этому препятствуют медленно остывающие (в силу низкой теплопроводности) внутренние слои, которые как бы растягивают внешние, не давая им сжиматься. Поэтому в наружных слоях стекла при охлаждении возникают напряжения растяжения, а во внутренних – сжатия. Обратное явление происходит при резком нагревании стекла. Здесь внутренние слои дольше остаются холодными и выдерживают расширение наружных слоёв, как бы стягивая, сжимая их и создавая в них напряжения сжатия. Образующиеся напряжения между наружными и внутренними слоями приводят к разрушению стекла. Возникающие в стекле напряжения будут возрастать:

- с увеличением разницы в расширении внутренних и наружных слоёв, то есть коэффициента теплового расширения стекла (чем выше коэффициент теплового расширения стекла, тем больше величина образующихся в стекле напряжений и тем меньше его термостойкость);

- с уменьшением упругости стекла;

- с повышением перепада температуры от внешних слоёв стекла к внутренним, что зависит, главным образом, от толщины стекла. Стекло лучше переносит резкое нагревание, чем охлаждение, так как при нагревании в нём образуются напряжения сжатия,

а при охлаждении – растяжения, а стекло работает на сжатие в 15-20 раз лучше, чем на растяжение.

При определении термостойкости нагретые образцы стекла или стекланные изделия резко охлаждают, погружая их в холодную воду. Некоторые особо ответственные изделия испытывают в условиях, близких к условиям службы.

Перепад температур, который выдерживают образцы различных стёкол, колеблется в пределах от 80°C (обычные промышленные – оконные, тарные) до 1000°C (кварцевые).

Химический состав стекла во многом определяет его термостойкость. Наибольшую термостойкость имеет кварцевое стекло с малым коэффициентом расширения. Стекла, содержащие большее количество щелочных оксидов и имеющие большой α (коэффициент термического расширения), обладают малой термостойкостью.

Боросиликатные стекла с высоким содержанием SiO_2 и с малым содержанием щелочных оксидов имеют одновременно с высокой химической стойкостью и высокую термостойкость. Эти свойства стекол являются особенно ценными для производства стеклнной химической аппаратуры.

Термостойкость стекла, так же как и хрупкость, сильно зависит от однородности стекла, а также от состояния его поверхности и качества отжига. Испытания на термостойкость служат одним из способов контроля качества отжига стекла. Равномерно распределённые напряжения сжатия (закалка) увеличивают термостойкость изделий в 1,5-2 раза. Повышают термостойкость огневая полировка и химическая обработка, устраняющие дефекты поверхности стекла.

ХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ – способность стекла противостоять разрушающему действию агрессивных сред – воды, кислот, щелочей, растворов солей, влаги и газов атмосферы. Стекло по сравнению с другими материалами отличается высокой химической стойкостью, которая зависит от его химического состава, природы действующего реагента и условий, при которых он действует на стекло.

По характеру действия на стекло реагенты можно разделить на две группы. К первой группе относятся вещества, изменяющие, растворяющие или разрушающие один вид структурных составляющих – силикаты. К таким веществам относятся вода, атмосферная влага, растворы кислот (кроме плавиковой и фосфорной), нейтральные или кислые растворы солей (с pH 7 и ниже). Ко второй группе относятся вещества, действующие не только на находящиеся в стекле силикаты, но и на избыточный кремнезем. К этой группе относятся растворы щелочей, карбонатов и других компонентов (с pH среды выше 7), плавиковая и фосфорная кислоты.

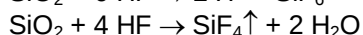
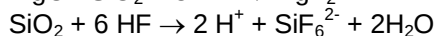
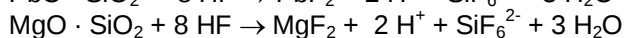
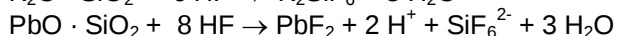
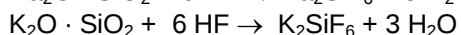
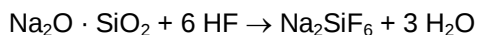
Слабое взаимодействие химических реагентов (кроме HF) со стеклом объясняется наличием на его поверхности защитной кремнезёмной плёнки. Природа химической стойкости и сущность процессов, происходящих при разрушении стекла, заключаются в следующем. Силикаты, находящиеся на поверхности стекла, вступая во взаимодействие с водой или влагой воздуха, гидролизуются, образуя щёлочь и гель кремниевой кислоты:



Щёлочь вымывается с поверхности стекла, а гель кремниевой кислоты остаётся и образует защитную плёнку. Кремниевая кислота замедляет процесс дальнейшего разрушения стекла. От толщины слоя защитной плёнки и его плотности зависит скорость диффузии через этот слой молекул воды. Процесс разрушения стекла резко замедляется при толщине защитной кремнезёмистой плёнки более 50 нм.

Разрушение стекла возможно не только при его прямом смачивании, но и при неудовлетворительных условиях упаковки, хранения и транспортировки. Условия, при которых конденсируется влага на поверхности стекла, являются неблагоприятными, и стекло разрушается. При длительном воздействии щелочных растворов на поверхность стёкол (например, когда стекло, упакованное в ящики, проложено сырой стружкой) щёлочи сначала растворяют защитную кремнезёмную плёнку, а затем вступают во взаимодействие с самим стеклом. Сначала на поверхности появляются белые пятна, а затем и более глубокие повреждения. Образующийся налёт продуктов растворения отслаивается в виде чешуек.

В отличие от других реагентов, HF реагирует с поверхностной кремнезёмной плёнкой, вследствие чего происходит дальнейшее обнажение поверхности стекла, и процесс его растворения под действием плавиковой кислоты продолжается. Плавиковая кислота (HF), вступая в реакцию со стеклом, образует газообразный фторид кремния, а также фториды и кремнефториды металлов. Эти вещества, в основном, малорастворимы и очень быстро покрывают плотным слоем поверхность стекла:



На способности стекла растворяться в HF основана химическая обработка стекла.

Химическая стойкость силикатных стёкол в большей степени зависит от химического состава, в основном от содержания в стекле кремнезёма и щелочных оксидов. Введение в шихту кремнезёма значительно повышает, а щелочных оксидов понижает химическую стойкость. Калиево-натриевые стёкла более стойкие, чем чисто натриевые или чисто калиевые. Оксиды щелочноземельных металлов, алюминия, бора, цинка повышают химическую стойкость стекла, а оксиды свинца понижают её.

К действию кислот устойчивы очень кислые стёкла с низким содержанием щелочных и умеренным содержанием щелочноземельных оксидов. Особенно стойки стёкла, содержащие Al_2O_3 , TiO_2 и ZrO_2 . Труднее всего увеличить устойчивость силикатных стёкол по отношению к щелочам, особенно концентрированным. Повышают щелочеустойчивость стёкол оксиды алюминия и циркония, а снижают её оксиды щелочных металлов, BaO , MgO , PbO и TiO_2 .

Разрушение стекла химическими реагентами значительно усиливается при повышении температуры. С ростом температуры на 1°C процесс ускоряется на 15-30% и тем сильнее, чем выше начальная температура. Вода особенно активна при температуре выше 100°C , при более высоких температурах разрушение значительно усиливается. В этих условиях устойчивыми к перегретой воде или щелочным растворам оказываются лишь цирконийсодержащие стёкла. Испытания технических стёкол на химическую устойчивость, как правило, осуществляют при температуре кипения воды. Стёкла, изделия из которых при последующей службе стерилизуются или работают под давлением, испытывают в автоклавах при температуре 120°C .

Химическая устойчивость стекла резко понижается с увеличением удельной поверхности изделий: тонкие стеклянные нити или стеклянный порошок разрушаются химическими реагентами во много раз быстрее, чем массивное стекло. Химическая стойкость зависит от состояния поверхности и является более высокой у изделий с огнеполированной поверхностью, чем у механически обработанных стёкол того же состава. Отжиг стекла также сказывается на разрушении стёкол: закалённые стёкла разрушаются в 1,2-2 раза сильнее, чем хорошо отожжённые. Исключение составляет группа щелочно-боросиликатных стёкол с высоким содержанием B_2O_3 , превышающим содержание щелочных оксидов. Устойчивость этих стёкол уменьшается при отжиге и возрастает при закаливании.

Изделия сортового стекла при эксплуатации в основном подвергаются действию воды, поэтому водостойкость сортовых стёкол

определяют методом выщелачивания поверхности зёрен стекла под воздействием воды. Причём стекло может разрушаться не только при прямом его смачивании, но и при конденсации влаги на поверхности стекла, например при неправильной упаковке, хранении, транспортировании.

В зависимости от водостойкости стёкла делят на пять гидrolитических классов: I – неизменяемые водой; II – устойчивые; III – твёрдые аппаратные; IV – мягкие аппаратные; V – неудовлетворительные. Большинство промышленных стёкол принадлежат к самому большому – III гидrolитическому классу.

Химическая устойчивость поверхности стеклянных изделий может быть повышена в сотни и даже в тысячи раз путем специальной термохимической обработки их поверхности кислыми газами (CO_2 или SO_2) или слабыми растворами кислот. При этом оптические свойства стекла и его внешний вид практически не изменяются.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА характеризуют закономерности распространения света в веществе в зависимости от его молекулярного строения. Большая часть стёкол пропускает свет и другие виды лучистой энергии. Прозрачность стекла определяет важнейшие области его применения в технике и повседневной жизни: остекление окон зданий и различных видов транспорта, изготовление зеркал, посуды, различных оптических приборов, колб электрических ламп, осветительной арматуры и т.п. К оптическим свойствам относятся: отражение, поглощение, рассеивание, преломление и разложение света. Стекло не имеет себе равных среди известных твёрдых материалов по величине показателей, характеризующих оптические свойства.

Отражение света – возвращение световой волны при её падении на поверхность раздела двух сред с различными показателями преломления в первую среду. Коэффициент отражения прямо пропорционален углу падения на стекло. Например, для светового пучка, перпендикулярного поверхности оконного стекла, коэффициент отражения равен 0,04 (4%).

Поглощение света – уменьшение интенсивности света, проходящего через среду вследствие взаимодействия его с частицами среды. Чаще всего поглощение света обусловлено наличием в стекле красителей, вызывающих избирательное поглощение лучей определённой волны. Благодаря этому стекло выглядит окрашенным. Поэтому, чтобы стекло было прозрачным, в сырьевых материалах не должно быть примесей, которые вызывают поглощение света. Наиболее прозрачные оптические стёкла пропускают в расчёте на 1 см толщины около 91% падающего света, а оконное стекло – примерно 88%.

Поглощение света в бесцветных стёклах вызвано присутствием соединений железа, вносимых сырьевыми материалами. Железо может присутствовать в стекле в форме соединений двухвалентного железа Fe^{2+} и трёхвалентного Fe^{3+} . Интенсивность поглощения света в разных областях спектра зависит от валентности соединений железа и от их содержания в стекле. Железо Fe^{2+} в области видимых лучей спектра имеет в 10 раз большее удельное поглощение, чем железо Fe^{3+} . Fe^{2+} поглощает, главным образом, лучи с длиной волны примерно 600 нм (жёлтые и красные) и окрашивает стёкла в голубоватый цвет. В наибольшей степени железо Fe^{3+} поглощает лучи с длиной волны 500 нм (синие и фиолетовые), а жёлтые и красные лучи оно пропускает, окрашивая стекло в желтоватый цвет. В стёклах всегда одновременно содержатся оксиды железа Fe^{2+} и Fe^{3+} , придающие ему зеленоватую окраску, интенсивность которой зависит от общего содержания оксидов железа. Поэтому для получения стёкол с высоким светопропусканием необходимо ограничить содержание соединений железа, а присутствующее железо должно быть в состоянии высшей валентности.

Для ряда изделий (посуда, художественное стекло и т.д.) зеленоватая окраска, даже слабая, нежелательна. Стекло для таких целей обесцвечивают. Различают обесцвечивание химическое и физическое. При химическом обесцвечивании содержание оксидов железа в стекле в пересчёте на ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) не должно превышать 0,06%, а при физическом – 0,08%.

Химическое обесцвечивание сводится к тому, чтобы по возможности перевести всё железо в стекле в окисные соединения. Это достигается путём введения в шихту добавок окислителей при окислительном режиме варки стекла (избытке кислорода в газовой среде печи). Химически обесцвеченное стекло слегка окрашено в желтовато-зеленоватый цвет, но обладает высоким светопропусканием.

Физическое обесцвечивание заключается в следующем: в состав стекла вводят красители, которые окрашивают его в цвет, дополнительный к окраске соединениями железа. В результате такого двойного окрашивания (т.е. двойного поглощения света) стекло приобретает нейтральный, серый оттенок, но светопропускание его понижается.

Рассеивание света зависит от состояния поверхности и однородности стекла и характеризуется отклонением распространяющегося в среде светового пучка в различных направлениях. Если стекло имеет шероховатую поверхность или содержит в массе частицы инородных веществ, свет многократно отразится от неровной поверхности или внутренних включений в различных на-

правлениях и выйдет из стекла в виде рассеянного пучка. Стекло будет выглядеть как бы матовым, полупрозрачным, оно мягче и равномернее распределит пропущенный свет, чем прозрачное стекло. Из такого светорассеивающего стекла изготавливают светотехнические изделия (абжуры, плафоны, колпачки). Свет, который они пропускают, не ослепляет, так как источник его (нить накала электроламп) не виден через рассеивающее стекло.

Преломление света – это изменение направления распространения луча света при прохождении через границу раздела двух прозрачных сред. Показатель преломления стекла (1,5–1,52) определяет силу отражённого света и светопропускаемость стекла при разных углах падения света. Так, при изменении угла падения света с 0 (перпендикулярно плоскости света) до 75° светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50%.

Показатель преломления оконного стекла – 1,52, хрустального стекла – 1,56, то есть пропорционален плотности стекла. Так как плотность стёкол тем выше, чем больше удельный вес входящих в них оксидов, то самый высокий показатель преломления будет у стёкол, сваренных из соединений тяжёлых элементов, а наименьший – у стёкол из лёгких оксидов.

Величина показателя преломления у стекла данного химического состава, подобно плотности, зависит от вида термической обработки стекла и скорости его охлаждения. Показатель преломления, как и плотность, у закалённых стёкол ниже, чем у отоженных того же химического состава, причём разница может составлять до 0,004 – 0,005.

Разложение света в спектр (дисперсия) происходит вследствие различного преломления пучка света, проходящего через стеклянную призму. При этом белый пучок света разлагается на составляющие его цветные лучи разной длины волны.

Дисперсия зависит от химического состава стекла и позволяет судить о его однородности. Обычное силикатное стекло хорошо пропускает всю видимую часть спектра и практически не пропускает ультрафиолетовые (длина волны менее 300 мкм) и инфракрасные (длина волны более 3000 мкм) лучи. Изменяя химический состав стекла и его окраску, можно регулировать светопропускание стекла.

Магнитные, магнитооптические, электрооптические, электрические свойства имеют больше отношение к техническим и оптическим стеклам, а поэтому будут опущены в данном пособии.

Глава 2

КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕКЛА

Интенсивное развитие техники, строительства и других отраслей народного хозяйства требует широкого применения стекла и изделий из него. Ассортимент таких изделий велик и разнообразен. Классифицировать стекло можно по различным параметрам и признакам. Наиболее распространённой является классификация стекла по химическому составу и техническая классификация стекла.

2.1. Классификация по составу

Стекло как искусственный продукт может включать в свой состав почти все элементы периодической системы.

Неорганические стёкла в зависимости от типа стеклообразующих компонентов по своей химической природе подразделяются на несколько типов: элементарные, оксидные, галогенидные, халькогенидные и смешанные. Большое применение имеют стёкла, содержащие одновременно два или три стеклообразователя.

В технике и народном хозяйстве наиболее распространены оксидные стёкла, такие как силикатные (SiO_2), алюмосиликатные (Al_2O_3 , SiO_2), боросиликатные (B_2O_3 , SiO_2), свинцовые (PbO), известковые (CaO , Na_2O , SiO_2) и другие, в состав которых наряду со стеклообразующими компонентами входят также оксиды различных металлов: Li_2O , Na_2O , BeO , ZnO , CdO , PbO , Fe_2O_3 и др.

Каждая из групп оксидных стекол может включать несколько десятков и даже сотен стекол, существенно различающихся по природе и количеству входящих в них оксидов одно- и двухвалентных металлов.

Важнейшее значение в практике принадлежит классу силикатных стекол. С силикатными стеклами не могут сравниться по распространённости в быту и в технике никакие другие классы стекол. Со временем лишь органические стекла в какой-то мере смогут конкурировать с силикатными стеклами.

Преимущества силикатных стёкол обусловлены их дешевизной и широкой экономической доступностью, отличной химической устойчивостью в наиболее распространенных химических реагентах и газовых средах, высокой твердостью, сравнительной простотой промышленного производства. И только производство чистого стеклообразного кремнезема (кварцевого стекла) связано с серьезными технологическими осложнениями, так как возможно лишь в условиях очень высоких температур (1750–1900°). Последним обстоятельством в первую очередь и объясняется необходимость «разбавления»

SiO_2 другими более плавкими компонентами. Однако во многих двойных силикатных системах при плавлении происходят процессы ликвации, то есть наблюдается жидкостная несмешиваемость.

Кварцевое стекло представляет собой силикатное стекло, состоящее практически из одного кремнезёма. Это стекло обладает целым комплексом ценных свойств: термостойкостью (не подвергается деформированию при температурах 1000°C), огнеупорностью, химической и радиационной устойчивостью, прозрачностью в широком диапазоне длин волн, оптической и акустической однородностью, высокими электроизоляционными свойствами, его коэффициент теплового расширения очень низок, и поэтому оно обладает стойкостью к термоудару при резком изменении температуры, его объёмное и поверхностное удельные электрические сопротивления весьма высоки. К сожалению, кварцевое стекло с большим трудом плавится и перерабатывается в изделия. Высокая стойкость кварцевого стекла ограничивает его применение изделиями специального назначения.

Прозрачное техническое и оптическое стекло используют для изготовления различной аппаратуры, лабораторной посуды и приборов, труб и стержней, смотровых стёкол и люков реакторов, высокочастотных изоляторов.

Особо чистое кварцевое стекло служит для производства труб, тиглей, различной аппаратуры, используемых в полупроводниковой технике и радиоэлектронике.

Из прозрачного стекла вырабатывают термостойкую кислотоупорную аппаратуру и ёмкости, арматуру, огнеупоры для стекловаренных печей, защитные чехлы термопар, корпуса электропечей и другие изделия.

Для получения достаточно однородного кварцевого стекла температура расплава должна быть не ниже $1850\text{--}1950^\circ\text{C}$. Его получают путём плавления в электрических печах чистых природных (горный хрусталь) или искусственных кристаллических разновидностей кремнезёма, а также синтетического оксида кремния SiO_2 .

Натриево-силикатные стёкла получают сплавлением кремнезёма (SiO_2) и оксида натрия (Na_2O). Смесь 1 части оксида натрия с 3 частями оксида кремния плавится при температуре, на 900°C более низкой, чем чистый кремнезём; оксид натрия действует как сильный флюс. К сожалению, такие стёкла растворяются в воде, и хотя они чрезвычайно важны для промышленного применения, из них нельзя изготавливать большинство изделий.

Известковые стёкла. Древние стеклоделы обнаружили, что водорастворимость натриево-силикатных стёкол можно устранить добавлением извести. Анализы древних стёкол показали поразительное сходство их химического состава с составом современных стёкол, хотя современные стеклоделы, в отличие от древ-

них, знают также, что добавление небольших количеств других оксидов, например MgO , Al_2O_3 , BaO , повышает качество стекла. Если главными ингредиентами шихты являются оксиды Na_2O , CaO и SiO_2 , то получаемые стёкла называются натриево-известково-силикатными, натриево-известковыми или просто известковыми независимо от присутствия других составляющих. С небольшими изменениями в составе эти стёкла широко используются для изготовления листового и зеркального стекла, стеклотары, колб электроламп и многих других изделий. Они относительно легко плавятся и перерабатываются в изделия, а сырьевые материалы для их производства относительно недорогие. В настоящее время 90% производимого стекла является известковым.

Свинцовые стёкла изготавливают сплавлением оксида свинца PbO с кремнезёмом, соединением натрия или калия (содой или поташем) и малыми добавками других оксидов. Свинцово-натриево (или калиево)-силикатные стёкла дороже известковых, однако они легче плавятся и проще в изготовлении. Это позволяет использовать высокие концентрации PbO и низкие щелочного металла без ущерба для легкоплавкости. Такой состав поднимает диэлектрические свойства материала до такого уровня, что делает его одним из лучших изоляторов для использования в радиоприёмниках и телевизионных трубках, в качестве изолирующих элементов электроламп и конденсаторов. Высокое содержание PbO даёт высокие значения показателя преломления и дисперсии. Эти же характеристики придают свинцовым стёклам сверкание и блеск, украшающие самые утончённые изделия столовой посуды и произведения искусства. Большинство стёкол, называемых хрусталём, являются свинцовыми.

Боросиликатные стёкла - это стёкла с высоким содержанием SiO_2 , низким – щелочного металла и значительным – оксида бора (B_2O_3). Оксид бора действует как флюс для кремнезёма, так что содержание щелочного металла в шихте может быть резко уменьшено без чрезмерного повышения температуры расплавления. В зависимости от конкретного состава стойкость к термоудару таких стёкол в 2-5 раз выше, чем у известковых или свинцовых. Такие стёкла обычно намного превосходят другие по химической стойкости и имеют свойства, полезные для применения в электротехнике. Такое сочетание свойств сделало возможным производство новых стеклянных изделий, в том числе промышленных труб, рабочих колёс центробежных насосов и домашней кухонной посуды.

Другие стёкла. Существует много других типов стёкол специального назначения. Среди них – карбонатные, фосфатные, боратные и другие стёкла. Производятся также стёкла с разнообразной окраской для изготовления линз, светофильтров, осветительного оборудования, косметической тары и домашней утвари.

2.2. Техническая классификация стёкол

Как материал, стекло широко используется в различных областях народного хозяйства. В соответствии с назначением, известны разнообразные виды стекла, такие как оконное, посудное, тарное, химико-лабораторное, термическое, жаростойкое, строительное, оптическое, электровакуумное и многочисленные другие виды. В пределах каждого вида стекла имеются самые разнообразные его сорта. В зависимости от условий эксплуатации каждого вида и сорта стеклу предъявляются определённые требования в отношении свойств, сформулированные в соответствующих стандартах и технических условиях. При детальном исследовании стекла изучаются в зависимости от технических условий следующие его физико-химические свойства: вязкость, поверхностное натяжение, внутреннее напряжение, температура размягчения, удельный вес, предел прочности на сжатие, разрыв и изгиб, твёрдость, модуль упругости, газопроницаемость, термическое расширение, теплоёмкость, теплопроводность, электропроводность, диэлектрические потери, показатель преломления, спектральные характеристики в видимой и невидимой части спектра, химическая стойкость, кристаллизационная способность и другие.

Листовое стекло составляет половину продукции, вырабатываемой стекольной промышленностью. Большую часть листового стекла используют в промышленности, гражданском, жилищном и сельскохозяйственном строительстве.

По способу выработки листовое стекло подразделяют на следующие виды. *Тянутое листовое стекло* изготавливают способом вертикального (лодочного и безлодочного) или вертикально-горизонтального вытягивания. Это прозрачное стекло с гладкими поверхностями, но имеющее оптические дефекты в виде полосности или волнистости, незначительно искажающие просматриваемые через него предметы. Это стекло выпускают бесцветным и цветным. Бесцветное стекло по назначению подразделяется на оконное и фотостекло. Цветное стекло используют для декоративной отделки. Оно бывает окрашенным в массу, а также в виде накладного и стемалита.

Прокатное листовое стекло вырабатывают способами непрерывного проката между двумя валками или периодического проката на литейном столе. При этом стекло имеет кованую поверхность, обладающую светорассеивающими свойствами. Его выпускают цветным и бесцветным. Разновидности бесцветного прокатного стекла – сырое для шлифования и полирования, узорчатое, армированное; цветного стекла – марблит, узорчатое, армированное.

Механически обработанное полированное стекло получают сошлифовкой поверхностных слоёв с последующим их полированием. Такое стекло характеризуется минимальными, почти заметными оптическими дефектами при просматривании через него предметов.

Флоат-стекло получают формированием на поверхности расплавленного металла. По качеству это стекло не уступает полированному, вырабатываемому механической обработкой поверхностей.

По назначению выпускают следующие виды листового стекла: оконное, витринное, фотостекло, мебельное, зеркальное, техническое (для остекления автомобилей, самолётов, судов и т.п.), цветное (для архитектурно-декоративных целей), теплопоглощающее, узорчатое, армированное, марблит, стемалит, коврово-мозаичные плитки.

Стекло оконное (ГОСТ 111-78) – бесцветное, прозрачное (допускается зеленоватый и голубоватый оттенки, но при условии, что они не снижают коэффициента светопропускания), тянутое листовое стекло с гладкими поверхностями, которое применяют для заполнения световых проёмов в зданиях и сооружениях, а, кроме того, как полуфабрикат для изготовления закалённого стекла, зеркал и других изделий.

Основные требования к оконному стеклу: высокая светопрозрачность, механическая прочность, химическая устойчивость, минимальная полосность или волнистость. Существенным недостатком листового оконного стекла является наличие некоторой волнистости, искажающей предметы, просматриваемые через него (в особенности под острым углом). Оконное стекло имеет толщину: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19 мм. Светопрозрачность листового стекла толщиной 2 и 2,5 мм должна быть не менее 87%, стекла толщиной 3 и 4 мм – не менее 85%.

Стекло толщиной от 3 до 6 мм считается архитектурным. Оно широко используется для изготовления как обычных окон, так и стеклопакетов. Стекло от 8 до 19 мм используется в основном для изготовления стеклянных дверей, перегородок, столешниц и стеклянной мебели. При этом проводится соответствующая обработка краев, делаются вырезы и отверстия для установки фурнитуры.

Для обычного оконного остекления применяют листы толщиной 2,5-4 мм. Большие окна и витражи должны выносить серьёзную ветровую нагрузку, поэтому они изготавливаются из более толстого («витринного») стекла 5 - 10 мм. Чем выше в конструкции расположено большое окно, тем толще оно должно быть и тем меньше площадь цельного листа.

Если стекло толщиной 15-19 мм в обычном состоянии трудно разбить, то стекло меньших толщин бьётся достаточно легко и для

его упрочнения проводится закалка. Такое стекло может спокойно переносить и более высокую температуру – до 400°С. Готовые закалённые стёкла нельзя резать, сверлить и подвергать любым механическим обработкам, поэтому в размер оно режется ещё до термической обработки. Тогда же в стекле делают требуемые вырезы, отверстия, обрабатывают кромку. Наиболее уязвимым местом закалённого стекла являются его кромки. При монтаже конструкций необходимо оберегать его торцы от ударов, царапин и других повреждений. Светопропускание прозрачного закалённого стекла составляет не менее 84%.

Закалённое стекло считается безопасным, так как при разбивании оно рассыпается на мелкие куски (8 - 15 мм), которые не имеют острых граней и, следовательно, не наносят серьезных повреждений. Закаленное стекло больших толщин (например, 19 мм) разбить практически невозможно.

В связи с увеличением производительности стекловаренных печей, повышением скоростей вытягивания стекла, а также освоением технологии производства стекла на поверхности расплавленного металла (флоат-процесс) к составам оконных стёкол предъявляются следующие требования: пониженная скорость кристаллизации, высокая скорость варки, оптимальная скорость твердения.

Стекло витринное, как и оконное, представляет собой бесцветное прозрачное листовое стекло, которое применяют для остекления витрин и больших световых проёмов в торговых и общественных зданиях. Стекольные заводы вырабатывают неполированное и полированное витринное стекло. Неполированное витринное стекло изготавливают в соответствии с ГОСТ 7380-77. Коэффициент светопропускания витринного стекла должен быть не менее 0,84 на номинальную толщину листа. У витринного стекла могут быть слабо-зеленоватый и слабо-голубоватый оттенки. Стекло витринное полированное изготавливают в соответствии с ГОСТ 13454-77.

Фотостекло – это тонкое бесцветное листовое стекло, применяемое при изготовлении фотопластинок. Фотостекло вырабатывают в соответствии с ГОСТ 683-75 толщиной 0,8-2 мм. Светопропускание такого стекла должно быть не ниже 0,85 на номинальную толщину.

Мебельное – это преимущественно бесцветное прозрачное листовое стекло, неполированное или полированное, применяемое для изготовления мебели. Его вырабатывают в соответствии с ГОСТ 6799-75 толщиной 3-7 мм. Оно может быть также цветным и узорчатым.

Зеркальное – это прозрачное листовое стекло, высококачественное тянутое, полированное или полученное флоат-способом,

толщиной 4-7 мм. Стекло предназначено для получения зеркал (ГОСТ 15469-82).

Цветное накладное – это двухслойное стекло, состоящее из основного бесцветного и спаянного с ним тонкого цветного стекла. Толщина стекла – 3-4 мм. Вырабатывают его способом лодочного вертикального вытягивания. Накладное стекло используют для светотехнических и архитектурно-декоративных целей. Тянутое цветное стекло, окрашенное в массу, выпускают толщиной 2-5 мм. Краситель в стекле равномерно распределён по всей его толщине.

Теплопоглощающее стекло, окрашенное в зеленовато-голубой цвет оксидами железа, отличается пониженным пропусканием тепловых лучей. Применяют его для остекления световых проёмов зданий в условиях жаркого климата с высоким уровнем солнечной радиации. Заводы выпускают теплопоглощающее стекло, окрашенное в массу, толщиной 3-4 мм.

Стёкла с плёночными покрытиями изготавливают способом нанесения на поверхность обычного оконного стекла металлических или оксидно-металлических плёночных покрытий толщиной 0,3-1 мкм. Стекло с металлическими или оксидно-металлическими плёнками используют в качестве тепло- и солнцезащитного в районах с повышенной солнечной радиацией.

Узорчатое – листовое бесцветное или цветное стекло, с одной стороны листа которого нанесён чёткий рельефный узор глубиной 0,5-1 мм. Узорчатое стекло рассеивает падающий на него свет, поэтому его применяют в тех зданиях и помещениях, где необходимо создать равномерное и мягкое освещение. А также при необходимости защитить помещение от действия прямых солнечных лучей. Его изготавливают в соответствии с ГОСТ 5533-86.

Армированное стекло – это листовое стекло, внутри которого параллельно его поверхности закатана металлическая сетка, благодаря которой оно не рассыпается при механическом или тепловом воздействии. Это стекло относится к безопасным и огнестойким видам изделий, что позволяет применять его для остекления дверей в подъездах домов, балконных проёмов и там, где нужно предотвратить возможность травм от крупных осколков стекла. Армированное стекло вырабатывают в соответствии с ГОСТ 7481-78 с толщиной для бесцветного стекла 5,5, а для цветного – 6 мм. В импортном армированном стекле применяется проволока с покрытием из легирующих материалов, имеющих большую прочность и лучше противостоящих коррозии.

Качественное армированное стекло должно отламываться по линии надреза, не растрескиваясь. Если в нём много пузырей, то это брак.

Марблит – это глушённое белое, чёрное или цветное утолщённое стекло с огненно-полированной лицевой и рифлёной тыльной поверхностями. Рифлят тыльную поверхность для лучшего сцепления стекла с вяжущим материалом при облицовке. Этот вид непрозрачного, окрашенного в массе листового стекла имеет высокую механическую прочность, долговечность и широкие декоративные качества. Марблит вырабатывают в основном способом периодического проката в виде плиток. По своим механическим свойствам марблит близок к обычному листовому стеклу. Его применяют для внутренней облицовки помещений с повышенной влажностью, а также колон и интерьеров общественных зданий.

Стемалит – это утолщённое облицовочное стекло, получаемое путём нанесения на одну сторону стекла цветной керамической краски, закреплённой на поверхности термической обработкой. Толщина стемалита 5-6 мм. Его применяют для наружной и внутренней облицовки общественных зданий. Стемалит изготавливают из листового стекла вертикального вытягивания, прокатного необработанного, полированного и узорчатого.

Коврово-мозаичные плитки – это мелкие цветные стеклянные глушеные облицовочные плитки размером 20 x 20 мм и толщиной 4-5 мм. Плитки и ковры из них предназначены для наружной и внутренней облицовки зданий различного назначения, а также для изготовления декоративно-художественных панно наборной мозаики. Коврово-мозаичные плитки и ковры из них вырабатывают в соответствии с ГОСТ 17057-89.

Тарное стекло используют для расфасовки, хранения и транспортирования различных жидких, пастообразных и твёрдых продуктов. Изделия из тарного стекла должны иметь хороший вид, быть гигиеничными, инертными по отношению ко всем видам пищевых продуктов, обладать температуроустойчивостью, позволяющей пастеризовать и стерилизовать пищевые продукты. К недостаткам стеклянной тары следует отнести сравнительно большую массу и невысокую механическую прочность.

Состав стекла для того или иного вида тары зависит от способа её производства и назначения. Кроме основных компонентов SiO_2 , CaO и Na_2O тарные стёкла содержат от 3-3,5% MgO , а также до 3-5% Al_2O_3 .

Содержание оксидов железа в бесцветных стёклах не должно превышать 0,1%, а в полубелых – 0,5% Fe_2O_3 . Окрашенные стёкла могут содержать Fe_2O_3 до 1,5-2% и MgO до 1-2%.

Наиболее распространённый способ повышения механической прочности и эксплуатационной надёжности стеклянной тары – нанесение плёночных защитно-упрочняющих покрытий. В качестве

оксидно-металлических покрытий чаще всего применяют оксидно-оловянные, наносимые при воздействии паров SnCl_4 на горячую ($450-600^\circ\text{C}$) поверхность изделий. Кремнийорганические плёнки наносят на изделия путём распыления водных эмульсий кремнийорганических жидкостей при температуре $150-200^\circ\text{C}$. В некоторых случаях наносят покрытия из пластических масс на основе поливинилхлорида путём опускания изделий в ванну. У изделий с защитными покрытиями возрастает сопротивление внутреннему давлению на 6-20%, за счёт повышения механической прочности примерно в 1,5-2 раза снижаются потери при транспортировании стеклянной тары. Кроме того, благодаря повышению механической прочности стеклотары значительно снижаются потери пищевых продуктов на предприятиях пищевой промышленности.

Сортовое стекло используют для производства изделий бытового назначения. Оно должно обладать высоким показателем светопропускания и максимальным светопропусканием, иметь хорошие варочные свойства и малую склонность к кристаллизации, хорошо поддаваться механической и химической обработке. Составы сортовых стёкол подразделяются на три основных группы: обычные бесцветные натрийкальцийсиликатные составы, хрустали и цветные стёкла. Свинцовые хрустали занимают особое место в производстве изделий бытового назначения. Они имеют небольшую вязкость и медленно твердеют. С увеличением содержания оксида свинца повышается показатель светопропускания. При введении в состав стекла 18-24% оксида свинца PbO показатель светопропускания составляет 1,532-1,542, а светопропускание достигает 90-92%. При введении красителей в состав шихты стекло окрашивается, давая при этом яркие чистые спектры цветов. Степень окрашивания зависит от вида красителя, его концентрации, состава стекла и условий варки. Содержание Fe_2O_3 в сортовом стекле не должно превышать 0,05%. Для цветных стёкол применяют разнообразные красители: для накладных – интенсивные (Co_2O_3 , Mn_2O_3 , Cr_2O_3 , сульфоселенид кадмия, золото, оксид меди), для стёкол, окрашенных в массу, – металлический селен, оксиды редкоземельных элементов (GeO_2 , Nd_2O_3 , Pr_2O_3). Неокрашенные стёкла обесцвечивают.

Техническое стекло. В зависимости от назначения выделяют несколько видов технических стёкол: оптическое, светотехническое, химико-лабораторное, медицинское, термометрическое, термостойкое, химически устойчивое, электроизоляционное, пористое (пеностекло), волокнистое (стеклянное волокно) и другие.

Оптическое стёкло – прозрачное стекло любого химического состава, обладающее высокой степенью однородности. Такие

стёкла подразделяют в зависимости от их показателя преломления и коэффициента дисперсии условно на две группы: кроны и флинт. К кронам относят стёкла с небольшим содержанием оксида свинца, которые имеют низкий показатель преломления и высокий коэффициент дисперсии. Флинты содержат в большом количестве PbO (до 70% по массе) и обладают высоким показателем преломления и малым коэффициентом дисперсии.

Основное требование, предъявляемое к оптическому стеклу, – это высокая степень однородности. Однородность оптического стекла нарушается в результате химических и физических изменений. Химическая неоднородность обусловлена местными изменениями химического состава и устраняется размешиванием оптического стекла в процессе варки. Физическая неоднородность вызывается напряжениями, возникающими в процессе охлаждения оптического стекла, и устраняется тщательным отжигом.

Оптические свойства стекла зависят от его химического состава. Разнообразным сочетанием оксидов удаётся получить стекло с требуемыми значениями оптических постоянных. Некоторые сорта оптического стекла, например, не содержат кремнезёма (основного составляющего любого стекла), другие содержат обычно применяемые окислители, но в чрезвычайно больших количествах. Прозрачность оптического стекла должна быть высокой, порядка 90-97% на 100 мм пути луча в стекле. Оптическое стекло должно быть химически устойчивым по отношению к действию влажной атмосферы и к действию слабых кислот. Для производства оптического стекла применяются такие же сырьевые материалы, как и для других типов стекол. Однако требования к чистоте сырья очень высокие. Особенно вредными примесями являются соединения железа и хрома, окрашивающие стекло и увеличивающие его светопоглощение.

К оптическим стеклам можно отнести также и специально окрашенные *цветные стекла*, применяемые для изготовления точных светофильтров, которые в виде плоскопараллельных пластин часто применяются в оптических приборах и служат для изменения спектрального состава проходящего через них света. Эти стекла получают на заводах оптического стекла теми же приёмами, что и оптическое стекло.

Светотехническое стекло используют для изменения интенсивности, характера спектра и направления проходящих через него световых потоков. К ним относятся цветные сигнальные (линзы Френеля), бесцветные призматические (фарные рассеиватели) и светорассеивающие (плафоны, колпаки) стёкла. Составы светотехнических стёкол находятся в системе $Na_2O - CaO - SiO_2$ и

вполне удовлетворяют эксплуатационным требованиям изделий. Составы опаловых и молочных стёкол отличаются повышенным содержанием Al_2O_3 и фтора.

Химико-лабораторное стекло характеризуется высокой химической и термической стойкостью, обладает пониженной склонностью к кристаллизации. Из этого стекла вырабатывают различную посуду, приборы и аппаратуру, применяемую в лабораторной практике и при выполнении научно-исследовательских работ. В зависимости от назначения изделий и способов производства составы химико-лабораторных стёкол разнообразны, в их состав входят оксиды B_2O_3 , Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , повышающие химическую и термическую стойкость. Наряду с этим они имеют пониженное содержание щелочных оксидов.

Медицинское стекло предназначено для хранения и упаковки лекарственных средств, поэтому основным требованием к этим стёклам является высокая химическая стойкость по отношению к хранящимся в них препаратам. Стёкла для медикаментов не должны взаимодействовать с содержащимися в изделиях лекарствами, вызывать изменения их свойств или выделения каких-либо осадков; они не должны вносить в препараты токсические примеси при длительном хранении. Поэтому все медицинские стёкла, особенно ампулы, должны быть химически устойчивы. Их проверяют на действие не только воды и химических реагентов, но и тех препаратов, для которых они предназначены. Кроме того, стёкла для хранения витаминных препаратов не должны пропускать ультрафиолетовые лучи, а стёкла для ампул и шприцев – кристаллизоваться при обработке на стеклодувной горелке. Из медицинского стекла выпускают аптекарскую посуду, ампулы, флаконы для антибиотиков и т.п. Не допускается введение в состав медицинских стёкол токсичных оксидов As_2O_3 , Sb_2O_3 , P_2O_5 и соединений фтора.

Термометрическое стекло применяется для изготовления разнообразных трубок, капилляров, цилиндров и баллонов для жидкостных и газовых термометров различного назначения. Термометрические стёкла должны соответствовать специальным требованиям, так как в процессе службы термометры попеременно то нагреваются, то охлаждаются. С течением времени это приводит к необратимому расширению трубки термометра и понижению точки нуля на 1° и более (явление депрессии). Если термометры работают очень долго, то происходит обратное явление: стекло постепенно уменьшается в объёме, а точка нуля вследствие этого повышается. Такое необратимое изменение называют старением термометра. Поэтому для изготовления термометров подбирают такие стёкла, чтобы депрессия и старение были как можно мень-

ше. Наиболее пригодны для этих целей малощелочные стёкла, содержащие один щелочной оксид.

Термометрические стёкла должны быть термически и химически стойкими и не должны кристаллизироваться при стеклодувной обработке. Высокая температура размягчения – обязательное требование к стёклам для высокотемпературных термометров.

Электровакуумное стекло широко применяют в радиоэлектронной технике благодаря тому, что оно обладает специфическими техническими свойствами и большими технологическими возможностями формования деталей любой конструкционной сложности. Из стекла изготавливают оболочки ламп накаливания, люминесцентных ламп, галогенных ламп, телевизионных кинескопов, а также различные устройства рентгеновской техники, конденсаторы и другие элементы.

Многие электровакуумные стёкла относятся к алюмоборосиликатной системе и отличаются хорошими технологическими и эксплуатационными свойствами – механической прочностью, термостойкостью, химической стойкостью, высокой диэлектрической способностью.

Пористое стекло (пеностекло) – это стекло с однородной пористой структурой стеклообразного материала, малым объёмным весом, низкой теплопроводностью, хорошей плавучестью, высоким звукопоглощением. Область применения: изготовление конструкционных, монтажных и ограждающих элементов и деталей, предназначенных для тепло- и звукоизоляции, фильтрации газов и жидкостей.

Стекловолоконное волокно – искусственное волокно строго цилиндрической формы с гладкой поверхностью, получаемое вытягиванием или расчленением расплавленного стекла. Это стекло обладает свойствами: негорючестью, стойкостью к коррозии, высокой прочностью, что позволяет применять его в различных областях техники. Известны два вида стекловолоконного волокна: непрерывное (получаемое вытягиванием из расплава стекла) и штапельное (получаемое путём раздува струи расплавленного стекла воздухом или паром). В зависимости от назначения диаметр волокон колеблется от 0,1 до 100 мкм. При производстве стекловолоконного волокна применяют бесщелочные алюмоборосиликатные стёкла. Материалы из непрерывных стеклянных волокон применяют в электротехнической, химической промышленности, строительстве и других отраслях. Материалы из штапельного волокна в виде матов, ваты, холстов используют для теплозвукоэлектроизоляции, фильтрации.

Материал, получаемый прессованием стекловолокна, пропитанного синтетическими смолами, называют стеклопластиком, ко-

торый используют в качестве ограждающих и отделочных материалов. В качестве связующего материала применяют фенольные, полиэфирные, карбамидные и другие смолы.

Стекло растворимое - смесь силикатов натрия и калия (или только натрия), водные растворы которых называются жидким стеклом. Растворимое стекло применяют для изготовления кислотоупорных цементов и бетонов, для пропитки тканей, изготовления огнезащитных красок, силикагеля, для укрепления слабых грунтов, для получения различных клеящих составов, вяжущих растворов, очистительных средств, уплотнительных и гидроизоляционных замазок и покрытий, холодных глазурей и эмалей, теплостойких и химически стойких минеральных красок, жароупорных бетонов, пористых фильтрующих материалов, электродов для электродуговой сварки.

Стеклопакеты представляют собой герметичную композицию из двух и более листов стекла, разделенных дистанционными рамками (спенсерами). Известно, что основные потери тепла в помещении происходят через окна. Проблема повышения теплоизоляции окна довольно актуальна, особенно в северных районах. Решением данной проблемы можно считать стеклопакетное остекление. Энергосбережение основано на том, что сухой воздух, заполняющий межстекольное пространство стеклопакета, является хорошим теплоизолятором - его теплопроводность практически в 27 раз ниже, чем у стекла. Замена обычных стёкол на однокамерный стеклопакет повышает теплоизоляцию окна практически в 2 раза.

Теплоизоляция стеклопакета напрямую зависит от его герметичности: при ее нарушении стеклопакет теряет все свои положительные свойства. Наиболее надежную и долговременную герметичность обеспечивает промышленное производство стеклопакетов на профессиональном оборудовании по методу двухстадийной герметизации. При этом первичный герметик (бутиловый) обеспечивает водонепроницаемость стеклопакета, а вторичный – двухкомпонентный полисульфидный – механическую прочность. Кроме того, благодаря своему составу, он обеспечивает соединение дистанционной рамки со стеклами на молекулярном уровне (адгезия), гарантируя долговечность изделия. Именно таким методом производится сейчас подавляющее большинство стеклопакетов в Европе.

Триплекс – это стекло, состоящее из двух или более слоев, «склеенных» друг с другом по всей поверхности. Слои могут быть выполнены как из стекла одного, так и различных типов. Они могут быть как прямыми, так и гнутыми (форму им придают ещё до склейки).

Триплекс целесообразно использовать в качестве стекол, защищающих от взлома (ударопрочное), от пуль (пуленепробиваемое), от огня (огнестойкое), а также для изготовления изолирующих стеклопакетов, аквариумов больших размеров, элементов интерьера.

Стёкла продают как в виде больших пластин, из которых нарезают полотна требуемого размера, так и в виде готовых изделий определённых форм и размеров.

В основном предлагаются два различных вида триплекса: пленочный и заливной. В первом случае слои «склеиваются» друг с другом по всей поверхности полимерной пленкой, во втором – полимерным ламинирующим составом. Такие стекла хорошо защищают от ультрафиолетового излучения.

Плёночный триплекс имеет, как правило, форму 3+3 и предлагается в свободном размере листами, упакованными в ящиках. Заливной триплекс может иметь любую форму, так как сначала изготавливаются стёкла нужного размера и конфигурации, а потом между ними заливается полимер.

В отличие от закаленного стекла, триплекс не прочнее обычного стекла, он лишь ведет себя по-другому при разбивании - осколки не разлетаются во все стороны, а остаются «висеть» на эластичной плёнке. Именно этим его свойством и обусловлено применение триплекса в витринах магазинов.

Строительный триплекс - это композиция, состоящая из двух слоев стекла и слоя полимера толщиной 1-2,5 мм между ними, обладающая хорошими защитными свойствами.

Строительный триплекс применяется при оформлении входов и вестибюлей общественных зданий; при создании офисных перегородок и витрин; при остеклении лестниц; в стеклопакетах, устанавливаемых на крышах зданий; при остеклении торговых павильонов и остановочных комплексов; при остеклении школ, спортивных залов и детских садов.

Стеклоблоки предназначены для создания светопрозрачных конструкций и перегородок как внутри, так и снаружи зданий. Они обладают прекрасным внешним видом, хорошим качеством, а стеклоблоки отечественного производства отличаются еще и более чем приемлемой ценой. Размер стеклоблока 194x194x78 мм, вес - 2,5 кг. Недостатком стеклоблоков является трудность ремонта собранной из них конструкции, так как если разбился один стеклоблок в центре конструкции, то необходимо разбирать всю конструкцию.

Глава 3

ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА

Технология получения стекла состоит из двух производственных циклов: цикл технологии получения стекломассы и цикл технологии получения стеклянных изделий.

Цикл технологии стекломассы включает несколько операций:

- подготовка сырьевых материалов; смешивание сырьевых материалов в определённых соотношениях в соответствии с заданным химическим составом стекла в однородную шихту;
- варка шихты в стекловаренных печах для получения однородной жидкой стекломассы.

Цикл технологии получения стеклянных изделий состоит из следующих операций:

- доведение стекломассы до температуры (и вязкости), требуемой условиями формования из неё разнообразных стеклянных изделий;
- формование изделий;
- постепенное охлаждение изделий до комнатной температуры с целью ликвидации возникающих в процессе формования напряжений;
- термическая, механическая или химическая (в отдельности либо во взаимном сочетании) обработка отформованных изделий для придания им заданных свойств.

3.1. Сырьевые материалы для производства стекла

Расплав, из которого вырабатывают стеклянные изделия, получают из смеси природных или искусственных сырьевых материалов - шихты.

В ближайшие десятилетия сырьевая база стекольной промышленности Российской Федерации может полностью удовлетворить потребности действующих стекольных заводов в основных компонентах для производства стекла за счёт разведанных запасов. Однако качество минерального сырья не полностью удовлетворяет потребности отрасли.

Основными причинами низкого качества стекольного сырья являются ограниченные запасы высококачественного природного сырья, задержка в освоении новых месторождений, недостаточная материальная база действующих горно-обогатительных комбинатов.

Пригодность сырья для приготовления стекольной шихты оценивается по следующим показателям:

- постоянство химического состава;
- содержание основного вещества;
- возможность обеспечения заданного состава стекла;
- содержание оксидов железа и других красящих примесей;
- однородность химического состава и гранулометрии.

Сырьевые материалы, применяемые в стекловарении, в зависимости от их назначения условно делят на две группы: основные и вспомогательные материалы.

Основные материалы служат для введения в стекломассу важнейших кислотных, щелочных и щелочноземельных оксидов, являющихся основой для образования стекла и называемых **стеклообразующими**. Обычно состав стекла выражается процентным содержанием этих оксидов.

К вспомогательным сырьевым материалам относят вещества, которые придают стеклу специальные свойства, улучшают качество и провар стекломассы, а также ускоряют варку стекла. К таким материалам относят красители, обесцвечиватели, окислители, восстановители, глушители, осветлители и ускорители варки.

Сырьевые материалы могут быть также разделены на природные и синтетические. В стеклоделии в основном применяют природные материалы: кварцевый песок, известняки, доломиты, нефелины, полевые шпаты. Остальные материалы, как правило, синтетические: кальцинированная сода, поташ, свинцовый сурик, красители и другие. Качество каждого сырьевого материала должно отвечать требованиям, соответствующим виду и назначению стеклянных изделий, в производстве которых этот материал применяют. Химический и гранулометрический составы применяемых сырьевых материалов регламентируются соответствующими государственными стандартами и техническими условиями, которые периодически пересматривают и уточняют.

Основные стеклообразующие оксиды в промышленных условиях вводятся в виде следующих сырьевых материалов: для введения SiO_2 используются кварцевые пески, песчаники, кварциты, горный и жильный кварц; CaO и MgO – доломиты, известняки, мел; Al_2O_3 – пегматит, полевой шпат, полешпатовый концентрат, нефелин, технический глинозём, гидроксид алюминия; PbO – сурик, силикат свинца и свинцовые белила; Na_2O и K_2O – сода кальцинированная, нефелин, нитрат натрия, поташ, сульфат натрия, селитра натрия и калиевая.

Месторождения основных сырьевых материалов стекольной промышленности имеются на всей территории СНГ. В частности, насчитывается свыше 100 разведанных месторождений стеколь-

ных песков, 20 месторождений доломита, 17 известняка (мела), 5 глинозёмсодержащих материалов. Однако большинство из них не подготовлено для промышленной эксплуатации.

Технические требования на все основные виды стекольного сырья сформулированы в ГОСТах и ТУ.

Примеси в сырьевых материалах могут быть разделены на две группы:

- *вредные примеси* – оксиды железа, хрома, титана, марганца, ванадия;

- *невредные* – оксиды алюминия, кальция, магния, калия, натрия.

Вредные примеси сообщают стеклу нежелательную окраску. Невредные примеси обычно входят в состав стекла, поэтому требуется только учитывать их количество, вводимое в стекло с сырьём, с тем, чтобы откорректировать остальные компоненты шихты.

Основным критерием чистоты сырьевых материалов принято считать содержание в них оксидов железа, которые снижают светопрозрачность стекла. Для некоторых производств жёсткие требования предъявляются к содержанию в сырье оксидов хрома (Cr_2O_3) и ионов хлора (Cl^-).

Стекольные предприятия получают сырьё преимущественно низкого качества, что отрицательно сказывается на технологическом процессе производства стекла, качестве стеклоизделий, приводит к увеличению топливно-энергетических затрат и трудовых ресурсов. Подготовка такого сырья к приготовлению шихты на заводе заключается в основном в отсеве крупнозернистого песка, комьев глины, других примесей и просушивании. В некоторых случаях производят промывку или усреднение на специально подготовленных площадках. Хорошо подготовленный сырьевой материал должен иметь однородный и постоянный во времени гранулометрический состав. Для каждого вида сырья нормируются оптимальные размеры зёрен, при которых этот материал не комкуется, хорошо смешивается с другими компонентами шихты, активно вступает в химические реакции и равномерно растворяется в расплаве.

3.1.1 Стеклообразующие сырьевые материалы

Кремнезём SiO_2 . Кремнезём является главной составной частью большинства промышленных стёкол. Большинство изделий из стекла получают на основе силикатных стёкол, массовая доля кремнезёма SiO_2 в которых составляет 55-82%. В стекловарении для введения SiO_2 используется кристаллическая разновидность кремнезёма – кварц, естественные скопления которого встречаются

ся в виде кварцевых песков, песчаников, кварцитов и жильного кварца. В последнее время начали использовать также аморфные разновидности природного SiO_2 – вулканические горные породы, опоки, трепелы. Чтобы получить изделия из особо чистого кварцевого стекла, применяют горный хрусталь и оксид кремния, который получают искусственным путём.

Для производства промышленных стёкол применяют преимущественно кварцевые пески. Они представляют собой обломочную породу, состоящую в основном из зёрен кварца.

Кварцевый песок – продукт разрушения горных пород; состоит из зёрен кварца и примесей (глина, полевошпатовые породы, уголь, соединения железа и др.). В составе всех песков встречается наиболее вредная примесь – оксиды железа, окрашивающие стекло в зелёный или жёлтый цвет. В связи с этим стандартом для стекловарения установлена концентрация оксида железа в песках, предназначенных для производства различных видов изделий (табл. 1).

Таблица 1

Допустимые нормы содержания примесей железа в песке

Вид стекла	Содержание примесей железа, %
Оптическое стекло	Не более 0,01
Хрусталь (свинцовый и бессвинцовый)	0,01-0,015
Оконное стекло	0,05-0,15
Техническое стекло	0,03-0,07
Стекланная тара (банки, бутылки)	0,05-0,25

Стекольными называют кварцевые пески, содержащие более 95% SiO_2 и относительно небольшое количество примесей. В песках присутствуют также оксиды хрома Cr_2O_3 и титана TiO_2 . Оксид хрома окрашивает стекло в зелёный цвет, а оксид титана в присутствии железа – в жёлтый. Содержание в песке Cr_2O_3 не должно превышать 0,0001%, а TiO_2 – 0,05% по массе. Высококачественные стекольные пески имеют, как правило, белый или светло-серый цвет. Примеси глины придают им серый или жёлтый цвет, глауконита – зеленоватый оттенок.

Природные пески обычно содержат окрашивающих примесей больше, чем допускается стандартом, поэтому пески обогащают и тем самым повышают содержание основного вещества. Основные способы обогащения: промывка, флотооттирка, магнитная сепарация. При производстве стекланной тары, особенно зелёной и полубелой, используют пески местных месторождений.

Пригодность песков для стекловарения определяется их химическим и зерновым составом.

Основное требование к химическому составу песка – высокое содержание SiO_2 и минимальное содержание окрашивающих примесей, прежде всего оксидов железа.

Большое значение для стекловарения имеет зерновой состав песка. Общепринятая классификация песков по размерам зёрен и обломков отсутствует. Обычно к песчаным относят зёрна размером от 0,05 до 2 мм. По преобладающему размеру зёрен пески подразделяют на:

- тонкозернистые (0,05-0,1) мм;
- мелкозернистые (0,1-0,25) мм;
- среднезернистые (0,25-0,5) мм;
- крупнозернистые (0,5-1,0) мм;
- грубозернистые (1-2) мм.

Наилучшими являются пески с зёрнами размером 0,15-0,3 мм, в которых не должно содержаться более 5% зёрен крупнее 0,5 мм и более 8% зёрен мельче 0,1 мм (пыли). Крупные зёрна кварца (диаметром 0,8-2 мм) провариваются медленно или совсем не провариваются, что часто является причиной образования в стекле такого порока, как материальный камень.

Мелкие зёрна провариваются быстро, поэтому для стекловарения целесообразно применять мелкозернистые пески при условии их однородности. Неоднородные мелкозернистые пески также приводят к образованию камня в стекле.

По содержанию и характеру преобладающих примесей стекольные пески подразделяются на три группы:

- чисто кварцевые, в которых содержится более 98% SiO_2 и не более 1,5% Al_2O_3 ;
- глинистые и глинисто-полевошпатовые с содержанием 90-98% SiO_2 и 1,5-10% Al_2O_3 ;
- кварц-полевошпатовые с содержанием 85-90% SiO_2 и 7-9% Al_2O_3 .

Стекольные пески могут быть плёночными и бесплёночными, содержащими минералы тяжёлой фракции в количестве 0,05-2,0% и практически не содержащими их (менее 0,05%).

Цвет песков не всегда соответствует их химическому составу. Иногда жёлтая, бурая или серая окраска зёрен обусловлена присутствием органических примесей, которые не приносятся в состав песка железом. В то же время бесплёночные пески белого или серого цвета могут быть загрязнены оксидами железа за счёт минералов тяжёлой фракции.

Твёрдость кварца по шкале Мооса составляет 7, плотность – 2,65 г/см³. Блеск кварца – стеклянный, жирный. Зёрна кварцевого песка, как правило, прозрачны.

Обработка сырьевых материалов состоит из измельчения, дробления, сушки, просева, обогащения. Приготовление шихты включает взвешивание, смешивание материалов и транспортировку готовой шихты к стекловаренным печам. Основным вредным фактором при этих процессах является выделение пыли в окружающую среду. Поэтому одним из важнейших требований, предъявляемых к технологическому процессу и оборудованию, является исключение влияния пыли на работающих. В процессе обработки кварцевого песка образуется наиболее опасная пыль свободного кристаллического оксида кремния – кварца и других модификаций. Глубоко проникая в органы дыхательных путей, такая пыль вызывает развитие в лёгких соединительной ткани, то есть способствует фиброзным изменениям. Поэтому указанные виды пыли именуются аэрозолями фиброгенного действия.

По фиброгенному действию наиболее опасной для здоровья является пыль кварцевого песка. Она относится к кремнезёмсодержащей пыли, в которой содержится свободный диоксид кремния не менее 95%. ПДК пыли песка - 1 мг/м³.

В 1990 г. Международное агентство по изучению рака (МАИП) IARC (International Agency for Research on Cancer) включило кристаллический SiO₂ в группу канцерогенных веществ.

В связи с тем, что оксид кремния (IV) был квалифицирован, как канцероген 1-й группы, то вопрос замены его на экологически безопасное вещество стал очень важным и необходимым.

Поскольку аморфные горные породы менее безопасны в экологическом плане, то замена кварцевых песков в стекольной промышленности такими породами, как перлиты, пемзы, опоки, трепела и другие, безусловно, даст возможность положительно решить этот вопрос.

Горные породы и их отходы как комплексное сырьё применяются на ряде стекольных заводов юга России. В производстве окрашенных бутылок успешно и достаточно широко используются металлургические шлаки, в том числе доменный и феррохромный, а также отходы промышленности, например отработанные катализаторы.

Таким образом, вовлечение в хозяйственный оборот новых видов аморфных горных пород, замена ими кварцевых песков в стекольном производстве – актуальная задача в научном, экологическом и практическом отношении.

Оксид бора B_2O_3 . Оксид бора вводится в стекломассу посредством борной кислоты, буры, борсодержащих минералов и боратов. Борсодержащие материалы применяют главным образом в производстве технических, оптических и цветных стёкол. Оксид бора в составе стекла способствует снижению коэффициента теплового расширения, повышению термической и химической устойчивости стёкол и улучшению их кристаллизационных свойств. При замене SiO_2 оксидом бора снижается вязкость расплавов и облегчается варка стекла.

В состав химически и термически стойких стёкол вводят от 2 до 20% B_2O_3 . Повышенная стоимость и дефицитность соединений бора препятствуют их применению в производстве листового и строительного стекла.

Глинозём Al_2O_3 . Глинозём вводят в стекло для получения высокосортных алюмосиликатных, алюмоборосиликатных стеклоизделий. Оксид алюминия, подобно оксиду бора, повышает термическую и химическую устойчивость стекла и его механическую прочность и затрудняет кристаллизацию. Вместе с тем Al_2O_3 – тугоплавкий материал; он растворяется в силикатных расплавах медленнее, чем кремнезём, и значительно повышает вязкость. Оксид алюминия вводят природными сырьевыми материалами – полевыми шпатами, пегматитом, нефелином, а также химическими продуктами – глинозёмом и гидратом оксида алюминия.

Глинозём – белый кристаллический порошок, нерастворимый в воде и кислотах. По составу он представляет собой технический оксид алюминия, содержащий до 99% по массе Al_2O_3 . Его получают путём химической переработки алюминийсодержащего сырья. Применение технического глинозёма в стекольной промышленности ограничено из-за его стоимости.

Полевые шпаты – кристаллические природные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов. По химическому составу их подразделяют на калиевые ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), натриевые ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) и кальциевые ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), называемые соответственно ортоклазом, альбитом и онортитом. Химический состав у этих материалов непостоянен, поэтому использовать их можно только после предварительного смешивания для усреднения химического состава. В чистых полевых шпатах содержание Al_2O_3 достигает 30%. Из вредных примесей полевой шпат включает до 0,4-0,5% оксидов железа, лучшие сорта содержат 0,06-0,30% Fe_2O_3 .

В чистом виде в стекольной промышленности полевой шпат почти не используют, а применяют главным образом полевошпатовые концентраты, содержащие 97% полевых шпатов и около 5% примесей (кварц, слюда и др.), которые поступают на стекольные заводы измельчёнными и упакованными в мешки.

Полевые шпаты имеют мелкозернистую структуру. Они обладают значительной твердостью, которая колеблется в пределах от 5,5 до 6,5 (по шкале твердости Мооса).

Пегматиты состоят из 75% полевого шпата и 25% кварца и представляют собой прочную крупнокристаллическую породу. Для использования при производстве стекла пегматиты должны содержать по массе не менее 15% Al_2O_3 , не менее 8% $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ и не более 0,25% Fe_2O_3 (в расчёте на сухое вещество). В стекловарении обычно применяют молотый обогащённый пегматит, выпускаемый специализированными предприятиями. На заводы пегматиты поступают в измельчённом виде, причём 75- 80% зёрен имеют размеры 0,1-0,8 мм.

Нефелиновый концентрат содержит по массе не менее 29% Al_2O_3 , но благодаря тому, что в него входит 18-19% по массе щелочных оксидов, он легко переходит в расплав. Нефелиновый концентрат – продукт обогащения апатито-нефелиновой руды в виде тонкозернистого порошка серого цвета со сравнительно постоянным зерновым и химическим составом. В связи с высоким содержанием оксидов железа (3% по массе) его не применяют при производстве изделий из бесцветного стекла.

Каолины состоят из минерала каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Этот минерал содержит 38,0% Al_2O_3 ; 46,6% SiO_2 ; 14% H_2O . Каолины представляют собой выветрившиеся горные породы чешуйчатого строения. На стекольные заводы поступают в обогащённом виде с месторождений. Содержание оксида железа составляет 0,4-1,0% по массе. Вводят каолин в состав шихты предварительно хорошо смешанным с содой из-за его тугоплавкости и комкуемости.

Щелочное сырьё. В состав стекла входят оксиды натрия Na_2O и калия K_2O . Присутствие оксидов щелочных металлов в многокомпонентных стёклах понижает термическую и химическую устойчивость стёкол, ослабляет их механические и диэлектрические свойства. Наряду с этим они способствуют снижению вязкости расплавов и температуры варки стёкол.

Оксид натрия Na_2O , как и оксиды других щелочных металлов, выполняют роль плавней. Они ускоряют стеклообразование и понижают температуру варки стекла. Основными материалами для ввода в стекло оксида натрия является карбонат натрия Na_2CO_3 – кальцинированная сода, сульфат натрия Na_2SO_4 и селитра (нитрат натрия) NaNO_3 .

Кальцинированная сода Na_2CO_3 – основной материал для ввода в стекло оксида натрия. Сода представляет собой белый пылевидный порошок, который хорошо растворяется в воде, а при нагревании разлагается на оксид натрия и углекислый газ. Согласно

требованиям стандарта в прокалённой соде содержание Na_2CO_3 должно быть не менее 99% по массе, остаточное содержание хлоридов – не более 0,8%; Fe_2O_3 – не более 0,02%. В процессе варки стекла 58,5% оксида натрия Na_2O переходит в стекломассу и 41,5% углекислого газа улетучивается в атмосферу печи.

Сульфат натрия Na_2SO_4 природный и синтетический вводят в состав шихты от 5 до 15% по массе Na_2O . При варке стекла сульфат натрия разлагается очень трудно. Для того чтобы облегчить разложение сульфата натрия, в шихту вводят углеродистые восстановители (каменный уголь, древесные опилки). Неразложившийся сульфат натрия, обладая меньшей плотностью по сравнению со стекломассой, всплывает на её поверхность, разрушая огнеупорную кладку стекловаренных печей.

Сульфат натрия вводят в состав шихты преимущественно не с целью замены кальцинированной соды, а как необходимый компонент для нормального течения варки стекла. При введении в стекло в малых количествах от 0,5 до 0,7% по массе Na_2O сульфат натрия ускоряет процесс осветления стекломассы.

Сульфат натрия бывает искусственный, образующийся как побочный продукт на заводах по производству соляной и азотной кислот, и природный, большие запасы которого находятся в Прикаспийском районе. Добывают сульфат натрия путём перекачки концентрированного раствора сульфата натрия в воде в специальные бассейны, где происходит выделение мирабилита $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, а затем естественное его обезвоживание.

По техническим условиям природный сульфат натрия должен содержать: не менее 96,5% Na_2SO_4 ; Fe_2O_3 не более 0,01%; NaCl не более 1%; CaSO_4 не более 0,8%; влаги не более 3%; нерастворимого осадка не более 1,5%.

Сульфат натрия при варке стекла восстанавливают углеродом. Это необходимо для облегчения разложения сульфата на оксид натрия и летучие продукты. Углерод вводят в шихту в виде кокса, древесного угля, антрацита или опилок. Теоретически для восстановления сульфата требуется 4,22% углерода; практически вводят 6-7% от массы сульфата.

Оксид калия K_2O . Замена части оксида натрия оксидом калия уменьшает склонность стекла к кристаллизации, повышает его показатель преломления, плотность и термостойкость. Поэтому оксид калия используют вместо оксида натрия при производстве сортовых и особенно хрустальных стёкол. В качестве сырьевых материалов для ввода K_2O в стекло используют карбонат калия K_2CO_3 , нитрат калия KNO_3 и смесь карбонатов калия и натрия – нефелиновую соду.

Поташ K_2CO_3 – тонкий или зернистый порошок белого цвета, легко растворим в воде, гигроскопичен, комкуется и состоит из 68,2% K_2O и 31,8% CO_2 . Хранят его в сухих помещениях в плотно закрытых ёмкостях. Поташ бывает кристаллический $K_2CO_3 \cdot 2 H_2O$ и кальцинированный K_2CO_3 . Для стекловарения применяют главным образом кальцинированный поташ, который по стандарту должен содержать не менее 98% по массе K_2CO_3 . Получают поташ из горных пород, содержащих хлористый калий (минеральный поташ), и из золы растений – подсолнечника, сахарной свёклы и других (растительный). Поташ – дефицитный материал. Поэтому его применяют в стекольном производстве в ограниченных количествах. Нитрат калия (селитру) применяют в стекловарении как окислитель для введения от 1 до 6% K_2O .

Щелочноземельное сырьё. Щелочноземельные оксиды CaO , MgO , PbO , ZnO , BaO входят в состав большинства промышленных стёкол. Они повышают их термическую и химическую стойкость, а также механическую прочность.

Оксид кальция CaO , ускоряя реакции силикатообразования, облегчает процесс варки и осветления стекломассы, повышает химическую устойчивость стекла. Вводят оксид кальция в стекло с помощью природных карбонатов кальция, известняка, мела и мрамора.

Известняк $CaCO_3$ – осадочная горная порода белого и светло-серого цвета. Природный известняк, используемый в стекловарении, должен содержать не менее 51-54% по массе оксида кальция и не более 0,1-0,2% оксидов железа. Поступает известняк на стекольные заводы в виде глыб. В составы высококачественных стёкол рекомендуется вводить оксид кальция с боратом кальция.

Мел – мягкая, осадочная, микрозернистая, слабосцементированная порода белого цвета, состоящая в основном из мельчайших скелетных частей и панцирей простейших организмов. Включения оксидов железа придают ему желтоватый оттенок, а глины и оксид титана (IV) – сероватый цвет. Качество мела регламентируется ГОСТ 1498-64. На другое карбонатное сырьё ГОСТов нет, а имеются технические условия, составленные для каждого месторождения. Содержание CaO в меле должно быть не менее 54,3%, а оксидов – не более 0,2%. Известняки и мел, пригодные для стекольной промышленности, широко распространены в природе.

Мрамор – горная порода, которая содержит до 99-99,5% $CaCO_3$ и небольшое количество оксида железа – 0,015%, характеризуется постоянством химического состава.

Оксид магния MgO улучшает ряд физико-химических свойств стекла. При замене оксида кальция оксидом магния повы-

шается механическая прочность стекла, понижается коэффициент расширения, уменьшается склонность стекла к кристаллизации и увеличивается скорость твердения. Вводят оксид магния в стекло природным материалом – доломитом $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Иногда MgO вводят магнезитом или доломитизированным известняком.

Доломит – твёрдая светло-серая осадочная порода, окрашиваемая соединениями железа в жёлто-коричневый цвет. По качеству природный доломит для производства стекла должен содержать: для высшего сорта не менее 19,5% MgO , а для остальных сортов не менее 18% по массе; содержание CaO соответственно не более 32 и 34%; содержание Fe_2O_3 – 0,1-0,4%. При варке стекла из доломита в стекломассу переходит 30,4% CaO и 21,9% MgO , а 47,7% CO_2 улетучивается.

Поступает доломит на стекольные заводы в виде глыб, и поэтому его подвергают измельчению. Обогащённый доломит поступает в виде порошка. Перед введением его в шихту проводят контрольный просев.

Оксид бария BaO повышает блеск и показатель преломления стекла, улучшает диэлектрические свойства, поэтому его применяют в производстве оптических и специальных стёкол, а также при производстве бариевого хрусталя. Частичная замена CaO оксидом бария уменьшает вязкость и склонность расплава стекла к кристаллизации.

Вводят оксид бария в стекло карбонатом бария BaCO_3 , сульфатом бария BaSO_4 или нитратом бария $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

Карбонат бария – белый кристаллический, нерастворимый в воде порошок, вырабатывается химическим путём и содержит 77,7% BaO . Природный карбонат (витерий) встречается очень редко.

Сульфат бария бывает природный (минерал барит или тяжёлый шпат) и искусственный. На стекольных заводах BaSO_4 применяют редко, так как он очень трудно разлагается. Если в состав шихты вводят более 5% BaO с помощью BaSO_4 , то в этом случае в шихту добавляют углерод (5-7% по массе от массы BaSO_4).

Нитрат бария применяют главным образом при варке оптического стекла. Это синтетический продукт, легкоплавкий, растворимый в воде, при разложении в стекло переходит 56,6% BaO и выделяется кислород. Однако стекломасса с бариевыми соединениями сильно разъедает огнеупор.

Оксид свинца PbO – это тяжёлый легкоплавкий материал, который придаёт стеклу высокую плотность, повышает показатель преломления, придаёт характерный блеск и игру цветов, снижает теплоёмкость и температуру плавления стекла, способствует лучшему растворению и распределению красителей в стекле. Свинцовые стёкла легче поддаются гранению, шлифованию и полированию.

Вводят оксид свинца в стекло в составе свинцового сурика Pb_3O_4 или свинцового глета PbO . На стекольных заводах чаще всего используют свинцовый сурик, представляющий собой порошок ярко-оранжевого цвета, который получают, прокаливая глет при $360-380^{\circ}C$. Сурик обычно содержит примеси SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и Fe_2O_3 . Содержание оксида железа не должно превышать 0,01%, а соединений меди, никеля и кобальта в сурике не должно быть совсем. Оксиды свинца легко восстанавливаются до металлического свинца, поэтому вводить в шихту их следует вместе с веществами, выделяющими кислород (окислителями). При этом в стекло переходит 97,7% PbO , а 2,3% O_2 улетучивается. Выделяющийся кислород содействует осветлению стекломассы.

Оксид цинка ZnO применяют в производстве сортовой посуды, светотехнических изделий, а также механически прочных, термостойких и химически устойчивых технических стёкол. Совместно с фтористыми соединениями оксид цинка используют в производстве молочного стекла (как для усиления глушения, так и для улучшения белизны и блеска). В последнее время на заводах сортовой посуды стали применять оксид цинка для получения нового вида стекла – так называемого сульфидного, позволяющего получить дешёвые многослойные изделия с различными многообразными и оригинальными рисунками.

Оксид цинка придаёт стеклу значительную термическую и химическую устойчивость, поэтому цинковые стёкла весьма устойчивы к резким изменениям температуры и применяются для производства лабораторной посуды. Коэффициент термического расширения ZnO – один из самых низких среди других основных оксидов. При обесцвечивании стекла селеном оксид цинка препятствует значительному улетучиванию селена.

Вводят оксид цинка в стекло через цинковые белила (ГОСТ 202-84), содержащие не менее 96% ZnO ; в отдельных случаях – в виде углекислого цинка $ZnCO_3$, встречающегося в природе в качестве минерала галмея (цинковый шпат) или азотнокислого цинка $Zn(NO_3)_2$.

Материалы смешанных стеклообразующих оксидов могут быть использованы в стекольной промышленности главным образом как «заменители» щелочей. Эти горные породы содержат главные стеклообразующие оксиды (SiO_2 , CaO , Na_2O), но в иных количественных соотношениях. Щелочи являются самой ценной составной частью этих пород; их содержание колеблется в весьма широких пределах: от 5 до 19%.

Указанные горные породы, как «заменители» щелочей, широко использовались ещё в двадцатых годах прошлого века, когда

народное хозяйство страны не могло еще в достаточной степени обеспечить нужды стекольной промышленности в кондиционных щелочах. Однако большим недостатком этих горных пород является непостоянство их химического состава, а также содержание в них большого количества оксидов железа. Поэтому при выборе той или иной щелочесодержащей породы существенное значение имеет контроль химического состава и обогащение этого сырья добавлением недостающего количества тех или иных оксидов.

Из-за сравнительно большого содержания примесей железа щелочесодержащие породы применяют в основном в производстве тех стеклянных изделий, к цвету которых не предъявляются высокие требования и в стекле которых содержание оксидов железа не нормируется.

Отходы производства (металлургические шлаки, отходы обогащения) также находят применение в стекольной промышленности. Доменные шлаки в своём составе содержат, % по массе: SiO_2 – 35-65; CaO – 30-40; Al_2O_3 – 5-20 ; S – 2-4; Fe_2O_3 – до 5; Mn – до 2; щелочей – до 2. Доменные шлаки применяют преимущественно для производства шлакоситаллов, однако они могут быть использованы и в производстве стеклянной тары зелёного и оранжевого цветов.

При производстве бутылок из зелёного стекла применяют комплексный краситель на основе феррохромовых шлаков следующего состава, % по массе: SiO_2 – 25-30; CaO – 50-55; Al_2O_3 – 5-10; MgO – 5-15; Cr_2O_3 – 2-7. В стекольной промышленности около 80% окрашенных бутылок выпускают из хромсодержащих стёкол.

Использование промышленных отходов имеет важное значение в повышении эффективности производства и охраны окружающей среды.

Стекольный бой. При изготовлении изделий из стекла на различных технологических операциях (формования, отжига, отрезки колпачка, декорирования, сортировки и др.) образуются отходы стекла в виде отбракованных изделий и стекольного боя, которые снова используют в производстве. Их собирают и при необходимости измельчают, получая сырьевой материал в виде стекольного боя. Перед холодным ремонтом стекломассу из стекловаренной печи выпускают, направляя её в гранулятор, в котором горячая стекломасса под действием холодной воды превращается в гранулы стеклобоя. Его также используют в производстве изделий из стекла.

Стеклобой оказывает благоприятное влияние на процесс стекловарения, ускоряя его и уменьшая при этом распыление и расслоение стекольной шихты, снижая расходы топлива и дефи-

цитных сырьевых материалов, в частности свинцового сурика и соды. Обычно используют смесь, состоящую из 65-75% шихты из сырьевых материалов и 25-35% стекольного боя. Введение в стекловаренную печь повышенного содержания стекольного боя (свыше 50%) приводит, как правило, к ухудшению однородности стекломассы. При таких условиях принимают дополнительные меры по усреднению стекломассы, чтобы механическая прочность и термическая однородность изделий не понижалась.

Соотношение загружаемых в печь количеств шихты и боя должно быть постоянным. В противном случае ухудшается качество стекломассы, а следовательно, и качество выпускаемых изделий. Важно и постоянство химического состава стекольного боя. Как правило, состав боя должен отвечать составу стекла, получаемого из шихты, иначе стекломасса будет неоднородна. Не допускается смешивание боя стекол различных составов. Стекольный бой, загружаемый в стекловаренную печь, должен быть также чистым (промытым от загрязняющих примесей и просеянным) и по возможности однородным по величине кусков.

Если стеклобоя собственного производства не хватает, стекольные заводы используют близкий по химическому составу и цвету стеклобой других производств, поставляемый заготовительными базами вторичного сырья. Стеклобой разделяют при этом по трём группам: бесцветный, полубелый и цветной. Кроме того, в привозном (покупном) стеклобое не должно содержаться металлических и керамических включений, камня, песка, глины, шлака и других вредных примесей, а содержание органических примесей не должно превышать 2%.

Перед использованием в стекловарении привозного стеклобоя проводят контроль его на содержание примесей. Сначала отбирают пробу стеклобоя из разных мест в количестве 1% от поступившей партии, но не менее 20 кг. Затем её взвешивают, промывают водой, отбирают примеси, сушат при температуре не выше 100°C и снова взвешивают. По разнице весов определяют процент загрязнённости стеклобоя.

3.1.2. Вспомогательные сырьевые материалы

Вспомогательные сырьевые материалы в зависимости от их целевого назначения можно условно разделить на несколько групп: ускорители варки стекла, осветлители, окислители и восстановители, обесцвечиватели, красители и глушители стекла.

Ускорители. Некоторые химически активные соединения, введённые в состав шихты, ускоряют процесс варки стекла. Для

ускорения варки стекла применяют соединения фтора и хлора, а также нитраты натрия, калия, бария и аммонийные соли, способствующие появлению жидкой фазы при более низких температурах и тем самым увеличению скорости процесса силикатообразования. Шихта с добавлением 1% фтора при 1450°C проваривается в два раза быстрее, чем шихта без фтора. В качестве ускорителя варки обычно применяют кремнефторид натрия Na_2SiF_6 .

Кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 – отход химических производств, сильно летуч, токсичен. Вводят в состав шихты из расчёта 0,3-0,5% фтора сверх основного состава стекла. Наряду с положительными факторами применение фторидов вызывает ряд существенных отрицательных явлений. Фториды усиливают разрушение огнеупорных материалов стекловаренных печей, увеличивают кристаллизацию стекломассы и вследствие большой летучести вместе с дымовыми газами выделяются в окружающую среду. В связи с этим при использовании фторидов необходимо учитывать не только экономические предпосылки, но и охрану окружающей среды.

Хлористый натрий NaCl (поваренную соль) вводят в состав шихты от 1,5 до 3% её массы. Как и фториды, хлорид натрия сильно летуч. В процессе стекловарения теряется по массе от 30 до 35% хлорида.

Аммонийные соли при условии введения в количестве 3% сверх 100% ускоряют варку на 10-15%.

Оксид бора в количестве 1,5% B_2O_3 сверх 100% (или за счёт SiO_2) ускоряет варку так же, как фториды. Особенно эффективно интенсифицируется варка стекла при одновременном введении фтора и бора.

Оксид бария в количестве 0,25-0,5%, введённый вместо оксида кальция, ускоряет варку на 10-15%.

Осветлители – материалы, вводимые в состав шихты и способствующие осветлению стекломассы в процессе варки (при введении этих материалов в состав шихты происходит интенсивное освобождение стекломассы от крупных и мелких пузырей, то есть от газовых включений). В качестве осветлителей используют сульфат натрия, селитру, оксиды мышьяка и сурьмы, а также аммонийные соли.

Сульфат натрия Na_2SO_4 вводят в состав шихты в количестве 0,5-1% по массе.

Натриевая селитра NaNO_3 содержит до 99% основного вещества и в процессе варки стекла разлагается при 725°C с выделением оксидов азота и кислорода.

В качестве осветлителя используют также и калиевую селитру KNO_3 , которая разлагается при 925°C .

Оксиды мышьяка и сурьмы As_2O_3 и Sb_2O_3 применяют с нитратами, которые при разложении окисляют As_2O_3 и Sb_2O_3 до оксидов (V) As_2O_5 и Sb_2O_5 . При температурах $1150\text{--}1200^\circ\text{C}$ эти оксиды выделяют кислород.

Из аммонийных солей вводят в состав шихты азотнокислый аммоний NH_4NO_3 в количестве 0,25% от массы шихты, сернокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в количестве от 0,5 до 3%, а также хлористый аммоний NH_4Cl – 0,25%.

Осветлители в стекломассе быстро разлагаются с образованием большого количества газов. Эти газы, пронизывая стекломассу, захватывают мелкие газовые пузырьки, увлекают их и выводят в атмосферу. Благодаря этому стекломасса становится светопрозрачной.

Обесцвечиватели – вещества, которые будучи введены в состав стекла, уничтожают нежелательную окраску, вызванную красящими примесями, преимущественно оксидами железа, попадающими в стекло в качестве неизбежных примесей к сырьевым материалам (мелу, песку, сульфату и др.). Примеси железа, содержащиеся в основных сырьевых материалах, обуславливают присутствие в стекле соединений железа в виде оксида железа FeO , окрашивающего стекло в голубовато-зелёный цвет, и оксида железа Fe_2O_3 , окрашивающего стекло в жёлто-зелёный цвет. Интенсивность окраски зависит от общего содержания в стекле оксидов железа. При производстве многих видов изделий из стекла такая окраска не допускается, поэтому для её устранения и получения относительно бесцветного стекла (без каких-либо видимых невооружённым глазом оттенков) применяют обесцвечивающие материалы. Однако последние действуют эффективно только при небольшом содержании в сырьевых материалах примесей железа. А так как в основном наибольшее количество примесей железа содержится в кварцевом песке, то для получения бесцветного стекла или стекла с незначительными, едва заметными оттенками песок предварительно подвергают обезжелезиванию.

Различают два способа обесцвечивания стекла: физический и химический. Физический способ обесцвечивания эффективен при общем содержании $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ в стекле не более 0,08%, а химический – при 0,06%.

При физическом обесцвечивании в состав стекла вводят красители, которые окрашивают стекломассу в цвет, дополнительный к окраске, придающей соединениями железа, и нейтрализуют нежелательный оттенок, поглощая избыток зелёных лучей. В каче-

стве физических обесцвечивателей применяют селен, оксид никеля (II), оксид кобальта (II), оксид марганца (IV) и оксиды редкоземельных элементов (неодима и эрбия).

Селен Se вводят в шихту совместно с оксидом кобальта CoO , что обеспечивает наилучший результат, так как синяя окраска оксида кобальта компенсирует лёгкую желтовато-розовую окраску, получаемую при использовании одного селена. Содержание селена в стекле должно составлять 0,005-0,01%, оксида кобальта – 0,0001%. Кроме элементарного селена его вводят в виде селенисто-натриевой соли Na_2SeO_3 , содержащей до 45,6% элементарного селена. Селен обладает высокой летучестью при относительно низкой температуре (около 700°C), поэтому его количество, остающееся в стекле, не превышает 25-30% от вводимого. Однако обесцвечивание металлическим селеном или селенисто-натриевой солью возможно при содержании оксида железа в стекле не более 0,09%.

Оксид никеля NiO снижает прозрачность стекла, поэтому в чистом виде он применяется очень редко, чаще всего его вводят совместно с селеном и оксидами кобальта.

Оксид марганца (IV) MnO_2 при варке стекла разлагается с выделением кислорода: $4 \text{MnO}_2 \rightarrow 2 \text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{O}_2$. Образующийся оксид марганца (III) окрашивает стекло в желтый дополнительный цвет и способствует физическому обесцвечиванию.

В качестве обесцвечивателей применяют вещества из группы редкоземельных элементов. Оксид неодима Nd_2O_3 вводят в состав стекломассы в количестве 0,005-0,007%, который придаёт стеклу лилово-розовую окраску. Оксид эрбия Er_2O_3 в количестве 0,02% окрашивает стекло в бледно-розовый цвет.

При химическом обесцвечивании имеющееся в стекле железо переводят в трёхвалентную форму, так как удельное поглощение света двухвалентного железа Fe^{2+} в области видимых лучей спектра в 10 раз больше трёхвалентного Fe^{3+} . Синие и фиолетовые лучи с длиной волны $500 \cdot 10^{-9}$ м трёхвалентное железо поглощает, а красные и жёлтые – пропускает. Химически обесцвеченное стекло обычно имеет слабый желтовато-зелёный оттенок, обладая при этом высоким светопропусканием. В качестве химически обесцвечивающих веществ применяют сильные окислители: селитры, оксиды мышьяка, сурьмы и церия.

Селитра разлагается с выделением кислорода при сравнительно низкой температуре (400°C). Рекомендуются вводить в шихту для обесцвечивания 1-1,5% селитры.

Оксид мышьяка (III) As_2O_3 поглощает кислород при сравнительно низкой температуре и превращается в оксид мышьяка (V)

As_2O_5 , который при высокой температуре, свыше 1400°C , разлагается с выделением кислорода. В присутствии окислителя оксид железа (II) FeO переводится в оксид железа (III) Fe_2O_3 . Для обесцвечивания рекомендуется вводить в шихту 0,3% As_2O_3 .

Оксид сурьмы (III) Sb_2O_3 , аналогично оксиду мышьяка (III), применяют в отдельных случаях, но действие этого оксида менее эффективно.

Оксид церия (IV) CeO_2 – сильнейший окислитель. Его вводят в состав стекла в количестве 0,07-0,1%. На практике вместо оксида церия (IV) применяют цериевый концентрат, содержащий 87,4-91,5% CeO_2 . Широкое распространение оксид церия (IV) получил в производстве изделий из хрусталя.

Красители – вещества, окрашивающие стекло в желаемый цвет. Красители дают стеклу различные цвета соединениями металлов, которые растворятся в стекломассе (молекулярные красители) или равномерно распределяются в виде мельчайших коллоидных частичек (коллоидные красители). Окрашивание стекла зависит не только от свойств красителей, но и от химического состава стекла, условий варки, содержания в шихте окислителей или восстановителей, а также от атмосферы печи.

Молекулярные красители – это соединения кобальта, марганца, никеля, меди, железа, урана, селена, хрома, кадмия.

Соединения кобальта окрашивают стекло в синий цвет. Красящим соединением является оксид кобальта (II) CoO , представляющий собой порошок серого цвета, который является чрезвычайно сильным и стойким красителем. При содержании оксидов кобальта CoO и Co_2O_3 в количестве 0,002% окраска стекла синеватая, а при 0,5% – ярко-синяя. Для лучшего распределения оксида кобальта в стекле его иногда применяют в виде смальты – смеси песка, поташа и 3-6% CoO . Калиевые стёкла получают более интенсивное синее окрашивание, чем натриевые. Окраска соединениями кобальта не зависит от режима варки стекла, и при использовании совместно с другими красителями (солями хрома и меди) можно получить окраску стекла от зеленовато-синей до зелёной.

В стеклоделии чаще всего используют оксид кобальта (III) Co_2O_3 , представляющий собой черный порошок. При $1150 - 1200^\circ\text{C}$ оксид кобальта (III) Co_2O_3 переходит в оксид кобальта (II) CoO . Качество оксида кобальта (II) регламентируется ГОСТ 4467-48. Применяют также оксид кобальта Co_3O_4 – чёрный порошок.

Соединения марганца окрашивают стекло в фиолетовый цвет при содержании оксида марганца Mn_2O_3 до 3% и чёрный – при содержании 12-20%. С этой целью в состав шихты вводят природный минерал – пиролюзит MnO_2 или чистый препарат перманганат калия KMnO_4 .

Соединения никеля окрашивают стекло в различные цвета в зависимости от состава стекла и концентрации красящего оксида никеля (II) NiO . При малых концентрациях и в малых пластинках получаются дымчатые стёкла. Красновато-фиолетовые тона получаются при более высоких концентрациях NiO (2-3%) или в более толстых пластинках. Вводят в шихту NiO оксидом никеля (III) Ni_2O_3 (порошок чёрного цвета). Окрашивание соединениями никеля хорошо воспроизводимо и не зависит от условий варки стекла.

Соединения меди в зависимости от концентрации, состава стекла и условий окрашивания придают синий, голубой, зелёный и красный цвета. Оксид меди (II) CuO окрашивает стекло в голубой, слегка зеленоватый цвет. Часто голубой цвет стекла получают при введении CuO в количестве 1-2%, с увеличением содержания оксида меди (II) окраска переходит в зелёную. Серноокислая медь (медный купорос) при варке разлагается и в стекло переходит около 30% CuO . Применяют медный купорос главным образом для получения медного рубина.

Соединение железа Fe_2O_3 окрашивает стекло в цвета от жёлтого до коричневого, FeO – в сине-зелёный. Обычно в стекломассе оксиды железа присутствуют не в отдельности, а в виде смеси, которая и окрашивает стекло в зелёный цвет. Для ввода в стекло оксидов железа на заводах применяют пиратные огарки – отходы сернокислого производства, а также крокус – порошок красно-бурого цвета. Соединения железа не дают чистой и яркой окраски, ими пользуются лишь для окраски дешёвых сортов стекла.

Для окрашивания стекла в жёлтый цвет или коричневый цвета используют сульфид железа FeS , но при больших концентрациях этого соединения стекло окрашивается в чёрный цвет.

Соединение урана UO_2 окрашивает стекло в бурый и чёрный цвета, UO_3 – в жёлтый. В состав бессвинцовых стёкол вводят 0,5-1,0% UO_3 и 13% UO_3 для свинецсодержащих стёкол. Натриевая соль урановой кислоты Na_2UO_4 окрашивает стекло в зелёный и жёлтый цвета. Для стекла, окрашенного ураном, характерна флуоресценция, вызванная ультрафиолетовым излучением. При выпуске изделий из интенсивно окрашенных стёкол в жёлтый и оранжевый цвета соединения урана применяют совместно с сернистым кадмием. Несмотря на то, что препараты урана достаточно чисты, их применение в стекольном производстве ограничивается из-за высокой стоимости.

Соединение селена – селенистоокислый натрий Na_2SeO_3 и элементарный селен окрашивают стекло в розовый цвет (розалин). Оттенок селенового розалина зависит от состава стекла и вида входящих в него щелочных оксидов. При варке в идентичных усло-

виях калиевые стёкла имеют розовый оттенок, тогда как натриевые и литиевые – жёлтый или коричневый.

В присутствии сернистого кадмия селен дает ярко-красный цвет (селеновый рубин). В этом случае, чтобы получить розовый цвет (розалин), в шихту часто вводят селенистоокислый натрий Na_2SeO_3 , из которого в стекло переходит 45,6% селена.

Соединения хрома окрашивают стёкла в жёлто-зелёный цвет. Вводят хром в шихту в виде оксида хрома Cr_2O_3 или калиевого хромпика $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, который легче растворяется в стекломассе по сравнению с оксидом хрома. Содержание Cr_2O_3 составляет 0,25-1,2% от массы шихты. В производстве стеклянной тары (зелёные бутылки) в состав шихты вводят феррохромовые шлаки. Применение комплексного мелкодисперсного красителя, содержащего Cr_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , позволяет исключить использование пиритных огарков и экономить сырьевые материалы (песок, доломит, нефелин). Травянисто-зелёный цвет стёкла получают при одновременном использовании оксида хрома (0,5%), оксида меди (2%) и окислительных условиях варки стекломассы. В этом случае соотношение должно быть следующим: $\text{CuO} : \text{Cr}_2\text{O}_3 = 3 : 4$.

Соединения кадмия придают стеклу ярко-жёлтый цвет. Обычно при варке калиевокальциевых стёкол применяют сернистый кадмий CdS – порошок жёлтого или оранжевого цвета. При варке свинцовых стёкол нельзя применять в качестве красителя CdS в связи с тем, что возможно образование PbS , окрашивающего стекло в чёрный цвет. Вводят CdS в стекло в конце варки стекломассы, так как при высокой температуре и продолжительном времени сернистый кадмий переходит в оксид кадмия, который не вызывает окраски стекла.

Оксиды редкоземельных элементов за последние годы также начали применять в качестве красителей при производстве изделий из стекла. Оксид церия (IV) CeO_2 окрашивает стекло в светло-жёлтый цвет. Совместное применение оксида церия (IV) CeO_2 с оксидом титана (IV) TiO_2 придаёт стеклу чистую золотисто-жёлтую окраску. Вводят оксид церия (IV) CeO_2 в стекло через концентраты редкоземельных элементов, которые снижают себестоимость изделий. Оксид празеодима Pr_2O_3 сообщает стеклу светло-зелёный цвет, оксид неодима Nd_2O_3 – розовато-сиреневую окраску, а оксид эрбия Er_2O_3 – красивый розовый цвет.

Оксиды редкоземельных элементов являются слабыми красителями, однако стёкла, окрашенные ими, характеризуются высокой прозрачностью, чистотой цвета, оригинальными оттенками, что способствовало их широкому применению в производстве сортовой посуды.

Коллоидные красители вызывают образование в массе стекла взвешенных коллоидально-дисперсных частиц металлов или их соединений. Цвет стекла зависит от природы и концентрации коллоидных красителей, состава стекла и размеров взвешенных частиц. Получение окраски стекла возможно лишь путём вторичного нагревания изделий, при котором частицы увеличиваются до нужных размеров. Термообработку изделий проводят при определённом температурном и временном режимах и называют “наводкой”.

Коллоидными красителями являются соединения золота, серебра, сурьмы, оксид меди (I), селен и другие.

Соединения золота окрашивают стекло в красные цвета – от розового до пурпурного (золотой рубин). Особенно чистые цвета получаются после “наводки” стёкол с содержанием PbO от 25 до 50%. В качестве красителя используют 10%-ный (по массе) водный раствор хлорида золота (III) $AuCl_3$, который содержит 100 г металлического золота в 1 л воды. Для получения розовых стёкол вводят 0,01%, рубиновых – 0,02% металлического золота. Стекло, окрашенное золотом, относится к наиболее красивым и благородным. Оно применяется при производстве высокохудожественных изделий.

Соединения серебра окрашивают стёкла в жёлтый цвет. Вводят в состав стекла 0,01% серебра. Для этих целей применяют 10%-ный (по массе) раствор нитрата серебра $AgNO_3$. После вторичного нагрева образуется в массе стекла металлическое серебро. Растворимость серебра в стекле низкая и поэтому требуется длительное выдерживание при высоких температурах. Улучшение окраски стекла достигается при добавлении оксида олова (IV) SnO_2 .

Соединение меди Cu_2O обладает большой красящей способностью и образует в стекле коллоидный раствор частиц металлической меди, которые в интервале температур 580 - 700°C после наводки придают стеклу тёмно-красный цвет (медный рубин). Медь является одним из древних красителей стекла и её растворимость значительно выше золота и серебра. Вводят Cu_2O в количестве 1-3% от массы шихты в виде порошка коричневого цвета. Кроме того, при варке медного рубина следует вводить в качестве восстановителей в состав шихты вино-каменную соль калия $KHC_4H_4O_6$ и оксид олова (II) SnO . Обычно для варки медного рубина используют натриевые стёкла. При содержании меди в стекле 0,8-1,8% по массе получают интенсивное окрашивание хрустальных стёкол, которые используют для выработки накладных стёкол с толщиной окрашенного слоя в несколько десятых долей миллиметра.

Элементарный селен Se при использовании вместе с солями кадмия и серой окрашивают стекло в ярко-красный цвет (селеновый рубин). Для этого вводят (по массе) 0,3-0,8% Se, 1-1,45% карбоната кадмия CdCO_3 и 0,5-1% S (по массе сверх основного состава стекла). При варке селенорубиновых стёкол выбирают составы, содержащие 4-18% оксида цинка, который способствует получению более интенсивной окраски стекла. Потеря селена вследствие улетучивания достигает 70-80% вводимого количества.

Соединения сурьмы Sb_2O_3 и Sb_2O_5 вводят в состав стекла для получения сурьмяного рубина, который по степени окрашивания занимает промежуточное положение между селеновым и медным рубинами. Наилучший результат получают при одновременном введении серы и угля. Используют при варке рубина также и сернистые соединения сурьмы, например Sb_2S_3 – порошок чёрного цвета. Сурьмяный рубин имеет более интенсивный цветовой оттенок и поэтому его целесообразно использовать при выработке накладных хрустальных стёкол.

Глушители стекла придают стёклам свойства рассеивать свет и казаться непрозрачными (глушёнными). При введении в стекломассу они образуют соединения, которые выделяются при охлаждении расплава в виде капель и частиц величиной около 1 мкм. Глушение стекла происходит при выработке изделий или при их термической обработке (наводке).

Наиболее широко используют в качестве глушителей соединения фтора и фосфора. Начинается глушение стекла при содержании 2-3% фтора и достигает насыщенного глушения при 4-5%. Фторсодержащими глушителями являются кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 и криолит $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$. Последний является отходом на заводах по производству суперфосфата и состоит из 12,8% оксида алюминия Al_2O_3 , 32,8% оксида натрия Na_2O и 54,4% фтора.

Для глушения некоторых стёкол используют фториды кальция (природный минерал – плавленый шпат CaF_2), магнезия. Вводят в состав стекла из расчёта 5-8% по массе фтора сверх основного состава. Фтор при варке стекла улетучивается, что вызывает загрязнение окружающей среды. Наименьшие потери фтора происходят при введении в состав шихты криолита.

Для глушения стекла чаще применяют соединения фосфора. Действие фосфатов кальция и натрия при глушении стёкол связано с явлением несмешиваемости расплава и частичек фосфатов, которые и сообщают стеклу при охлаждении молочно-белую окраску. Вводят соединения фосфора в виде костной муки, фосфорнокислого кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, кислой фосфорно-натриевой соли $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ и апатита $\text{Ca}_4(\text{CaF}) \cdot (\text{PO}_4)_3$. В состав костной

муки входит 80-85% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 10% CaCO_3 , а также небольшие включения фосфата магния $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ и фтористого кальция CaF_2 . Соединения фосфора требуют более высоких температур варки и выработки, что вызывает некоторые технологические затруднения при производстве изделий.

В качестве глушителей используют также соединения олова и оксид алюминия, механически замешиваемый в подготовленную стекломассу. На степень глушения стекла оказывает влияние размер и количество частиц в единице объёма стекла, разница показателя преломления стекла и заглушающих частиц, вид применяемых глушителей и химический состав стекла. Нередко на практике применяют комбинированное глушение фтористыми и фосфатными соединениями, что усиливает и утончает глушение опаловых стёкол. Наиболее эффективным глушителем является криолит.

Окислители и восстановители. Большая часть цветных стёкол требует окислительных условий варки, чтобы предупредить переход красящих оксидов в оксиды с низшей степенью окисления (переход окисей в закиси).

Окислители. В качестве окислителей применяют нитраты, мышьяк, перекись марганца и другие вещества, разлагающиеся с выделением кислорода в процессе варки стекла.

Натриевая селитра – азотнокислый натрия NaNO_3 – при 318°C плавится, при 400°C начинает выделять кислород, а при 725°C полностью разлагается с выделением оксида натрия, азота (IV) и кислорода.

Калиевая селитра KNO_3 плавится при температуре 336°C, разлагается при более высокой температуре, чем натриевая (925°C), и оказывает поэтому более сильное окислительное действие.

Мышьяковистый ангидрид As_2O_3 в природе встречается редко. Является побочным продуктом при обработке руд, содержащих мышьяк. При введении в состав стекла совместно с нитратами (0,3% As_2O_3 и 1-1,5% селитры) он при низких температурах поглощает кислород и превращается в оксид мышьяка (V), который при высокой температуре, близкой к температуре осветления, разлагается, выделяя кислород. Поэтому, в отличие от чистых нитратов, смесь нитратов с мышьяком оказывает окисляющее действие и при высоких температурах.

Мышьяковистый ангидрид ядовит, поэтому транспортирование его, хранение и введение в шихту требует особой осторожности.

Оксид церия (IV) CeO_2 при высокой температуре разлагается с выделением оксида церия (II) и кислорода. Сильнейший окислитель и прекрасный обесцвечиватель.

Восстановители. Кроме углеродных восстановителей (древесные опилки, уголь, кокс, торфяной полукокс) применяют вино-каменную соль и соединения олова.

Вино-каменная соль $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ в чистом виде представляет собой белый кристаллический порошок. В стеклоделии применяют более дешёвый неочищенный винный камень бурого цвета.

Из соединений олова в качестве восстановителей применяют оксид олова (II) SnO – порошок белого цвета; оловянную соль $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – сильногигроскопичные кристаллы белого цвета и оловянные опилки Sn .

3.2. Технологическая схема производства стекла

Производство стекла состоит в подготовке сырьевых материалов, составлении шихты и варке стекла.

3.2.1. Подготовка сырьевых материалов и контроль их качества

Сырьевые материалы в том виде, в каком они поступают на производство, не всегда пригодны к непосредственной шихтовке. Очень часто они содержат вредные примеси, их зернистость не всегда соответствует требуемой. Это вызывает необходимость предварительной подготовки сырьевых материалов, сущность которой заключается в обогащении сырья, дроблении и помоле, просеивании и сушке.

Для того чтобы качество сырьевых материалов привести в соответствие с требованиями ГОСТов и ТУ, сырьевые материалы обогащают на месте добычи, на обогатительных фабриках или непосредственно на стекольных заводах.

Применяемые в стекловарении сырьевые материалы очищают от примесей на специальных установках. В настоящее время операции по подготовке сырьевых материалов и шихты большей частью механизированы. На стекольных заводах предусмотрены мощные современные составные цехи со специальным оборудованием, выделены обширные складские помещения с соответствующими подъездными путями. Прибывающие на склад вагоны с сырьем разгружаются с помощью мостовых кранов и грейферов. Подготовка песка, известняка, доломита, соды, сульфата и других материалов ведется при помощи целого комплекса механизмов и агрегатов в виде самостоятельно действующих технологических линий отдельно для каждого материала.

Подготовка песка. Песок, обогащённый на месте добычи, поступает на завод затаренным в мешки или в вагонах, клеенных изнутри бумагой. Перед подачей в производство песок подвергают контрольному просеву и при необходимости сушке. Необогащённый песок проходит на заводе следующие виды обработки: обогащение или усреднение, сушку, просеивание. Пески, содержащие допустимые количества оксидов железа для производства тех или иных стеклянных изделий, не обогащают.

Основная задача *обогащения* (обезжелезивания) – удаление из песка посторонних примесей и пылевидных фракций, так как мелкие фракции содержат гораздо больше оксидов железа, чем крупные. В процессе обогащения песка снижается содержание оксидов железа до допустимой нормы и, кроме того, уменьшается содержание других красящих оксидов, улучшается зерновой состав и повышается однородность песка.

Современный уровень обогатительной техники и разработанные в настоящее время технологические схемы обогащения песков обеспечивают надёжное удаление основных групп примесей, причём в зависимости от характера примесей применяют следующие методы обогащения:

- промывку – для обогащения бесплёночных глинистых песков, если не предъявляются высокие требования к качеству песка;
- оттирку – для обогащения глинистых пленочных и неглинистых песков;
- флотацию – для удаления лёгких и тяжёлых ожелезненных минералов;
- флотооттирку – комбинированный способ для извлечения из песка группы примесей – глинистых и пылевидных частиц, железосодержащих зёрен рудных и нерудных минералов и для оттирки плёнки;
- магнитную сепарацию – для обогащения бесплёночных неглинистых песков при наличии в них минералов, обладающих магнитной восприимчивостью;
- химические методы, при которых содержание оксидов железа доводится всего до 0,005-0,01%.

Выбор метода обогащения обуславливается не только минералогическим составом песка, но и технико-экономическими показателями процесса обогащения, местными условиями и требованиями к качеству песка.

Сушка песка. Песок сушат в том случае, если в нём содержится более 4,5% влаги. Очень влажный песок не сыпуч, его трудно перемешивать с другими сырьевыми материалами и из него

невозможно получить однородную шихту. Поскольку карьерный песок, а также песок после обогащения имеет влажность более 4,5%, сушка является необходимой стадией процесса подготовки песка. Для сушки песка применяют преимущественно сушильные барабаны.

Просеивание песка. При просеивании (грохочении) из песка удаляют крупные зёрна и включения. Просеивание является обычно вспомогательным процессом при обогащении песка. В настоящее время применяют вибрационные, барабанные или жироскопические грохоты с ситами, имеющими 81 отверстие на 1 см^2 . Просеянный песок хранят в бункерах или силосах.

Подготовка известняка, доломита и мела. Доломит, известняк и другие кусковые материалы обрабатывают по следующей схеме: дробление – сушка – тонкий помол – грохочение – магнитная сепарация.

Доломит и известняк, поступившие на завод в виде глыб, дробят, сушат, размалывают, просеивают и очищают с помощью магнитной сепарации.

После предварительного дробления на куски размером 40-50 мм материал сушат в таких же сушильных барабанах, что и песок, при температуре не выше 400°C во избежание термического разложения. После сушки до конечной влажности, не превышающей 7%, доломит и известняк подвергают тонкому помолу (до частиц 0,08 мм) в шаровых мельницах производительностью до 7 т/ч. В шихту можно вводить доломит, количество частиц размером до 0,2 мм которого составляет от 60 до 90% по массе.

После помола доломит и известняк просеивают на вибрационных грохотах или ситах-буратах с сеткой № 09 (64 отв./см^2), а затем очищают от включений аппаратурного железа на сепараторах барабанного типа.

Мел не подвергают дроблению; его сушат, размалывают в молотковых или роторных мельницах, а затем просеивают. Магнитную сепарацию не применяют, так как мел после помола не обладает необходимой сыпучестью. Для просеивания мела применяют сетку № 1,1 (49 отв./см^2).

Подготовка соды. Кальцинированная сода поступает на заводы в виде мелких гранул, упакованных в бумажные мешки, или рассыпью в специальных автомобилях или вагонах – содовозах. Соду, поступившую в мешках, разгружают и перевозят электропогрузчиками, затем на складе растаривают с помощью машин УРМ-1, проводят контрольный просев и направляют в расходный бункер. В тех случаях, когда сода поступает рассыпью, её разгружают и транспортируют с использованием пневмотранспортных

установок нагнетающего и вакуумного действия. Просеивают соду на грохотах или виброситах с двойными сетками № 1,3 или 1,4. Ввиду гигроскопичности сода при длительном хранении слеживается, образуя комки. В этом случае её дополнительно измельчают на молотковых дробилках, а затем просеивают.

Подготовка сульфата натрия. Сульфат натрия поступает на заводы преимущественно в таре, а иногда навалом. Поскольку сульфат, доставляемый навалом, неоднороден по химическому составу, его следует усреднять путём послойного складирования.

Для приготовления шихты сульфат должен быть измельчён и просеян сквозь сито с количеством отверстий не менее 36 на 1 см^2 (сетка № 1,2). Природный сульфат дробят в валково-зубчатой дробилке, после чего сушат в барабане при температуре 650-750°C, а затем вновь измельчают на молотковой дробилке и просеивают.

Подготовка стекольного боя. Стекольный бой образуется как неизбежные отходы при производстве разных изделий. Его вторично используют в качестве необходимого компонента стекольной шихты. Применение боя облегчает плавку шихты, способствует более быстрому протеканию процесса стекловарения.

В производстве листового и технического стекла применяют бой стекла того же состава, что и стекломасса из шихты; чаще всего – это бой своего же производства. Стекольного боя вводят в шихту до 30%. Подготовка его включает дробление на роторных дробилках (размер кусков 30-60 мм), магнитную сепарацию, сортировку и промывку. Транспортируют бой ленточными конвейерами.

Подготовка других материалов. Поташ, а также азотно-кислые соли натрия, калия, бария и аммония (селитры) поставляют на заводы в бочках. Их растаривают с помощью установки УРБ-1. В связи с тем, что материалы комкуются, при просеивании их протирают через сита № 1,4-1,2 с использованием протирачной машины. После просева материалы хранят в плотно закрываемых ёмкостях.

Токсичные материалы (оксиды мышьяка и другие) обрабатывают по специальным инструкциям.

Контроль качества сырьевых материалов. Качество сырьевых материалов контролируют приёмочным, периодическим и текущим контролем.

Приёмочный контроль проводят, чтобы выявить, насколько качество поступающих на стекольный завод сырьевых материалов соответствует ГОСТам и ТУ. При поступлении сырьевых материалов работники завода (контролеры) осматривают их и по результатам визуального контроля определяют соответствие стан-

дартам, а затем отбирают пробы на сокращённый химический анализ для определения содержания основного вещества и влаги, а также проверки зернового состава. В тех случаях, когда материалы не отвечают требованиям стандартов, их бракуют.

Периодический контроль сырья проводят, чтобы удостовериться в пригодности данных материалов для требуемой шихты. Для этого не менее одного раза в 10 сут отбирают среднюю суточную пробу каждого компонента, включающую 24 ежечасных пробы, и проводят полный химический анализ.

Текущий контроль проводят ежесменно на средней пробе, состоящей из восьми ежечасных проб. Определяют также зерновой состав подготовленного материала и содержание в нём основного вещества и влаги. В тех случаях, когда из-за состава сырья изменяется сверх нормы содержание компонента в шихте, рецепт шихты корректируют.

3.2.2. Приготовление шихты

Шихтой называют однородную смесь предварительно подготовленных и отвешенных по заданному рецепту сырьевых материалов. Шихту составляют по определённом рецепту, где указывается количество компонентов, которые необходимо смешать, чтобы в конечном итоге получить стекло заданного химического состава и заданных свойств.

Шихта, загружаемая в стекловаренную печь, должна быть, прежде всего, однородна, то есть соотношение сырьевых материалов в каждом участке шихты должно быть одинаковым и строго соответствовать заданному рецепту. Нарушение однородности шихты приводит к появлению многих пороков стекломассы и стекла: полосности, волнистости, плохого отжига, повышенной хрупкости, недостаточной термической и механической прочности. В результате увеличивается бой и брак в изделиях, резко снижается производительность и повышается себестоимость вырабатываемой продукции. Поэтому на стекольных заводах вопросам подготовки сырьевых материалов и приготовлению шихты уделяют исключительно большое внимание.

На однородность стекольной шихты влияют зерновой состав сырьевых материалов, их влажность, точность взвешивания, качество и продолжительность перемешивания в смесителе, способ транспортирования и хранения.

Зерновой состав должен быть однороден для каждого вида сырья. Зерна различных компонентов шихты могут по размерам отличаться друг от друга. Обычно относительно крупные зерна песка

обволакиваются пылинками соды, в результате чего активизируется растворение кварцевых зерен. Средние по величине зерна известняка заполняют промежутки между зернами песка. При тонком измельчении сырья улучшается однородность шихты. Чем тоньше измельчаются материалы, тем меньше расслаивается шихта.

Влажность сырьевых материалов оказывает благоприятное влияние на однородность шихты. Сухие материалы плохо перемешиваются, а сухая шихта быстро расслаивается при транспортировании. Вместе с тем, если в процессе смешивания увлажнить всю шихту, то возможно ее комкование, поэтому рекомендуется увлажнять сначала один песок и к нему добавлять сухие компоненты. При этом зерна песка обволакиваются частицами других компонентов шихты, в результате чего повышается реакционная способность кварцевых зерен.

Количество воды, подаваемой для увлажнения песка, зависит от его исходной влажности и должно быть таким, чтобы содовая шихта имела влажность 4-5%, а сульфатная – 4-7%. Качество перемешивания улучшается при подаче в смеситель подогретой воды (50-60°C).

Качество и продолжительность перемешивания определяются конструкцией смесителя, а именно: длиной пути и характером движения в нем отдельных частиц. Чем сложнее движение частиц материала внутри аппарата, тем больше возможность их соприкосновения, тем быстрее и лучше смешивается шихта. В стекольной промышленности используют преимущественно скоростные тарельчатые смесители периодического действия. В зависимости от конструкции и объема смесителя продолжительность перемешивания составляет 2-5 мин.

Взвешивание компонентов шихты должно производиться с точностью $\pm 0,3\%$ и систематически контролироваться.

Способ транспортирования существенно влияет на качество шихты. Даже хорошо приготовленная однородная шихта при перегрузках и транспортировании может стать неоднородной из-за расслоения вследствие различной крупности и удельного веса составляющих ее компонентов.

Чтобы избежать расслоения шихты, необходимо максимально сократить путь ее транспортирования и следить за тем, чтобы на этом пути было как можно меньше сотрясений. В наименьшей степени шихта расслаивается при транспортировании ее в контейнерах или в специальных вагонетках.

В последние годы на ряде небольших стекольных заводов успешно применяется пневмотранспорт шихты всасывающего действия (вакуум-транспорт). Производительность вакуум-

транспортной установки с водокольцевым вакуум-насосом РМК-3 – 3-4 м/ч. Расход воздуха 250-270 м³/ч. Однородность шихты вполне удовлетворительная.

При хранении готовой шихты в бункерах необходимо следить за тем, чтобы они были наполнены. Это уменьшит высоту падения шихты. Кроме того, не следует создавать больших запасов, так как при длительном хранении шихта слеживается, что также может повлечь за собой ее расслоение.

Все меры, которые в настоящее время принимаются на заводах для сохранения однородности шихты (увлажнение, сокращение транспортных путей, устранение вибрации и другие) лишь уменьшают расслоение, но не устраняют его. Эффективными способами борьбы с расслаиванием являются ее брикетирование и гранулирование.

Брикетированием называют процесс изготовления из сыпучего материала твердых кусков определенной формы, а гранулированием – процесс получения гранул из тонкомолотой шихты на специальных грануляторах.

Брикетирование шихты имеет целью сохранить ее однородность. Кроме того, оно устраняет пыление, что очень важно в санитарно-гигиеническом и технологическом отношениях.

Исследованиями установлено, что при хранении прочность брикетов возрастает. Брикетирование сохраняет однородность шихты, ликвидирует пыление шихты и занос пылью регенераторов, а также уменьшает износ огнеупорных материалов стекловаренных печей.

Способы брикетирования и гранулирования пока не получили распространения из-за малой производительности брикетных и грануляторных установок, а также удорожания шихты.

Технологические схемы приготовления шихты. На стекольных заводах шихту готовят по различным технологическим схемам. По одной из них подготовленные сырьевые материалы транспортируют в общий бункер, разделенный на секции для каждого вида материала. Под бункером установлены стационарные бункерные весы полуавтоматического типа, к которым сходятся течи от различных секций общего бункера.

В бункере поочередно собираются отвешиваемые в соответствии с заданным рецептом компоненты шихты. Затем сырьевые материалы сыпаются в тарельчатый смеситель, расположенный под весами. Готовую шихту на вагонетках подают к загрузчикам печи. Недостаток этой схемы заключается в том, что не обеспечивается точность взвешивания разных порций материала на одних и тех же весах.

По другой технологической схеме подготовленные сырьевые материалы транспортируются в бункера, установленные в один ряд. Материалы отвешиваются при помощи передвижных весов, которые поочередно подаются под каждый бункер. Количество отвешиваемых материалов соответствует заданному рецепту шихты и емкости смесителя. После того как в бункере весов собраны все компоненты шихты, масса сыпается в тарельчатый смеситель, откуда готовая шихта контейнерами транспортируется к загрузочной печи.

Наиболее совершенным является автоматизированный процесс приготовления шихты по линейной схеме (рис.1). Обработанные сырьевые материалы также хранятся в силосах или бункерах, установленных в один ряд. Под каждым бункером 1 смонтированы автоматические весы 2, под которыми установлен общий ленточный транспортер 3.

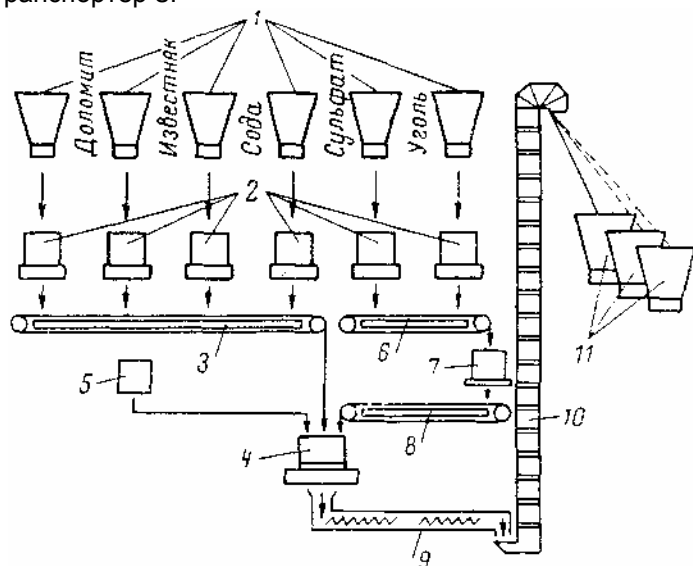


Рис. 1. Схема автоматизированного процесса приготовления шихты

Имеется несколько моделей автоматических весов. Все они снабжены циферблатным указательным прибором, дистанционной автоматической системой контроля точности взвешивания и счетчиком количества отвесов. Весы отвешивают сырьевые материалы (кроме сульфата и угля), которые сыплются на ленточный транспортер и далее в смеситель 4. Если смеситель установлен на вы-

сотной площадке, шихту подают при помощи скипового подъемника. После засыпки в смеситель песка туда подается вода, объем которой отмеривается автоматическим дозатором 5. Через заданное время после увлажнения транспортер подает в смеситель остальные компоненты.

Отвешенные сульфат и уголь ссыпаются на транспортер 6, подающий материалы в смеситель 7. Готовая сульфатоугольная смесь транспортером 8 направляется в общий смеситель.

После перемешивания шихты в смеситель подают из бункера отвешенную порцию дробленого боя стекла, и шихта некоторое время дополнительно перемешивается с боем. Смесь боя и шихты транспортером 9 и элеватором 10 направляется в бункера 11. Обычно устанавливают три бункера готовой шихты: из них один наполняется, второй является расходным, а третий – резервным. Переключение бункеров на расход и загрузку – автоматическое.

Специальной электрической схемой предусмотрена взаимосвязь механизмов для приготовления шихты. Так, новый цикл отвешивания начинается только после того, как все компоненты предыдущего отвеса загружены в смеситель.

К загрузчикам ванной печи шихта подается специальными тележками при помощи электровоза или электрокары.

Автоматический процесс приготовления шихты предусмотрен во вновь строящихся и реконструируемых составных цехах.

Недостаточно тщательная подготовка сырьевых материалов, ошибки, допущенные при составлении рецепта шихты, неточное взвешивание, неправильное перемешивание, расслоение шихты – все это приводит к ухудшению качества стекломассы. Для того чтобы предупредить и по возможности устранить указанные явления, приготовленную шихту необходимо систематически контролировать.

Качество шихты можно примерно определить при внешнем осмотре, так как окраска шихты, правильно приготовленной и однородной, отличается от окраски неоднородной. Однако этот способ оценки неточен, поэтому обычно на заводах шихту ежедневно подвергают химическому контролю, при этом проверяют ее однородность и соответствие весового количества компонентов установленному рецепту.

Для контроля однородности из разных мест бункера готовой шихты специальным щупом отбирают три пробы. Щуп представляет собой стеклянную трубку длиной около 50 см и диаметром 10-12 мм. Каждую из отобранных проб подвергают химическому анализу. Если результаты анализов сходны между собой, то шихту можно считать однородной.

Для контроля соответствия весового количества компонентов шихты установленному рецепту пробы, отбираемые из разных участков бункера готовой шихты, усредняют по специальной методике. Среднюю пробу анализируют на содержание в шихте основных компонентов – соды, известняка, доломита, песка и сульфата. Если состав шихты имеет отклонение от заданного рецепта, шихту бракуют.

3.2.2. Стекловарение (варка стекла)

Варка стекла является важнейшей стадией процесса стеклоделия. Получить высококачественную стекломассу с необходимыми свойствами – это значит обеспечить бесперебойную работу машин и высокое качество готовых изделий.

Варка стекла является сложным процессом, сочетающим в себе физические, физико-химические и химические реакции и явления, в результате которых механическая смесь сырьевых материалов – **шихта** – превращается в сложный расплав – **стекломассу** с определёнными физико-химическими свойствами.

При стекловарении протекают физические процессы: нагревание шихты, плавление компонентов шихты, полиморфные превращения, растворение компонентов в расплаве и химические процессы: диссоциация карбонатов, нитратов, сульфатов, взаимодействие и образование силикатов.

Чтобы сварить стекло, шихту необходимо подвергнуть соответствующей термической обработке, то есть нагреть до 1450-1500°С и выдержать при этой температуре столько времени, сколько это будет необходимо для образования однородной стекломассы.

Технологический процесс варки стекла состоит из нескольких этапов: первый называют силикатообразованием, второй – стеклообразованием, затем следует осветление или дегазация стекломассы; последующий этап варки – гомогенизация. На этом этапе стекломасса становится вполне однородной как по составу, так и по свойствам. Гомогенизированную стекломассу подвергают студке, то есть некоторому охлаждению, после чего из неё вырабатывают изделия. Студка стекломассы – последний этап варки стекла. Это деление условное. Практически только первая и последняя стадии протекают в разное время или в разных местах печи. Вторая, третья и четвёртая стадии начинаются в одно и то же время, и когда стеклообразование заканчивается, то осветление и гомогенизация продолжают идти совместно до конца процесса. Все эти стадии стекловарения тесно связаны между собой и на практике часто некоторые

из них протекают не в строгой последовательности. Последовательность или одновременность их течения зависит от технологического режима варки и от конструктивных особенностей стекловаренных печей.

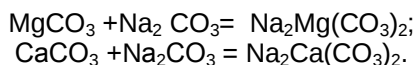
Этот процесс изучали многие исследователи. Цель исследований - нахождение таких составов стёкол и технологических режимов, при которых процесс стекловарения будет осуществляться с наибольшей скоростью и обеспечивать получение высококачественной стекломассы. Достаточно подробно исследованы процессы, протекающие в шихте при нагревании до момента получения стекольного расплава, процессы осветления и гомогенизации, а также свойства стекломассы.

Силикатообразование начинается с момента загрузки шихты в печь и заканчивается для большинства промышленных стёкол при 800-900°C. При этом шихта превращается в спёкшуюся массу, называемую фриттой. На этом этапе из шихты удаляется гигроскопическая, кристаллизационная и химически связанная вода; обезвоживаются гидраты, разлагаются некоторые соли. Сульфат натрия и кремнезем переходят в другие кристаллические модификации. Кремнезем проходит ряд полиморфных превращений по мере повышения температуры:

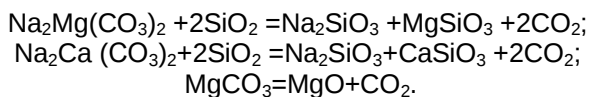


В процессе превращений зерна SiO_2 увеличиваются в объеме и растрескиваются. При 1713°C кристобалит плавится и получается кварцевое стекло.

При температуре 300-400°C в шихте начинают взаимодействовать между собой карбонаты и сульфаты с образованием двойных солей и легкоплавких эвтектик:



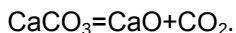
В интервале температур 600–830°C протекает взаимодействие твердых фаз двойных солей с кремнеземом и разложение MgCO_3 :



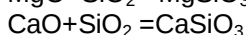
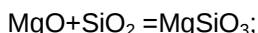
Реакции в твердой фазе протекают медленно и ускоряются с появлением жидкой фазы. Жидкая фаза проявляется при температурах 780-880°C в результате плавления двойных карбонатов

$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ и $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$, эвтектик $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$, $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$. При нагревании шихты главное значение в процессе варки стекла имеет появление расплава Na_2CO_3 при температуре 854°C и его взаимодействие с компонентами шихты.

При температуре 912°C происходит разложение карбоната кальция:

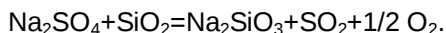


В интервале температур $980-1200^\circ\text{C}$ образуются силикаты кальция и магния:

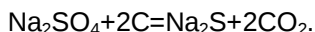


происходит взаимодействие их между собой, растворение в расплаве.

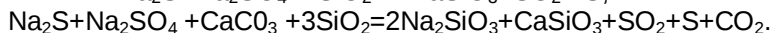
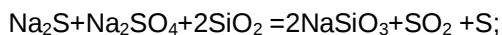
При наличии в шихте Na_2SO_4 реакция между сульфатом натрия и кремнеземом протекает при температуре 1200°C :



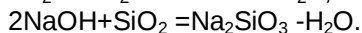
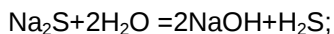
Для ускорения протекания реакции в состав шихты вводят восстановитель (углерод). При этом Na_2SO_4 разлагается с образованием сульфида натрия:



Сульфид натрия образует эвтектики с сульфатами и карбонатами, взаимодействует с компонентами шихты с образованием силикатов:



Эти реакции протекают при $740-1100^\circ\text{C}$. Одновременно часть сульфида натрия взаимодействует с влагой шихты и образует NaOH , который реагирует с SiO_2 с получением гидратированного силиката натрия:



Скорость силикатообразования зависит от природы и химической активности компонентов шихты и их реакционной поверхности. Скорость образования силикатов тем больше, чем выше содержание в составе шихты щелочных и щелочноземельных компонентов.

При повышении температуры на $100-150^\circ\text{C}$ силикатообразование ускоряется примерно вдвое. К концу стадии силикатообра-

зования шихта превращается в спекшуюся массу, состоящую из силикатов и кремнезема. Для натрий-кальций-силикатных стекол этап силикатообразования завершается при 900-1150°C.

Важнейшим фактором, оказывающим влияние на скорость силикатообразования является количество тепла, расходуемое на варку, от которого зависит температура печи. Испарение влаги, полиморфные превращения, разложение компонентов требуют затраты тепла. Образование силикатов сопровождается некоторым выделением тепла, но в целом силикатообразование является эндотермическим процессом. Поэтому увеличение расхода тепла, сопровождающееся ростом температуры печи, – главное средство интенсификации провара шихты.

Скорость силикатообразования повышается также с ростом реакционной поверхности компонентов шихты, то есть с увеличением степени их измельчения. При увеличении удельной поверхности компонентов в 5 раз скорость реакций приблизительно удваивается.

Так как реакции в шихте резко ускоряются с момента появления расплава, то очень важно, чтобы последний образовался при возможно более низкой температуре. Для этого в шихту вводят 0,5-3% добавок ускорителей варки стекла (хлоридов, фторидов, боратов, аммонийных солей и других), образующих с компонентами шихты нестойкие промежуточные соединения и эвтектики. Последние плавятся при температуре более низкой (на 80-100°), чем эвтектики основных солей шихты.

Действенным ускорителем силикатообразования служит также влага. Растворяя щелочные компоненты и распределяясь в шихте, она обволакивает зерна нерастворимых компонентов щелочным раствором, что увеличивает реакционную поверхность компонентов шихты и ускоряет их взаимодействие. В сульфатной шихте влага непосредственно участвует в реакциях. Уже при 500° С пары воды реагируют с сульфидом натрия, образуя гидроксид натрия, который энергично взаимодействует с SiO₂. Однако на испарение влаги затрачивается тепло, и поэтому добавку воды ограничивают: в шихты с малым содержанием сульфата натрия добавляют 3-5% воды, а в шихты со значительным содержанием Na₂SO₄ – до 7%.

Стеклообразование. После завершения процесса силикатообразования в образовавшемся расплаве остаются зерна кварца (песка), не вошедшего в состав силикатов. Количество избыточного нерастворившегося кремнезема при проваре шихты обычных промышленных стекол составляет около 25% по массе от его содержания в шихте. Процесс растворения песка в первичном

расплаве силикатов называется стеклообразованием. Растворение остаточного кремнезема протекает медленнее, чем силикатообразование и занимает 60-70% общего времени варки стекла.

Причиной медленного растворения зёрен кварца служит большая вязкость расплава силикатов, вследствие которой вблизи поверхности зёрен, по мере их растворения, накапливается плёнка расплава, насыщенного кремнекислотой. В этой пленке песок перестает растворяться. Для того чтобы растворение происходило непрерывно, нужно, чтобы свежий расплав-растворитель проникал путем диффузии через плёнку к поверхности кварцевых зёрен. Однако в силикатных расплавах диффузия протекает очень медленно, даже при высокой температуре варки, поэтому по мере накопления пленки скорость провара песка уменьшается.

Скорость стеклообразования, как и всякая скорость растворения, зависит от свойств растворяющегося вещества – зерен кварца, от свойств растворителя – расплава силикатов, а также от внешних условий (температуры, давления) и скорости обмена растворителя вокруг растворяющегося вещества.

Свойства кварцевых зерен. Особое значение имеют размеры, форма и чистота зерен. Время стеклообразования пропорционально кубу радиуса зерен (для зерен $< 0,3$ мм), а для крупных зерен – квадрату радиуса. Угловатые острые зерна растворяются быстрее округлых. Стеклообразование ускоряется, когда зерна кварца содержат посторонние включения (соединения железа, карбонаты и др.), нарушающие прочность их кристаллического строения.

Свойства расплава. На скорость стеклообразования влияют вязкость и поверхностное натяжение. Продолжительность растворения зерен кварца тем меньше, чем ниже значения этих свойств, так как высокая вязкость и большое поверхностное натяжение затрудняют диффузию и ухудшают смачивание тугоплавких компонентов шихты легкоплавкими расплавами.

Время стеклообразования зависит от состава стекла. Оно уменьшается с увеличением количества компонентов, понижающих вязкость (и наоборот).

Провар шихты ускоряется при введении в ее состав веществ, понижающих поверхностное натяжение стекломассы, например небольших количеств Na_2SO_4 без восстановителя.

Внешние условия. Из числа внешних факторов наиболее сильно на скорость стеклообразования влияет температура. Стеклообразование промышленных силикатных стекол ускоряется больше всего в интервале температур расплава $1550-1600^\circ\text{C}$, так как при этих температурах кремнезем переходит в неустойчивое

аморфное состояние. В этом интервале повышение температуры на 10°C ускоряет растворение SiO_2 на 10-15%, а при температуре ниже 1550°C и выше 1600°C – на 5-7%. К концу этапа стеклообразования стекломасса становится прозрачной, в ней отсутствуют непроваренные частицы шихты, однако она еще пронизана большим числом пузырей и свилей и остается химически неоднородной.

Стеклообразование значительно ускоряется при перемешивании расплава, способствующем удалению кремнеземистой пленки с поверхности кварцевых зерен. Хорошие условия для перемешивания создаются, например, в вакууме благодаря бурному выделению газов из шихты. Варка ускоряется также при продувании расплава газами.

Скорость стеклообразования зависит также от вязкости и поверхностного натяжения расплава. Высокая вязкость затрудняет диффузию, а при повышенном поверхностном натяжении расплава ухудшается смачивание им зёрен песка, которые флотируются на поверхности расплава, образуя трудно растворимые агломераты.

Введение в состав шихты компонентов, понижающих поверхностное натяжение (например, сульфата натрия), ускоряет процесс растворения зерен кремнезема. Неоднородность песков по зерновому составу (одновременное наличие крупных и пылевидных зерен) увеличивает время растворения кремнезема.

Осветление. Стадия осветления характеризуется тем, что к ее концу стекломасса освобождается от видимых газовых включений и устанавливается равновесие между стекломассой (жидкой фазой) и газами, растворенными в стекломассе (газовой фазой). Стекломасса становится прозрачнее и более однородной.

При осветлении удаляются не все газообразные включения, а только те, которые видимы простым глазом (видимые пузыри). Часть газов остается в стекломассе, растворяясь в ней. Они невидимы, поэтому и не искажают оптических характеристик стекла.

Процесс полного освобождения стекломассы от газов или достижение полного равновесия системы стекломасса – газ требует весьма длительного времени. Поэтому практически задача сводится к тому, чтобы довести стекломассу до такого равновесного состояния, при котором мельчайшие пузырьки перестают быть видимыми или при котором из стекломассы исчезают видимые мелкие пузырьки. На этом процесс осветления стекломассы завершается.

Существует ряд способов осветления стекломассы, облегчающих подъем пузырьков газа и их удаление из стекломассы. К таким способам относятся: удлинение продолжительности варки, повышение температуры при осветлении, механическое интенсивное перемешивание стекломассы – бурление, добавка в шихту

специальных осветлителей, применение высокого давления или вакуума.

В качестве осветлителей используют: сернокислый натрий (0,3-0,5%); азотнокислый калий с мышьяковистым ангидридом (1% K_2O и 0,02% As_2O_3); сернокислый аммоний (0,5-1%); азотнокислый и хлористый аммоний (0,25%); поваренная соль (не выше 1%) и фториды, которые одновременно являются и ускорителями варки стекла.

Действие осветлителей вызывает образование в стекломассе пузырей крупных размеров, которые поднимают с собой большое количество мелких пузырьков.

К осветлителям относят и пары воды. Если ввести в стекломассу вещества, выделяющие пары воды (корнеплоды, влажные деревянные чурки), то образуются крупные пузырьки, содержащие водяной пар, которые также захватывают с собой большое количество мелких пузырьков углекислоты (именно она главным образом и выделяется в процессе варки стекла).

Для интенсификации варки и осветления стекломассы применяют ускорители, которые образуют с компонентами шихты легкоплавкие эвтектики и таким образом облегчают взаимодействие компонентов в процессе силикатообразования.

Среди ускорителей особое место занимают фториды. Благодаря их присутствию в стекольной шихте при варке происходит целый комплекс перемен:

- резко возрастает скорость процесса силикатообразования, причём фториды снижают температуру, при которой завершаются реакции силикатообразования, на $200^{\circ}C$;
- вследствие повышения теплопроводности шихты быстрее завершается процесс стеклообразования;
- при высокой температуре пары фтора резко повышают реакционную способность шихты;
- на стадии осветления пары фторидов понижают парциальное давление газов в пузырях и содействуют всасыванию в пузыри газов, растворённых в стекломассе. В результате пузыри растут в объёме, подъёмная сила их возрастает, и стекломасса легче осветляется.

Добавка фторидов в шихту свыше 1,5% не рекомендуется, так как это приводит к усилению склонности стекла к кристаллизации.

В качестве ускорителя процесса варки стекла успешно применяют борный ангидрид B_2O_3 . Введённый в состав стекла в количестве до 1,5%, он повышает производительность стекловаренных печей на 10-15%. При этом, в отличие от фторидов, соединения бора не оказывают разрушающего влияния на огнеупоры.

Для интенсификации процессов осветления, в особенности при варке тарных стекол, применяют бурление стекломассы: в зону осветления вводят сжатый воздух, который создает в стекломассе большое количество быстро поднимающихся вверх крупных пузырей. При варке стекла может быть применен один из этих приемов или их сочетание. Осветление для обычных стекол завершается при 1420-1550°C. Вязкость стекломассы при этом составляет примерно 10-20 Па·с.

Гомогенизация. Процесс гомогенизации заключается в создании термической и химической однородности стекломассы, ликвидации свили и гетерогенных (неоднородных) слоёв. Гомогенизация (процесс усреднения) протекает одновременно с осветлением. Способы ускорения осветления в большинстве своем ускоряют также и гомогенизацию стекломассы. Благодаря гомогенизации стекломасса освобождается от свилей и становится однородной. Для достижения наибольшей однородности стекломассы рекомендуется варить и гомогенизировать её при высокой температуре, что приводит к снижению вязкости и более интенсивному выделению газов. Для оконных стекол эта стадия протекает при тех же температурах, что и осветление (1420-1550°C).

Гомогенизация протекает в основном за счет интенсивного движения веществ, составляющих стекломассу. Чем выше температура варки и, как следствие, ниже вязкость стекла, тем быстрее перемещаются частицы, и, наоборот, при пониженных температурах перемещение частиц замедляется. Поэтому при гомогенизации температура стекломассы играет решающую роль. При варке листовых стекол для получения однородной стекломассы успешно применяют бурление стекломассы, мешалки, дополнительный электроподогрев.

Значительно ускоряет гомогенизацию выделение пузырей. Поднимаясь, они растягивают пограничные пленки разнородного стекла в тончайшие нити с сильно развитой удельной поверхностью и облегчают взаимное перемещение стекломассы соседних участков. Таким образом, процессы осветления и гомогенизации стекла взаимосвязаны.

При варке стекла в промышленных печах стадии осветления и гомогенизации протекают в одинаковых условиях, поэтому зону осветления невозможно отделить от зоны гомогенизации.

После завершения процессов осветления и гомогенизации стекломасса по своему качеству полностью пригодна для получения из нее изделий, однако высокая температура и низкая вязкость ее не позволяют осуществлять формование. Поэтому перед формованием стекломассу охлаждают.

Охлаждение (студка стекломассы). Студка – это охлаждение стекломассы до температуры, обеспечивающей необходимую для формования рабочую вязкость. Охлаждение (студку) начинают вести в конце стадий осветления и гомогенизации расплава. На данном этапе температуру стекломассы снижают на 200-300°C, с тем чтобы создать необходимую вязкость при выработке (формовании) изделий из стекла. Температура варки стекла для обычных стекол 1520-1580°C, а температура, обеспечивающая рабочую вязкость стекломассы, 1120-1280°C.

Во время студки завершается осветление стекломассы и важно, чтобы на этой стадии не нарушалось равновесие газов, установившееся в стекломассе после осветления. Для этого необходимо во время охлаждения медленно и непрерывно понижать температуру стекломассы, а состав и давление газовой среды печи должны быть неизменными. При резком охлаждении стекломассы может нарушиться равновесие между жидкой и газовой фазами, что может привести к новому образованию газообразных включений – вторичной мошки. На стадии же охлаждения при пониженной температуре и повышенной вязкости стекломассы освободить ее от газовых включений трудно.

Чтобы избежать появления дефектов стекла на стадии охлаждения, необходимо строго придерживаться установленного технологического режима, который заключается в непрерывном и постепенном понижении температуры и соблюдении заданного характера и давления газовой атмосферы печи.

Для ускорения охлаждения стекломассы применяют разные преграды по стекломассе и по газовому пространству ванной печи, которые ослабляют конвекционные потоки и ограничивают передачу теплоты из варочной в студочную часть печи. Однако это не должно вызывать термическую неоднородность стекломассы, которая может расстроить работу формующих машин.

Способы интенсификации процесса стекловарения. В настоящее время известно несколько способов интенсификации процесса варки стекла. По механизму влияния на процесс стекловарения их можно разделить на химические, термические и гидродинамические. Интенсифицировать процесс варки можно также путем совершенствования конструкции стекловаренных печей.

Химические способы интенсификации можно разделить по стадиям технологического процесса приготовления шихты и варки стекла. На стадии приготовления шихты интенсификация стекловарения может быть обеспечена путем замены одного из компонентов шихты более активным, уплотнения шихты (гранулированием или брикетированием), предварительной термической обра-

ботки сырьевых материалов. Замена части карбоната натрия раствором гидроксида натрия (NaOH) ускоряет процесс стекловарения благодаря тому, что силикатообразование начинается при более низких температурах, чем при использовании только одного карбоната натрия. Ускорение процесса варки при использовании гранулированной или брикетированной шихты объясняется увеличением поверхности соприкосновения между частицами сырьевых материалов, повышенной теплопроводностью шихты по сравнению с обычной.

Интенсификация стекловарения достигается путем раздельной загрузки в стекловаренную печь шихты и стеклобоя (загрузка шихты на подслон боя). При раздельной подаче в печь шихты и боя повышенная температура варки ускоряет процесс стекловарения. Интенсифицировать процесс стекловарения можно также путем ввода в состав шихты химических ускорителей. Они понижают температуру протекания реакций силикатообразования, способствуют их более быстрому протеканию.

Скорость протекания процессов силикатообразования и стеклообразования во многом зависит от того, насколько интенсивно получают теплоту отдельные частички шихты. Поэтому большое значение приобретает то, каким образом шихта загружается в печь и как она распределяется на поверхности. При тонком распределении шихты ее частицы получают теплоту конвекцией и излучением сверху и теплопроводностью снизу. Кроме того, тонкослойная варка стекла препятствует проникновению непроваренных частиц шихты в глубинные слои, что способствует ускоренному протеканию процессов стекловарения.

В интенсификации стекловарения значительную роль играют процессы теплообмена и массообмена в стекловаренных печах. Скорость стекловарения в большой степени зависит от интенсивности теплообменных процессов, определяемой уровнем температур в печи. При повышении температуры варки от 1450 до 1620°C продолжительность стеклообразования сокращается почти в 5 раз. Пути интенсификации процесса теплообмена связаны, прежде всего, с совершенствованием методов сжигания топлива и конструкций горелочных устройств для создания равномерного по ширине печи направленного излучения на шихту, с повышением излучательной способности факелов, приближением их к поверхности шихты и пены.

Мощным средством интенсификации процесса стекловарения является электрический подогрев стекломассы в зоне варки. Электроподогрев наиболее эффективен при варке стекол малой теплопрозрачности, а при варке бесцветных стекол – при большой относительной длине зоны варки.

Гидродинамические способы интенсификации заключаются в перемешивании для ускорения взаимодействия компонентов расплава и гомогенизации стекломассы. При перемешивании уменьшается толщина диффузионных слоев, в то же время увеличивается поверхность соприкосновения взаимодействующих фаз.

Уменьшение толщины слоя шихты в стекловаренных печах, перемешивание расплава силикатов и осветление в тонком слое значительно интенсифицируют процесс стекловарения.

Разработаны и широко используются способы активизации процесса гомогенизации стекломассы в печах непрерывного действия путем принудительного перемешивания для удлинения времени ее пребывания в зоне варки, интенсификации теплообмена по глубине стекломассы и повышения её однородности. К числу таких способов относится бурление стекломассы с помощью сжатого воздуха. Бурление интенсифицирует теплообменные процессы в стекломассе. Наиболее высокая эффективность достигается в случае сочетания процесса бурления с электроподогревом.

3.2.4. Стекловаренные печи

Для варки и выработки изделий из стекла используют стекловаренные печи разных типов, различающиеся по конструкции, производительности и режиму работы. Стекловаренная печь – основной тепловой агрегат в технологическом процессе стекольного производства. В ней протекают процессы тепловой обработки сырьевых материалов, получения стекломассы и выработки из нее изделий. Печи для варки стекла бывают периодического и непрерывного действия. По устройству рабочей камеры стекловаренные печи разделяются на горшковые и ванны.

В горшковых печах стекло варят в огнеупорных сосудах – горшках, помещаемых в печь. Горшковые печи в настоящее время используют для производства стёкол с высокой однородностью и светопрозрачностью (оптических) или же требующих специальных режимов варки (цветные, глушённые стёкла). В тепловом отношении периодические печи неэкономичны, так как перед выработкой стекла их охлаждают, а перед варкой вновь разогревают. Для выработки высококачественных сортовых изделий из цветного и свинецсодержащего стекла применяют многогоршковые регенеративные печи с нижним подводом пламени (рис.2). Недостатком горшковых печей является их периодичность в работе, то есть чередование варки стекла и выработки изделий, низкий коэффициент полезного действия, сильный износ стекловаренных горшков из-за развитой поверхности контакта огнеупора и стекломассы. В связи с этим горшковые печи неэкономичны.

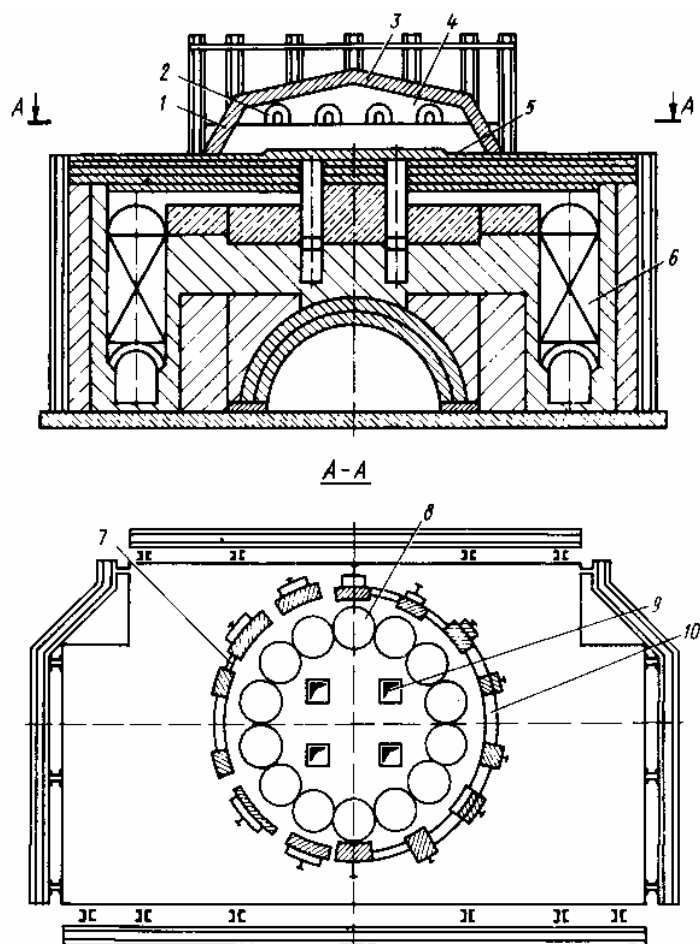


Рис. 2. Горшковая печь с нижним подводом пламени:
 1 – окружа; 2 – рабочие окна; 3 – свод; 4 – рабочая камера;
 5 – под печи; 6 – регенераторы; 7 – дуплешки; 8 – горшок;
 9 – горелка; 10 – место вставки и выемки горшков

Ванная стекловаренная печь (рис.3) – сложный теплотехнический агрегат, конструкция которого зависит от способа обогрева, направления движения газов, способа разделения бассейна и пламенного пространства. Печь состоит из рабочей камеры, горелок, устройств для использования теплоты отходящих газов (регенераторов или рекуператоров), переводных клапанов, фундамента, опор и каркаса.

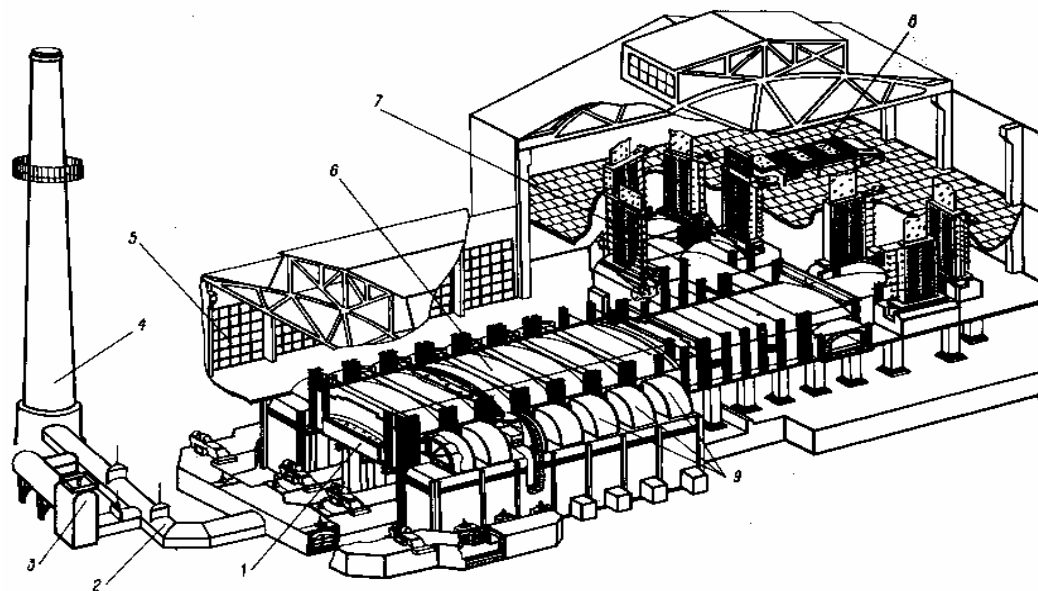


Рис. 3. Ванная стекловаренная печь:

- 1 – бассейн; 2 – боров для отвода отходящих газов; 3 – котел-утилизатор; 4 – дымовая труба;
 5 – здание цеха; 6 – главный свод; 7 – машина вертикального вытягивания;
 8 – роликовый конвейер; 9 – горелки

Различают верхнюю и нижнюю части ванной печи: верхняя состоит из рабочей камеры и горелок, а нижняя, соединенная каналами с верхней, включает теплоиспользующие устройства, каналы для отвода отходящих газов, фундамент и колонны, поддерживающие верхнее строение.

Рабочая камера ванной печи состоит из бассейна 1, заполненного стекломассой, пламенного пространства, находящегося над ним, и свода 6.

Бассейн ванной печи представляет собой ванну, состоящую из стен и дна, с сыпчатым карманом в торце и примыкающим к нему выработочным каналом. В бассейне ванной печи непрерывного действия различают технологические зоны варки, освещения, студки и выработки, которые располагаются одна за другой на различных участках по длине бассейна. Выделяют печи с общим бассейном, в котором зоны, соответствующие отдельным стадиям варки, не отделены друг от друга, и печи с резко разделенными зонами. Часть бассейна, в которой размещены зоны варки и освещения, называют варочной или отапливаемой, а часть, где находятся зоны студки и выработки, – выработочной. В варочной части бассейн имеет прямоугольную форму. При переходе от варочной части печи к выработочной бассейн постепенно сужается.

Площадь бассейна определяет производительность печи. Бассейн печи располагается на самостоятельном фундаменте. Бассейн ванн печей выкладывают из крупных огнеупорных брусьев, которые должны иметь хорошо обработанные, строго прямоугольные грани.

Ванные печи бывают периодического и непрерывного действия. Для этих печей общим является то, что стекло варят не в горшках, а в бассейне. Ванные стекловаренные печи периодического действия применяют для варки тугоплавких стекол и больших отдельных порций специальных стекол. В ванных печах периодического действия все стадии процесса стекловарения протекают в одном и том же рабочем объеме (бассейне) последовательно одна за другой, но в различное время.

В стекольном производстве наиболее распространены ванные стекловаренные печи непрерывного действия, так как они имеют ряд преимуществ перед горшковыми и ванными печами периодического действия: более экономичны, производительны и удобны в обслуживании.

Для всех способов выработки используют ванные печи больших размеров с общим бассейном или с разделительными устройствами в виде преград из электроплавленного огнеупора, устанавливаемых в слое стекломассы. Обычно это регенератив-

ные ванные печи с поперечным направлением пламени с большой самостоятельной студочной частью. В крупных ваннных печах без заградительных устройств по стекломассе площадь варочной части бассейна колеблется в пределах 100–300 м. Площадь зеркала студочной части печи составляет 60–150% площади зеркала варочной части. Такая площадь необходима для снижения температуры стекломассы, поступающей на выработку.

В ваннных печах непрерывного действия все стадии процесса стекловарения протекают в определенной последовательности непрерывно и одновременно в различных частях бассейна печи. В соответствии с этим бассейны ваннных печей по длине условно делят на зоны варки, осветления, студки и выработки, которые располагаются одна за другой на различных участках по длине бассейна печи. Так как обычно зоны варки, осветления и гомогенизации конструктивно не разделяются, то та часть печи, где протекают эти процессы, называется варочным бассейном. Это отапливаемая часть печи. Студочная часть печи либо не отапливается, либо имеет самостоятельную систему отопления. Отапливаемая часть печи служит для стекловарения, студочная – для охлаждения стекломассы перед выработкой. К студочной части печи непосредственно примыкают устройства для выработки изделий.

Варочные и студочные части печей, а также студочные части и выработочные отделения разделяют конструктивно. Зона выработки отделяется от остальной части бассейна печи глухой стеной с протоком или подвесным мостом, заглубленным в стекломассу. Чем полнее разделены варочный и студочный бассейны, тем больше и быстрее охлаждается стекломасса и тем выше может быть температура в варочной части печи. Это дает возможность лучше использовать тепло и увеличить удельную производительность печей. Смесь шихты и боя, непрерывно загружаемая в одном конце печи, постепенно проходит к другому концу печи через зоны бассейна с различными температурными условиями и превращается в однородную стекломассу.

В каждой зоне должен поддерживаться стационарный температурный режим. Определенный температурный режим в ваннных печах непрерывного действия обеспечивается конструкцией их рабочей камеры – бассейна.

Для выделения отдельных зон с различными температурными режимами газовое пространство рабочей камеры разделяют приспособлениями различной конструкции из огнеупорных материалов. Лучше всего режим варки регулируется при разделении газового пространства рабочей камеры сплошными или решетчатыми экранами, шиберами или сниженными арками. Поддержанию

необходимого температурного режима по длине бассейна печи способствуют и устанавливаемые в стекломассе огнеупорные разделительные приспособления – заградительные мосты, пороги, протоки.

Устройство протоков и других разделительных приспособлений позволяет изменить характер движения потоков стекломассы и отбирать для выработки более охлажденную и проваренную стекломассу.

Отбор стекломассы из варочной части печи через проток обеспечивает поступление на выработку высококачественной стекломассы. Чем полнее варочная часть печи отделена от студочной, тем меньшей может быть площадь зоны студки. Это уменьшает бесполезный расход тепла и позволяет повысить производительность печей. Современные проточные пламенные ванны печи характеризуются следующими показателями: удельный расход теплоты 7500–8300 кДж/кг и удельный съём стекломассы с 1 м площади варочного бассейна свыше 2800 кг в сутки.

В производстве мозаичной плитки, а также тарного и сортового стекла все большее распространение получают экономичные и простые стекловаренные печи прямого нагрева (рис. 4). Термин “прямой нагрев” не характеризует сущность обогрева, так как во всех пламенных печах газы непосредственно нагревают шихту и стекломассу. Отсутствие регенераторов в этих печах делает их более компактными и дешевыми. В печах прямого нагрева не нужно изменять направление пламени и поэтому обеспечивается возможность поддержания в них стабильной температуры по длине бассейна при постоянном составе газов над стекломассой.

Горелки 1 располагают вдоль боковых сторон по длине печи. Продукты горения движутся в противотоке с шихтой и поверхностным потоком стекломассы и отводятся со стороны загрузки, в результате чего продукты уноса шихты не осаждаются на кладке пламенного пространства, износ ее уменьшается, она может быть снабжена тепловой изоляцией. В этих печах можно сжигать топливо с минимальным коэффициентом избытка воздуха; теплота отходящих из печи газов, имеющих температуру 1100–1300°C, может быть использована для получения пара в котлах-утилизаторах. Размеры этих печей позволяют строить здание цеха меньшей высоты.

Бассейн печей прямого нагрева имеет форму вытянутого прямоугольника длиной 6–15 м, шириной 1,5–3 м и глубиной 0,6–0,9 м. Эти печи отапливают высококалорийным природным

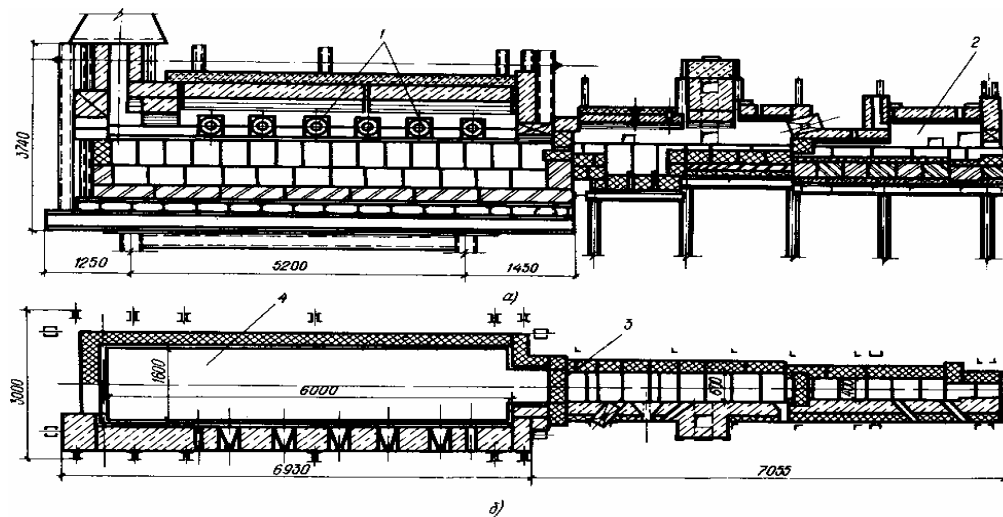


Рис. 4. Ванная печь прямого нагрева:
 а – продольный разрез; б – планы; 1 – газовые горелки;
 2, 4 – выработочная и варочная части; 3 – проток

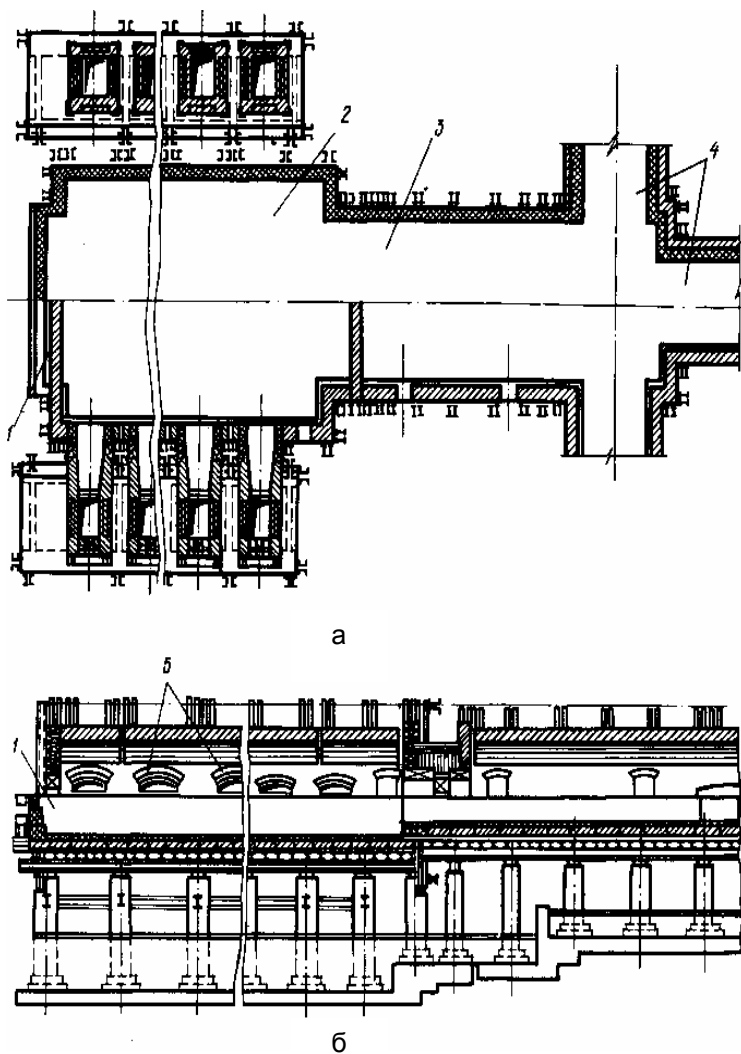


Рис. 4. Ванная печь прямого нагрева (продолжение):
а – продольный разрез; б – планы; 1 – газовые горелки;
2, 4 – выработочная и варочная части; 3 – проток

газом и иногда жидким топливом, а для подогрева воздуха используют металлические рекуператоры радиационного типа. Для обогрева печей прямого нагрева применяют преимущественно газовые металлические короткофакельные горелки инжекционного типа с полным предварительным смешением топлива и воздуха. Теплоотдача от факела таких горелок по мере удаления от устья горелки резко снижается, вследствие чего при подводе газа с обеих сторон печи одновременно процесс варки стекла протекает нормально лишь при ширине печи до 3 м. При большей ширине бассейна печи теплоотдача по центру не обеспечивает требуемого провара шихты. При таком способе сжигания природного газа максимальная производительность печей прямого нагрева составляет 40 т/сут. На ваннных печах прямого нагрева наибольший удельный съем стекломассы 1200-1500 кг/м²/сут, удельный расход теплоты на 1 кг сваренной стекломассы 12,5-17,6 кДж. При установке за печами котлов-утилизаторов удельный расход теплоты может быть снижен до 5,5 кДж, чего нельзя достигнуть в ваннных печах обычных конструкций. В печах прямого нагрева отходящие газы и поверхностный слой стекломассы движутся в противотоке. Движение отходящих газов навстречу загружаемой шихте и удаление их непосредственно у загрузочной стенки печи позволяют максимально использовать тепло отходящих газов.

Иногда в печах прямого нагрева в осветлительной части устанавливают электроды. Дополнительный электроподогрев компенсирует потери тепла в окружающую среду осветлительной частью бассейна, а также интенсифицирует процесс осветления стекломассы. К недостаткам печей прямого нагрева следует отнести значительный унос компонентов шихты в зоне загрузки, ограниченные размеры бассейна, большие потери тепла с отходящими газами при отсутствии устройств для его использования.

По способу отопления стекловаренные печи подразделяют на пламенные, электрические и пламенно-электрические (комбинированный пламенный и электрический обогрев).

В пламенных печах источником тепловой энергии служит сжигаемое топливо. Шихта и стекломасса в этих печах получают теплоту от сжигания жидкого или газообразного топлива. Коэффициент полезного действия пламенных печей 18-26%, так как топливо в них расходуется главным образом на нагревание огнеупорной кладки печи и компенсацию потерь тепла.

Электрические печи по сравнению с пламенными имеют ряд преимуществ: меньшие размеры, большую производительность. Они экономичны, легко регулируются. При их эксплуатации отсут-

ствуют теплопотери с отходящими газами и лучше условия труда. Коэффициент полезного действия электрических печей достигает 60% и выше. Расход огнеупоров и капитальные затраты на сооружение таких печей резко сокращаются. Срок службы печей достигает 5 лет и более.

По способу передачи теплоты стекломассе электрические печи подразделяются на дуговые; печи сопротивления (прямого и косвенного) и индукционные. В дуговых печах теплота передается материалу излучением от вольтовой дуги.

Наибольшее распространение получили печи прямого сопротивления, в которых нагревательным элементом служит непосредственно стекломасса. В этих печах теплота выделяется в самом материале, который служит сопротивлением в цепи.

Расход электроэнергии на варку стекла в зависимости от химического состава последнего составляет $(2,2-7,2) \cdot 10^3$ кДж на 1 кг стекломассы. Использование стекломассы в качестве нагревательного сопротивления основано на том, что стекло при повышенных температурах проводит электрический ток, причем электропроводность его с повышением температуры увеличивается. Проходя через стекломассу, электрическая энергия превращается в тепловую, происходит нагревание и варка стекла. Для питания электрических печей прямого нагрева используют однофазный или трехфазный ток, который подводят к стекломассе через графитовые или молибденовые электроды.

В последнее время разработаны и применяются электроды на основе оксида олова, которые обладают высокой стойкостью к расплаву стекла и позволяют получать с помощью электрической варки даже высококачественный свинцовый хрусталь.

Электрические печи прямого сопротивления имеют различные конструкции, однако большинство из них представляет собой горизонтальные ванны прямоугольного сечения. Применяют эти печи для варки технического и сортового стекла, а при наличии дешевой электроэнергии и в производстве массовой продукции.

В печах косвенного сопротивления теплота передается материалу излучением или теплопроводностью от введенного в печь сопротивления. В индукционных печах в материале, включенном во вторичную цепь, индуцируется ток.

Пламенно-электрические (газоэлектрические) печи имеют комбинированный нагрев: бассейн для плавления шихты обогревается газообразным топливом, а бассейн для осветления стекломассы – электрическим током.

Работа стекловаренных печей оценивается производительностью, расходом теплоты на варку стекла и коэффициентом полезного действия (КПД) печи, который представляет собой отношение количества теплоты, полезно затраченной на варку стекла, к общему расходу теплоты на печь. Производительность печи характеризуется двумя показателями: общей (суточной) и удельной производительностью. Общая производительность равна количеству тонн стекломассы (или годной продукции), снимаемой с печи в сутки. Удельная производительность измеряется отношением суточной производительности к площади бассейна печи и выражается в $\text{кг/м}^2/\text{сут}$.

От работы стекловаренной печи, в которой протекают основные процессы варки и термической подготовки стекломассы для выработки изделий, в решающей степени зависит как количество, так и качество вырабатываемой продукции. Поэтому вопросам совершенствования конструкций стекловаренных печей уделяется в настоящее время большое внимание.

3.3. Пороки стекломассы

Пороки стекломассы возможны вследствие различных причин, одной из главных является химическая и физическая неоднородность стекломассы, возникающая в процессе варки стекла.

Идеально однородной стекломассы практически не существует. Стекло, сваренное в стекловаренных печах, всегда обладает той или иной степенью неоднородности. При этом степень допускаемой неоднородности зависит от способа производства и назначения готовых изделий.

Различают три группы пороков:

- газовые включения (пузыри, мошка);
- стекловидные включения (свиль, шпир);
- кристаллические включения (камни).

Газовые включения (пузыри). Во время плавки входящие в состав шихты материалы становятся подвижными, вступают между собой во взаимодействие и образуют жидкую стекловидную массу. Одновременно выделяются в огромном количестве газы различного происхождения (воздух , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , SO_2), а также пары воды. Все они устремляются вверх и приводят в движение стекломассу. Большая часть образующихся таким образом газов уходит из сплава, некоторое же количество, не будучи в состоянии пробиться сквозь вязкое стекло, остаётся в нём в виде газовых включений.

Различают газовые включения невидимые (газы растворены) и видимые.

Видимые простым невооружённым глазом газовые включения представляют собой пузыри, размеры которых колеблются от 1 мм и выше. Мельчайшие пузыри (до 1 мм) принято называть “мошкой”.

По форме газовые пузыри разнообразны: сферические, эллипсоидные, нитевидные. Деформация пузырей зависит главным образом от процесса формования изделий. Так, на стекле вертикального вытягивания пузыри большей частью бывают эллипсоидные, немного вытянутые вдоль вытягиваемой ленты стекла; при выдувании же изделий пузыри большей частью бывают сферической формы.

Пузыри в стекле портят внешний вид изделия, ухудшают прозрачность, химическую и механическую прочность стекла.

Причин возникновения газовых включений несколько, главными являются следующие:

- неполное удаление газообразных продуктов разложения шихты;
- появление газовых включений в процессе охлаждения стекломассы (в зоне студки);
- взаимодействие печных газов со стекломассой;
- попадания воздуха в стекломассу;
- взаимодействие стекломассы с огнеупором;
- попадание железа в стекломассу.

В зависимости от причины происхождения пузырей они могут быть первичными и вторичными.

Первичные пузыри образуются в основном вследствие неполного удаления на стадии осветления стекломассы, когда нарушается технологический режим: недостаточно высокая температура, малая продолжительность осветления, отсутствие необходимого количества осветлителей в шихте, чрезмерный съём стекломассы.

Вторичные пузыри чаще всего возникают в результате повторного нагревания стекломассы, содержащей остатки карбоната и сульфата натрия, которые при определённых условиях (нагрев до 1200°C) разлагаются с выделением газов. Наряду с этим стекломасса содержит некоторое количество растворённых газов. Чем больше этих газов, тем больше возможность появления вторичных пузырей.

Состав и давление печной среды влияют на процесс образования вторичных пузырей. Часто при изменении состава атмосферы печи в зоне студки изменяется и парциальное давление некоторых газов (SO_2 , O_2); в результате эти газы переходят из атмосферы в стекломассу.

Воздух попадает в стекломассу обычно при погружении в неё посторонних предметов, а также при засыпке шихты и боя. Некоторое количество воздуха вносится в стекломассу при погружении в неё трубок, ковшей, черпаков.

При взаимодействии стекломассы с огнеупорами довольно часто на границе стекло – огнеупор в стекле наблюдаются большие скопления пузырей. При растворении в стекле Al_2O_3 и SiO_2 из огнеупора происходит смещение равновесия между стекломассой и растворёнными в ней газами в сторону выделения этих газов в пузыри.

Образующиеся на границе с огнеупором пузыри могут разноситься потоками стекломассы и впоследствии встречаться далеко от места своего возникновения.

Часто огнеупорный материал также содержит в порах газы, которые, не имея другого выхода, попадают в стекломассу. Если же на стенке огнеупора имеются выступы, углубления или другие неровности, то около них можно обнаружить большие скопления пузырей.

Попадание железа в стекломассу происходит главным образом из-за небрежности в работе. В стекломассе железо начинает постепенно расплавляться, а содержащийся в нём углерод окисляется, образуя пузыри газов.

Важнейшими мерами для предотвращения попадания газовых включений в стекло являются: строгое соблюдение режима варки стекломассы, температурного и газового режима, правильный подбор сырьевых материалов, применение оптимального количества боя, осторожность мастеров при наборе стекломассы трубой, высокое качество огнеупоров и т.д.

Вторичные пузыри обычно имеют небольшие размеры, хотя не исключено и появление крупных пузырей. По составу газов, содержащихся в пузырях, а также результатам исследования под микроскопом (степень окраски, наличие осадка) судят об их происхождении.

Стекловидные включения – это включения, отличающиеся от основной массы стекла своими свойствами (плотностью, вязкостью, коэффициентом преломления, цветом) и химическим со-

ставом – так называемые свили и шлиры. Стекловидные включения образуются в результате неоднородности стекольной шихты, расслоения стекломассы в процессе варки, недостаточной гомогенизации стекломассы и попадания в стекломассу инородных веществ из окружающей среды.

Свили – это включения в основной стекломассе чужеродного стекла в виде нитей или волокон. Шлиры – это более грубые стекловидные включения округлой формы.

Свили располагаются как на поверхности, так и внутри объёма стекла. Причинами образования свилей являются: отклонение химического состава шихты и плохое её смешивание, применение стеклосбоя другого состава, изменение направления потоков с вовлечением застойной стекломассы из глубины бассейна в рабочий поток и др. Во многих случаях причиной образования свилей является разрушение огнеупоров бассейна печи и различных преград. Огнеупоры содержат кроме кристаллической и стекловидную фазу, которая переходит в стекломассу и, являясь инородной по составу, образует свили. Если свили и шлиры образовались в варочной зоне, то при дальнейшем движении они могут смешаться с основной стекломассой. В том случае, когда свили образовались в зоне выработки стекла, где расплав имеет более высокую вязкость, они уже не успевают раствориться.

Контролируют свили в стекле визуально или с помощью теплового метода. Природу образования свилей определяют химическим или спектральным анализом. Использование современных методов рентгенофлуоресцентного анализа или электронного микроанализатора позволяет определить состав свилей с высокой точностью.

Грубые стекловидные включения (шлиры) легко обнаруживаются невооружённым глазом в проходящем или отражённом свете. Мельчайшие включения можно обнаружить только с помощью специальных приборов.

Предотвращают появление стекловидных включений в стекле, прежде всего, правильным подбором сырьевых материалов и строгим соблюдением технологического и теплотехнического режимов варки стекла.

Твёрдые включения относятся к наиболее опасным порокам стекломассы, так как они вызывают значительные линейные напряжения, которые снижают механическую прочность и терми-

ческую устойчивость изделий, а в некоторых случаях являются причиной их саморазрушения.

Твёрдые включения (камни) в стекле образуются из-за непровара шихты, разрушения огнеупоров, кристаллизации стекломассы, загрязнения сырья и стекольного боя.

К кристаллическим включениям (камням) относятся кристаллы различного происхождения, разнообразных форм и размеров, вкрапленные в стекло. Эти кристаллы располагаются в стекле в виде одиночных камней или целыми скоплениями. Часто кристаллические включения в стекле сопровождаются свилью, так как кристаллы, постепенно растворяясь в стекле, изменяют вокруг себя его состав. К кристаллическим включениям относятся: шихтные (материальные камни), продукты разрушения огнеупора стекломассой, сводовые камни; продукты кристаллизации стекломассы.

Шихтные камни являются остатками непроварившихся сырьевых материалов, причинами образования которых являются: наличие крупных зёрен тугоплавких примесей в сырьевых материалах, плохое перемешивание шихты, расслоение шихты при транспортировке, низкая температура в зоне варки.

Наличие в стекломассе шихтных камней свидетельствует о нарушениях заданного технологического режима производства.

Причинами возникновения шихтного камня является прежде всего неоднородность стекольной шихты, а кроме того, плохое просеивание материала перед смешением, неудачно подобранный зерновой состав материала (особенно песка) при его большой разнородности; плохое смешивание шихты, повышенная влажность ее и неправильная загрузка в стекловаренную печь. Если компоненты шихты перед смешиванием плохо просеяны и содержат зёрна различных размеров, то скорость растворения этих зёрен будет различной. Мелкие зёрна песка, быстро расплавляясь в расплаве, будут повышать его вязкость и тем самым затруднять растворение более крупных зёрен. Аналогичное явление происходит при плохом смешивании, когда отдельные участки содержат большое количество тугоплавких частиц, и повышенной влажности шихты, когда в шихте образуются комки.

Причиной образования в стекломассе камней может явиться также нарушение температурного режима, особенно при снижении температуры в зоне варки стекла. Шихта при этом не успевает полностью провариться.

Продукты разрушения огнеупоров стекломассой представляют собой другую группу твёрдых включений в стекле. Огнеупор стекловаренных печей может разрушаться в результате химического взаимодействия со стекломассой. По внешнему виду камни из огнеупоров стекловаренных печей – это белые или жёлтые, преимущественно остроугольные включения, по цвету резко отличающиеся от стекломассы. Их часто называют шамотными камнями, так как шамот является самым распространённым видом огнеупора, применяемого для кладки бассейна стекловаренных печей.

Причинами появления в стекломассе камней из огнеупора являются: низкое качество огнеупора, большое содержание щелочей в шихте, высокая температура процесса варки стекла.

Сводовые камни – кристаллические включения в стекломассе, образующиеся из капель, падающих со свода вследствие взаимодействия пыли и паров щелочных компонентов шихты с динасовым огнеупором свода. Поднимающаяся к своду шихтная пыль, вступая во взаимодействие с огнеупором и разъедая его, образует на своде и стенках печи капли легкоплавких силикатов, которые, увеличиваясь в размерах, отрываются и падают в стекломассу. Основной причиной появления в стекломассе сводовых камней является неправильная загрузка шихты и низкое качество огнеупора.

Продукты кристаллизации (камни расстекловывания) возникают в стекломассе в результате кристаллизации самого расплава. Кристаллы, в зависимости от условий образования, могут находиться в стекле в виде распределённых по всей стекломассе кристаллических центров, цепочек, полос и сферолитов различных размеров, от сотых долей миллиметра до нескольких сантиметров.

Кристаллы могут появиться как на поверхности, так и в толще стекломассы, но всегда в первую очередь на границе раздела фаз: на поверхности стекломассы, около газовых пузырей, на границе с огнеупором. Зачастую кристаллизация начинается вокруг шихтных и шамотных камней и в свиях.

К основным причинам кристаллизации стекломассы относятся слишком склонный к кристаллизации заданный состав и нарушение установленного теплового режима. Важнейшей мерой по устранению появившихся камней расстекловывания является повышение температуры, способствующее растворению кристаллов. В отдельных случаях несколько изменяют состав стекла, чтобы оно было менее склонно к кристаллизации.

Глава 4

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Примерно 100 тысяч лет назад люди научились делать простейшие орудия труда из дерева, камня и костей животных, а также добывать огонь и заготавливать пищу впрок. В связи с этим появилась потребность в таре для перемещения и хранения запасов. Для этого использовали шкуры животных, полые стволы деревьев и кору, а в качестве оберточного материала – большие листья растений и бересту.

Первые изделия, предназначенные для хранения продуктов, человек начал выделывать из глины около 13 тысяч лет назад. Параллельно с изготовлением глиняных изделий люди научились выдалбливать емкости из дерева, плести из прутьев корзины, а из полосок кожи, волоса и шерсти вить веревки и плести из них сетки.

Наиболее древним из созданных человеком искусственных материалов является стекло. Из него с доисторических времен изготавливаются сосуды для пищевых и других продуктов. Считается, что начало этому производству было положено около 5 тысяч лет назад жителями Древнего Египта, которые начали с “муравления” глиняной посуды, а затем освоили и технологию производства стеклянных изделий. Самые древние находки стеклянной тары относятся к 1500-м годам до нашей эры. Из стекла в те времена изготавливали маленькие пузырьки, в которых хранились лекарства, бальзамы и благовония, а также посуду и бутылки для вина и других жидкостей. Маленькие пузырьки сохраняли свою форму с античных времен до XVIII века. В них аптекари продавали лекарства, масла и дорогие бальзамы. Наиболее древние стеклянные бутылки имели шаровидный корпус с вдавленным коническим дном и узкой горловиной. Несколько позднее горловина бутылки стала делаться с наружным кольцевым буртиком, облегчающим выливание жидкости. В XVI веке в Германии появились четырехгранные бутылки с короткой горловиной, вскоре распространившиеся по всей Европе. Их было удобно ставить в заплетные ящики, которые носили странствующие аптекари. В России и на Украине такие бутылки назывались штофами. Непрактичные шаровидные бутылки с конца XVII века постепенно вытеснились бутылками цилиндрической формы, которые удобно хранить в лежачем положении.

В Европе первым центром по производству стекла стала Венеция. В XVI веке венецианские флаконы считались лучшими и служили предметами роскоши. К концу первого тысячелетия про-

изводство стеклянных изделий зародилось и на территории современной Беларуси. В XII–XIII веках известные центры стекольного производства сформировались в Турове, Полоцке, Новогрудке, Гродно и других городах. В то время на стекольных предприятиях изготавливали бесцветную стеклянную посуду, а также сосуды из желтоватого, зеленоватого, синего и фиолетового стекла. В России, как свидетельствуют архивные источники, один из первых заводов для производства стеклянной тары с “казенной субсидией” построил в 1625 году недалеко от Москвы, в селе Измайлово, итальянец Миньот, а в окрестностях Москвы стекольное предприятие было основано в 1635 году англичанином Козтом.

В настоящее время стеклянная тара занимает одно из ведущих мест в сфере производства упаковочных изделий для пищевой, фармацевтической, парфюмерно-косметической, химической, электротехнической и других отраслей промышленности. Популярность упаковки из стекла обусловлена рядом замечательных свойств, присущих этому материалу. Одной из важнейших особенностей стекла является то, что оно инертно по отношению к большинству химических веществ. Продукты питания не вступают во взаимодействие со стеклом и не выщелачивают материалы, которые могут изменить вкус. Стекло непроницаемо для газа и паров влаги, и это имеет особенное значение для долговременного хранения газированных напитков и для продуктов питания, которые чувствительны к испарениям, окислению кислородом или к порче за счет снижения или повышения влажности (конечно, при условии наличия надежного упорочного устройства). Прозрачность и блеск стекла являются преимуществом в том случае, когда имеет значение наглядность продукта. Все чаще высококачественный имидж ассоциируется со стеклянной упаковкой. Стекло сохраняется стабильным при высоких температурах и устойчивым к тепловым воздействиям (при условии качественного отжига). Поэтому стеклянная тара может использоваться для продуктов, разливаемых в горячем состоянии. К преимуществам стекла также относится возможность неоднократной его переработки, а к основным недостаткам его – высокий удельный вес ($2,5 \text{ г/см}^3$) и хрупкость.

Показательными, в части популярности упаковки из стекла (бутылки, банки, стеклофлаконы), могут служить, и это только по Российской Федерации, следующие данные: в 2001–2003 гг. отечественными предприятиями было выработано 4,75 млрд единиц указанных изделий, а что касается перспективности развития стекольной отрасли, то об этом можно судить по отечественному потребительскому рынку, который составляет порядка 10,0 млрд единиц.

Производство стеклянной тары во всем мире непрерывно развивается, что выражается не только в увеличении объема выпуска продукции, но и в совершенствовании технологических процессов её производства, повышении качества стеклотарных изделий. В технически развитых зарубежных странах ежегодные темпы прироста стеклотарной продукции составляют 3-10%.

В последние годы выполняются работы по техническому перевооружению производства стеклотары, включающие интенсификацию процессов варки стекла путем улучшения качества сырья и шихты, применения стекол оптимального состава, усовершенствования конструкций и повышения тепловой мощности стекловаренных печей, применения высокотемпературных режимов варки, электротермии и бурления. Осуществляется замена устаревшего оборудования современными машинолиниями с высокопроизводительными стеклоформующими автоматами, оснащенными двух- и трехместными формами. Проводятся работы по снижению материалоемкости стеклотарных изделий с применением эффективных способов упрочнения. В отраслях пищевой промышленности, потребляющих стеклянную тару, вводятся в действие высокоскоростные линии расфасовки, производственные процессы максимально механизуются и автоматизируются. В связи с этим возрастают требования к качеству и эксплуатационным характеристикам стеклянной тары (механической и термической прочности, светозащитной способности, химической устойчивости).

4.1. Классификация стеклянной тары

Ассортимент стеклянной тары чрезвычайно разнообразен, поэтому её классифицируют по размерам горла, цвету стекла, типу венчика, назначению и конфигурации.

Тара из стекла в зависимости от **вида упаковываемой продукции** подразделяется на три категории: *для парфюмерии и косметики, пищевых продуктов, лекарственных препаратов*

. Стекло для парфюмерии должно обладать особым блеском и прозрачностью, поэтому для его производства не используют оксиды железа и других металлов. В фармацевтической промышленности обычно применяют три типа стекла: нейтральное борокремнезёмное – очень дорогостоящее и используемое для упаковывания физиологически активных препаратов (например, плазмы); натриевокальциевое – соответствующей обработки для упаковывания некоторых видов медикаментов с содержанием кислоты; натриевокальциевое – без обработки для прочих целей.

По внешнему виду различают три основных типа ёмкостей из стекла: *оплетённые бутылки, фляги; бутылки и банки; флаконы и ампулы*. Бутылки и фляги используются для вина, ликёров, столового и растительного масла, безалкогольных газированных и негазированных напитков, молока. Стекланные банки и ёмкости с широким горлом служат упаковкой для джемов и конфитюров, консервированных фруктов и солений. Флаконы и ампулы применяют в парфюмерной и фармацевтической промышленности.

Флягами называют транспортную тару с корпусом цилиндрической формы, переходящим в узкую горловину. Фляги снабжены устройством для переноса, крышкой, имеющей рычажный или винтовой затвор.

Бутылкой называют потребительскую тару преимущественно с цилиндрическим корпусом, переходящим в узкую горловину, предусмотренную для укупоривания; с плоским или вогнутым дном. Для практического применения на рис. 5 приведены термины, используемые для описания различных частей бутылки.

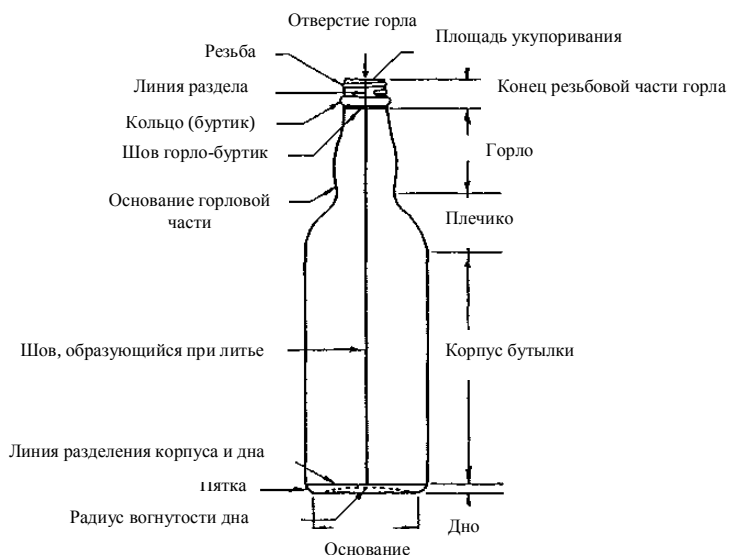


Рис. 5. Конфигурация бутылки

Горло бутылки определяется как та часть, на которой будут размещаться укупорочные средства. Горло классифицируется по его внутреннему и наружному диаметру (выраженному в милли-

метрах), по способу герметизации и индивидуальным свойствам. Укупорочные средства выбираются с учетом таких факторов, как стоимость, метод использования и оформление. Иногда укупорочные средства влияют на форму дизайна.

Конструкция и форма горла особенно влияют на розлив, объем воздуха и распределение продукта. Иногда требуется свободное пространство над жидкостью для обеспечения теплового расширения и облегчения розлива. Различия в уровне наполнения наиболее видны в длинных, узких горлышках.

Верхнее плечико – это пространство непосредственно под горлом. Для хорошего дизайна и эффективного производства необходимо гармоничное сочетание верхнего плечика и горла.

Боковые стороны бутылки - это поверхности, используемые для оформления и дизайна. Следует выбирать такие этикетки, которые меньше всего истираются. Очень часто проектируются бутылки и банки с углубленными панелями для этикеток в целях защиты последних от истирания. Если изделия имеют углы, то лучше спроектировать закругленные края, чем конусные, так как это удобнее для обертывания пленкой и нанесения этикеток с трех сторон. “Точечное” этикетирование предполагает обычно нанесение этикеток на одну или две стороны, но уже разработаны этикетировочные автоматы для нанесения этикеток на четыре стороны.

“Пятка” начинается как можно выше от основания (несущей поверхности доньшка) и закругляется внутрь основания до соответствующего его диаметра. Кривая от корпуса до основания должна составлять три радиуса. При самом большом радиусе корпус незаметно переходит в пятку, а при минимальном радиусе пятка незаметно переходит в основание.

Диаметр основания должен быть максимально большим в пределах ограничений, устанавливаемых дизайном. Центр основания всегда вогнут, чтобы обеспечить плоское стабильное доньшко и стойкость бутылки. Круглая несущая поверхность, на которой стоит бутылка, обычно выгравирована пунктиром, так что царапины, появляющиеся в результате обращения с бутылкой, не ослабляют прочность основания.

Флаконом называется потребительская тара с плоским или вогнутым дном, с корпусом разнообразной формы, резко переходящим в горловину, диаметр венчика которой значительно меньше диаметра описанной окружности корпуса и предусматривает укупоривание колпачком или пробкой.

Флаконы отличаются от бутылок тем, что корпус у них резко (почти под прямым углом) переходит в узкую горловину и имеет

самую разнообразную форму (цилиндрическую, плоскую, призматическую, коническую, сферическую, многогранную, комбинированную).

Разновидностью флакона, имеющего индивидуальное название, является штоф. Термин **штоф** включает два следующих понятия:

- старинная русская мера объема жидкости, равная одной десятой части ведра;
- четырехгранный флакон такой же вместимости (емкостью от 0,5 до 2 дм³).

Бутылки и флаконы служат для упаковывания пищевой, химической, парфюмерной, косметической, фармацевтической и другой жидкой, пастообразной, а иногда сыпучей и смешанной текучей продукции. Наиболее широкое распространение получили бутылки и флаконы стеклянные и изготовленные из полимерных материалов; реже встречаются керамические и металлические. Ранее изготавливались также картонно-бумажные бутылки самой разнообразной формы. Однако с внедрением пластических масс применение их постепенно прекратилось из-за более сложной технологии изготовления, низких потребительских характеристик и более высокой стоимости.

Стеклянные бутылки и флаконы изготавливаются из бесцветного, полубелого и цветного (голубоватого, желтоватого, оранжевого, зеленого, коричневого и другого) стекла в огромных количествах. В России, например, предприятиями стекольной промышленности изготавливается только для пищевых жидкостей около 2,3 млрд бутылок в год, что составляет 5-8% от находящейся в обращении возвратной тары. В Беларуси в настоящее время на 7 стекольных заводах ежегодно производится порядка 220 млн шт. бутылок в 0,5-литровом исчислении. Всю производимую стеклянную тару можно разделить на две категории: *стандартную* и *декоративную*.

Стандартная тара является, как правило, многооборотной, имеет неизменные конструктивные размеры и качественные показатели, выпускается в больших количествах многими стекольными заводами и используется различными предприятиями для автоматизированного упаковывания в нее однотипной производимой продукции (молока, сметаны, соков, пива, вина, минеральной воды, растительных масел и др.).

Декоративная тара разрабатывается дизайнерами специально для конкретного производителя продукции в соответствии с определенной темой, художественным замыслом, фирменным стилем и используются только этим предприятием (фирмой) для упаковывания соответствующей продукции.

Стандартные стеклянные бутылки и флаконы созданы для упаковывания пищевых жидкостей (ГОСТ 10117-91); молока и молочных продуктов (ГОСТ 15844-80); химической продукции (ГОСТ 14182-80); крови, транс-фузионных и инфузионных препаратов (ГОСТ 10782-85); медикаментов, химреактивов, эфирно-масличных веществ (ГОСТ 6-19-72-76) и другой продукции. Наиболее распространённой является стандартная стеклянная тара для пищевых жидкостей, предназначенная для упаковывания вина, водки, водочных изделий, коньяка, пива, безалкогольных напитков, минеральных вод, ликеров, настоек, наливок, соков, шампанских вин и растительных масел. В зависимости от назначения стандартом (ГОСТ 10117-91) устанавливаются следующие типы (рис. 6) этих бутылок:

I – винная – из темно-зеленого и бесцветного стекла (рис. 6,а) емкостью 200; 250; 500; 700 и 1000 см³ с венчиком типа К и ВП;

II – шампанская – из темно-зеленого стекла (рис. 6,б) емкостью 400 и 800 см³ с венчиком типа Ш;

III – коньячная – из бесцветного стекла (рис. 6,в) емкостью 50; 100; 250 и 500 см³ с венчиком типа А, А₁, В и В₁;

IV – водочная – из бесцветного стекла (рис. 6,г) емкостью 250 и 500 см³ с венчиком типа А;

V – ликерная – из бесцветного стекла (рис. 6,д) емкостью 500 см³ с венчиком типа А;

VI – наливочная – из бесцветного стекла (рис. 6,е) емкостью 500 см³ с венчиком типа А;

VII – вишневая – из бесцветного стекла (рис. 6,ж) емкостью 250 и 500 см³ с венчиком типа А;

VIII – рейнская – из темно-зеленого стекла (рис. 6,з) емкостью 700 см³ с венчиком типа К и ВП;

IX – для масла – из бесцветного, полубелого и темно-зеленого стекла (рис. 6,и) емкостью 272 и 544 см³ с венчиком типа К и КП;

X – пивная – из оранжевого, темно-зеленого, бесцветного и полубелого стекла (рис. 6,к) емкостью 330 и 500 см³ с венчиком типа КП;

XI – соковая – из бесцветного или полубелого стекла (рис. 6,л) емкостью 200 и 500 см³ с венчиком типа КП;

XII – для безалкогольных напитков – из бесцветного или полубелого стекла (рис. 6,м) емкостью 330 см³ с венчиком типа КП;

XIII – штоф – из бесцветного стекла (рис. 6,н) емкостью 750 см³ с венчиком типа А.

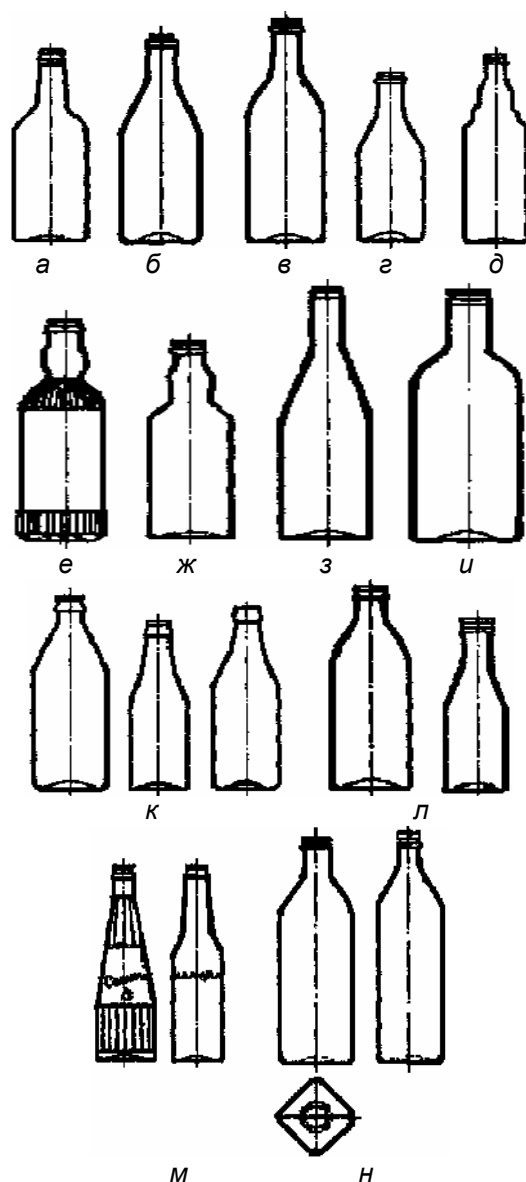


Рис. 6. Стандартные стеклянные бутылки и флаконы для жидкостей (ГОСТ 10117-91)

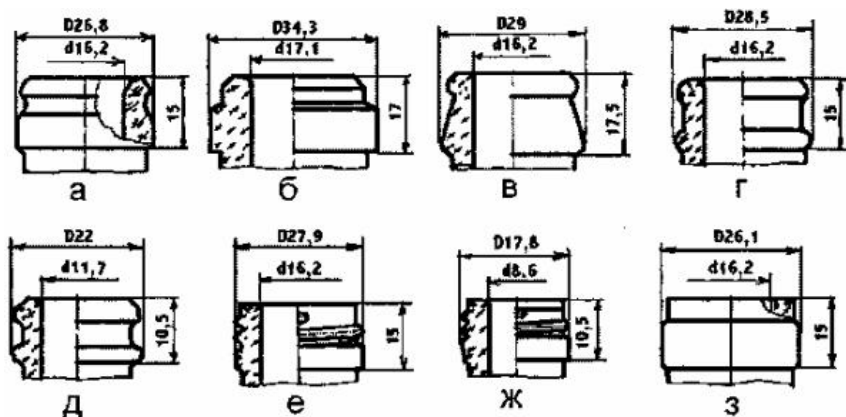


Рис. 7. Венчики бутылок для пищевых жидкостей

Для каждого типа венчика горловины этих бутылок приняты следующие условные обозначения (рис. 7):

К – венчик комбинированный (рис. 7,а);

Ш – венчик для бутылок под шампанское (рис. 7,б);

КП – венчик под кроненкорковую укупорку (рис. 7,в);

А, А₁ – венчик под укупорку алюминиевым колпачком (рис. 7,г и д соответственно);

В, В₁ – венчик под винтовую укупорку (рис. 7,е и ж соответственно);

ВП – венчик с пояском (рис. 7,з).

Стандартные бутылки (ГОСТ 15844-80) для молока и молочных продуктов предусматриваются следующих типов (рис. 8):

I – для пастеризованного молока и молочных продуктов (рис. 8,а) – из бесцветного и полубелого стекла емкостью 250; 500 и 1000 см³ под укупорку алюминиевым колпачком;

II – для стерилизуемого молока (рис. 8,б) – из бесцветного и полубелого стекла емкостью 250; 500 и 1000 см³ под укупорку кроненкорковой пробкой;

III – для кумыса (рис. 8,в) – из бесцветного и полубелого стекла емкостью 500 см³ под укупорку кроненкорковой пробкой;

IV – для диетических продуктов и сметаны (рис. 8,г и д) – из бесцветного и полубелого стекла емкостью 200 и 500 см³ под укупорку алюминиевым колпачком;

V – для диетических продуктов (рис. 8,е) – из бесцветного и полубелого стекла емкостью 200 и 250 см³ под укупорку алюминиевым колпачком.

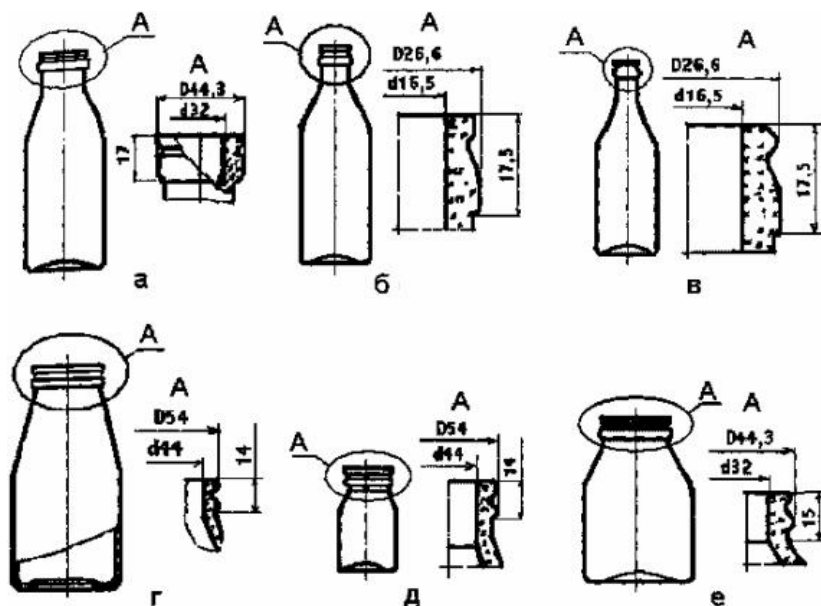


Рис. 8. Стандартные стеклянные бутылки для молока и молочных продуктов (ГОСТ 15844-80)

Стандартные бутылки для химической продукции изготавливаются из цветного, коричневого и голубого стекла с характерным отличительным кольцом в верхней части корпуса.

Декоративные стеклянные бутылки и флаконы обычно имеют оригинальную привлекательную форму, по художественному воплощению взаимосвязанную с упаковываемой продукцией и фирменным стилем ее производителя.

Под термином **фирменный стиль** понимается ряд приемов (графических, цветовых, пластических, языковых и т. д.), которые обеспечивают, с одной стороны, некоторое единство всех изделий или серии изделий фирмы (например, упаковка), воспринимаемое потребителем, а с другой – выделяют ее на рынке аналогичных товаров и среди других фирм-производителей. Декоративная тара не только надежно сохраняет упакованную продукцию; она привлекает внимание покупателей, рекламирует товар и саму фирму, предотвращает подделку продукции, выступает гарантом ее качества. Декоративные бутылки и флаконы стоят дороже стандартных и применяются обычно в качестве одноразовой тары для упаковывания неординарной продукции, имеющей характерные отличитель-

ные признаки, а также в качестве подарочной упаковки. На рис.9 приведены некоторые образцы декоративной стеклянной тары, применяемой для упаковывания парфюмерной и косметической продукции (рис. 9,а); бальзамов, настоек, марочных вин, коньяков других напитков (рис. 9,б); фармацевтической продукции (рис. 9,в).

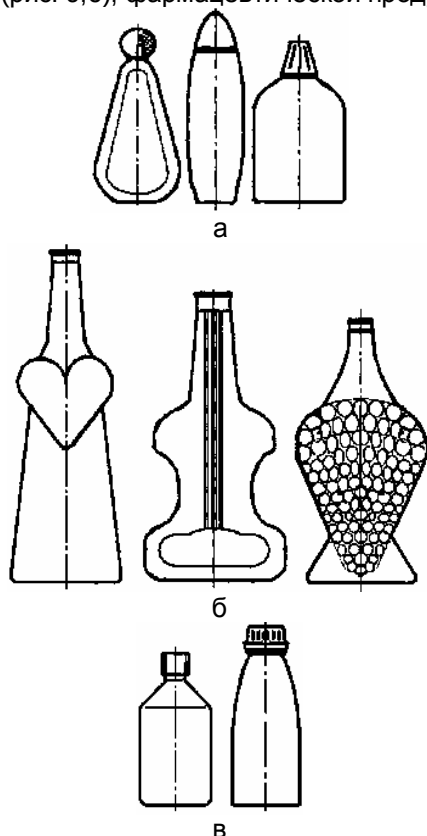


Рис. 9. Декоративные стеклянные бутылки и флаконы

Качество стеклянной тары находится в прямой зависимости от качества используемого стекла и его обработки. Стекло должно быть однородным, химически стойким, не переходить в содержимое тары и не содержать включений, влияющих на прочность тары. По качеству изготовления стеклянная тара должна удовлетворять следующим требованиям:

- соответствовать стандартам и конструкторской документации по цвету стекла, форме, емкости, массе и основным размерам;

- быть устойчивой при установке на ровную и гладкую поверхность;
- вертикальная ось тары должна быть перпендикулярна дну;
- по корпусу изделия стекло должно быть распределено равномерно, без разнотолщинности;
- наружная поверхность изделий, а также боковые и донные швы должны быть гладкими;
- переходы горловины к корпусу должны быть плавными, с радиусом закругления не менее 4–5 мм;
- поверхность венчика должна быть гладкой, без заусенцев и выступов, переход края горловины во внутреннюю поверхность закруглен;
- тара должна быть механически прочной, с достаточным сопротивлением внутреннему гидравлическому давлению, термически стойкой и хорошо отожженной.

Резервы дальнейшего развития стеклотарной отрасли связаны с повышением ударной прочности стекла, снижением веса тары, уменьшением затрат на производство, комплексной автоматизацией производственных процессов, исключением вредных экологических воздействий. Повысить прочность изделий из стекла и снизить тем самым потери можно двумя методами: существенным изменением структуры самого стекла, а также изменением состояния его поверхности. С этой целью промышленностью осваиваются технологии упрочнения стеклянной тары различными защитными покрытиями, как неорганическими, в частности оксидно-металлическими, так и органическими. Из других способов упрочнения применяют ионный обмен и выщелачивание поверхности путем газотермической обработки.

Существенное снижение экологического воздействия на окружающую среду от стеклотарной отрасли достигается при изготовлении стеклотары из утилизированного стекла, при этом производственные затраты электроэнергии уменьшаются до 25%, так как для плавления стекла не требуются такие высокие температуры, как при производстве нового.

Для упаковывания многих видов продукции вместо стеклянных бутылок в настоящее время широко применяются пластмассовые бутылки, изготавливаемые с требуемыми свойствами из разнообразных полимерных материалов.

Банкой называется потребительская тара с цилиндрическим или фигурным корпусом, с горловиной, диаметр которой равен диаметру корпуса или незначительно меньше его, с плоским или вогнутым дном, вместимостью от 0,025 до 10 дм³.

Банки выпускаются в огромных количествах и служат для упаковывания самой разнообразной продукции. В зависимости от назначения банки изготавливаются герметичными и негерметичными, причем последние имеют ограниченное применение. Герметичные банки являются основной тарой в консервном производстве, а также широко применяются в других областях, например в качестве упаковки для красок и эмалей, пива и газированных напитков. В консервном производстве банки выполняют роль не только тары, длительно сохраняющей упакованную продукцию, но являются также важным звеном технологического процесса производства консервов.

Наиболее широкое распространение получили банки стеклянные, металлические и пластмассовые. Встречаются также банки картонные и комбинированные, например картонно-металлические или выполненные из многослойных ламинированных материалов.

Стеклянные банки изготавливаются из такого же по составу стекла, что и бутылки, и подразделяются также на *стандартные* и *декоративные*. Стандартные стеклянные банки для консервов (ГОСТ 5717-81) выпускаются по форме в двух исполнениях (рис. 10, а и б) с венчиками горловин трех типов: I - обкатной (рис. 10, в), II - обжимной (рис. 10, г) и III - резьбовой (рис. 10, д, е).

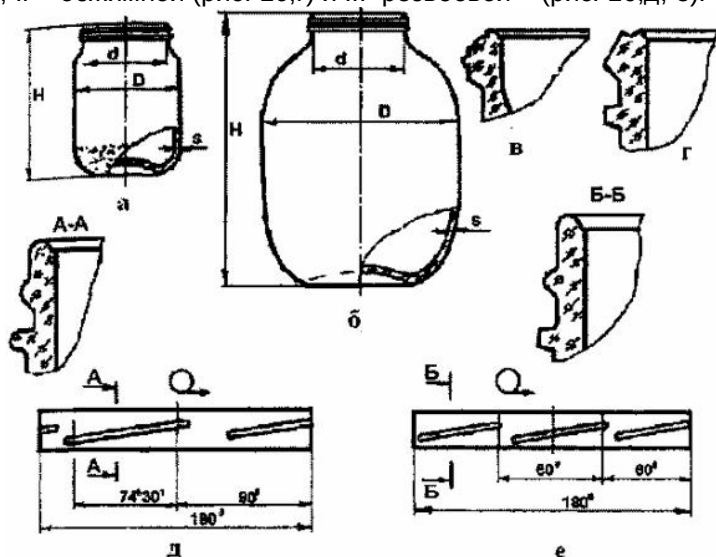


Рис. 10. Стандартные стеклянные банки для консервов (ГОСТ 5717-81)

Основные размеры, вместимость и масса банок приведены в табл. 2. Венчики типа I (см. рис. 7,в) и типа II (см. рис. 7,г) выполняются на горловинах наружным диаметром 58,68, 82 и 100 мм, венчики типа III - на горловинах диаметром 58 и 66 мм (см. рис. 7,д) и на горловинах диаметром 82 мм (см. рис. 7,е). Изготавливаются эти банки из обесцвеченного и полубелого стекла, но при этом могут иметь слабый зеленоватый или голубоватый оттенки. На нижней части корпуса банок на расстоянии 15-25 мм от дна допускается нанесение насечки неопределенного рисунка глубиной 0,1-0,2 мм. Банки должны быть хорошо отоженными, а также термически стойкими, выдерживающими без растрескивания перепады температур от 40 до 100°С. По прочности банки должны выдерживать в течение 5 с следующее внутреннее гидравлическое давление:

- вместимостью до 1000 см³ – не менее 0,5 МПа;
- вместимостью до 5000 см³ – не менее 0,35 МПа;
- вместимостью до 10000 см³ – не менее 0,3 МПа.

Таблица 2

Стандартные стеклянные банки для консервов (ГОСТ 5717-81)

Вместимость, см ³		Размеры, мм					Масса 100 шт., кг, не более
номинальная	полная	Венчика горловины	H	D	d	δ	
100	130±3	58	65 - 1	64-1	54	1,7	11
200	225±7	58	100-1	64-1	54	1,7	15
350	385±10	66	125-2	72-1	64	2,0	18
350	385±10	68	125-2	72-1	64	2,0	18
350	385±10	82	88-1	89-2	78	2,0	19
500	560±15	82	118-2	89-2	78	2,0	25,5
650	710±15	82	141-2	89-2	78	2,0	30
800	865±15	82	164-2	93-2	78	2,2	33
1000	1060±20	82	162-2	105-2	78	2,2	41
2000	2080±30	82	207-3	133-2	78	2,5	75
3000	3200±50	82	236-3	154-2	78	2,7	96
5000	5200±100	82	286-3	172-2	78	3,0	130
5000	5200±100	100	286-3	172-2	96	3,0	135
10000	10300±150	82	380-3	220-2	78	3,0	240

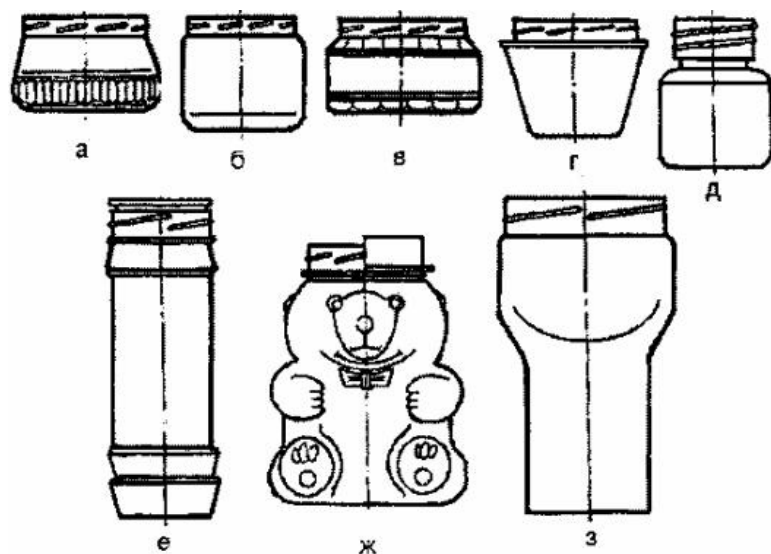


Рис. 11. Декоративные стеклянные банки

Стандартные банки являются массовой многооборотной тарой, используемой главным образом для консервирования плодово-овощных и других продуктов питания, а также для упаковывания пищевой и некоторых видов химической и фармацевтической продукции.

В условном обозначении стандартных банок указываются тип и диаметр венчика, а также вместимость банки и номер стандарта. Например: Банка 1-82-500 ГОСТ 5717-81.

Декоративные стеклянные банки по своему художественному исполнению часто взаимосвязаны с упаковываемой продукцией, несут в своем оформлении элементы фирменного стиля производителя товара и применяются в качестве одноразовой упаковки, выполняющей дополнительно функции по рекламе товара и защите его от подделки. На рис. 11 приведены в качестве примера некоторые исполнения декоративных стеклянных банок, применяемых для упаковывания деликатесных пресервов и икры (рис. 11, б, в, г), паштетов и конфитюров (рис. 11,а), меда (рис. 11,ж), шоколадной пасты (рис. 11,з), молотых пряностей (рис. 11,е), а также фармацевтической продукции (рис. 11,д). Такая тара с пищевой продукцией бывает иногда настолько красива, что может служить и дополнительным элементом сервировки стола.

Ампулой (лат. ampulla) называется разовая потребительская тара с цилиндрическим корпусом и вытянутой узкой горловиной, герметично завариваемой после наполнения продукцией, с плоским или выпуклым дном.

Наиболее широко в настоящее время ампулы применяются для упаковывания и хранения в стерильном состоянии лекарственных препаратов, предназначенных для подкожного, внутримышечного и внутривенного введения, а также сывороток, вакцин, орвано- и биопрепаратов. Применяются ампулы также для упаковывания различных реактивов и особо чистых веществ, некоторой эфирно-масличной и другой продукции. Изготавливаются ампулы в разнообразных конструктивных исполнениях (рис. 12, а-д) из различных видов стекла. Ограниченное применение находят ампулы, выполненные из полиэтилена и других видов пластмасс. В ампулах различают цилиндрический корпус 1 (рис. 12,б), плоское или выпуклое сферическое дно 2, узкую вытянутую часть, называемую стеблем 3, и горловину 4.

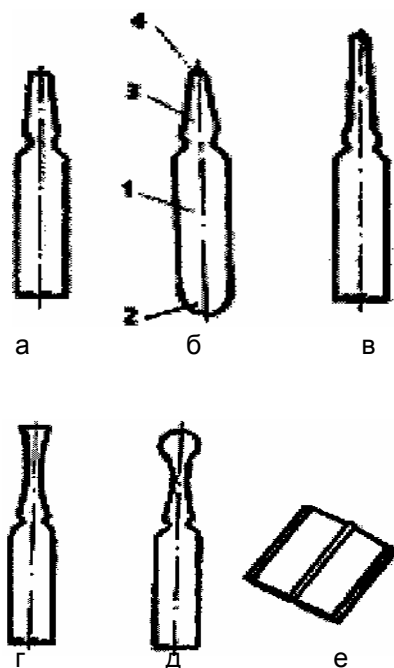


Рис.12. Конструктивные исполнения ампул (а-д) и скарификатора (е):
1 – корпус ампулы; 2 – дно; 3 – стебель; 4 – горловина

Стеклянные ампулы изготавливаются вместимостью от 0,1 до 30 см³ и более из прозрачного кварцевого стекла, а также прозрачного и темного химико-лабораторного и других видов стекла. Качественные характеристики стеклянных ампул в основном такие же, как и у стеклянных пробирок. В фасовочно-укупорочных автоматах после наполнения ампул продукцией их горловины сразу же оплавляются факелом газовых горелок и герметично завариваются с производительностью от 200 до 300 штук в минуту.

Для откупоривания ампул на стебле их горловины скарификатором производится поперечный кольцевой надрез материала, и по линии надреза верхняя часть стебля с заваренной горловиной обламывается.

По размерам горла стеклянную тару разделяют на узкогорлую и широкогорлую.

Наиболее распространенной группой узкогорлой тары являются бутылки для розлива и хранения пищевых жидкостей: вина, водки, водочных изделий, пива, безалкогольных напитков, минеральных вод, ликеров, настоек, наливок, растительного масла, консервированных продуктов, соков и т.д. Бутылки вырабатывают разной емкости – от 0,25 до 3 л, разных размеров и форм. В огромном количестве изготавливают узкогорлую медицинскую и аптекарскую стеклянную тару для хранения и отпуска медикаментов (так называемые материальные и рецептурные склянки) емкостью от 0,1 до 0,5 л. Меньше, но более разнообразного ассортимента вырабатывают узкогорлую стеклянную тару для парфюмерной продукции (духи, одеколон).

Помимо указанных выше трех групп узкогорлой стеклянной тары, имеющей определенное целевое назначение, различные виды узкогорлой тары вырабатывают и для хранения и отпуска других веществ: клея, жидких спиртовых полирующих веществ (политур), бензина, эфира, жидких масел и др., поступающих в продажу в мелкой расфасовке.

Широкогорлая стеклянная тара также широко применяется в промышленности, но не для хранения и транспортировки полужидких и твердых веществ, а главным образом для длительного хранения пищевых продуктов – консервов. Основными видами широкогорлой стеклянной тары являются консервные банки разной емкости и размеров, начиная от 0,25 до 3,0 л, аптекарская посуда (широкогорлые материальные и рецептурные банки) разной емкости, от 1 г до нескольких килограммов. Кроме того, вырабатывают банки хозяйственные стеклянные для хранения варенья емкостью от 0,75 до 4,5 л или – в весовом исчислении – от 1 до 6 кг, банки

хозяйственные стеклянные для хранения солений емкостью 6 и 8 л, банки хозяйственные высокогорлые для варенья, меда и других продуктов емкостью 0,370 л.

К широкогорлой таре относятся также химические бутылки для розлива и хранения кислот. В очень больших количествах вырабатывают тару для хранения и отпуска пастеризованного молока и сливок, кефира и простокваши емкостью от 0,25 до 1,0 л. Этот вид стеклянной тары многие относят к узкогорлой. Вообще узкогорлую и широкогорлую стеклянную тару различают по внутреннему диаметру горла. Если стеклянная тара имеет горло, внутренний диаметр которого менее 30 мм, то ее определяют как узкогорлую, в противном случае – как широкогорлую. Однако в бутылках для пастеризованного молока и сливок нижний внутренний диаметр горла равен 28 ± 1 мм, а верхний внутренний диаметр горла $32,5 \pm 1$ мм. Следовательно, если исходить из указанного выше признака определения вида стеклянной тары, то такую бутылку можно отнести как к узкогорлой, так и к широкогорлой стеклянной таре.

В настоящее время вырабатывают и другие виды стеклянной тары, но в сравнительно небольших количествах, строго определенного назначения, например бутылки для уксусной эссенции емкостью 100 г, которые имеют строго определенную трехгранную форму. Поверхность двух больших граней изготавливается негладкой (чеканной), а поверхность третьей грани гладкая. На одной из граней с негладкой поверхностью нанесены параллельно основанию выпуклые линии, делящие бутылку на пояса, номинальная емкость каждого из которых 20 г. На малую грань бутылки нанесены в виде выпуклых линий, параллельных основанию бутылки, деления; емкость этих меньших поясов 5 г. Изготавливают и узкогорлые бутылки для гематогена емкостью 0,25 л из полубелого стекла и т.д.

Особую группу широкогорлой тары составляют прессованные изделия, предназначенные для хранения и транспортировки полутвердых веществ. В эту группу входят некоторые виды консервной тары (баночки для икры, сельди и др.), баночки для мазей и кремов, банки для сапожных кремов и т. п.

Вырабатывают тару из обесцвеченного, полубелого, темно-зеленого, оранжевого и различно окрашенного стекла в зависимости от ее назначения. Широкогорлую тару для пищевых продуктов изготавливают из обесцвеченного или полубелого стекла и используют для розлива молока и молочных продуктов и для разнообразных консервов и соков. Узкогорлую тару для пищевых жидкостей выпускают из обесцвеченного стекла (для высших сортов водки, коньяка, наливок и настоек), из полубелого стекла (для водки, рас-

тительных масел, безалкогольных напитков, соков), из темно-зеленого (для виноградных и плодово-ягодных вин, шампанского, пива) и оранжевого стекла (для пива и минеральных вод).

Флаконы для парфюмерно-косметических изделий выпускают обесцвеченными, полубелыми и цветными. Для химических реактивов используют обесцвеченное, полубелое, полужелтое и оранжевое стекло. Слянки и банки для медикаментов изготавливают из медицинского полубелого или обесцвеченного, а также из нейтрального и светозащитного стекла.

4.2. Состав тарного стекла

Составы стекол для выработки стеклянной тары зависят от способов ее производства, особенностей технологического процесса производства и требований, предъявляемых к изделиям.

Комплекс физико-химических свойств, необходимых для стеклотары, достигается в основном при использовании стекол щелочесиликатного состава. Отдельные виды стеклотары медицинского назначения изготавливаются из боросиликатного стекла.

Составы тарных стекол должны обеспечить достаточную механическую прочность, термическую устойчивость и светозащитную способность, необходимые для успешной эксплуатации стеклотарных изделий. Кроме того, составы тарных стекол должны обладать хорошими технологическими свойствами для обеспечения высокой производительности стеклоформирующих машин.

Наблюдаются некоторые различия в составах стекол для машин с вакуумным и капельным питанием. Как правило, стекла для машин с вакуумным питанием содержат больше щелочноземельных и меньше щелочных оксидов. Содержание щелочных оксидов увеличивается при выработке на выдувных автоматических машинах мелкой стеклотары (емкостью до 200 мл), а также стеклотары с мелкой резьбой под винтовой колпачок.

Тарные стекла, кроме основных компонентов SiO_2 , CaO и Na_2O , должны содержать в небольших количествах Al_2O_3 и MgO , благоприятно влияющие на основные свойства стекол. Содержание MgO в стекле может быть доведено до 3,0–3,5%. Содержание Al_2O_3 в стекле, вырабатываемом на автоматах с капельным питанием, может быть доведено до 3–4%, а в стекле, вырабатываемом на вакуумных автоматах, – до 5–7%. Вместе с тем вакуумные автоматы могут вырабатывать стекло состава, предназначенного для машин с капельным питанием.

В некоторых видах тарного стекла может присутствовать в сравнительно небольшом количестве и Fe_2O_3 . Стеклотара, получаемая из полубелого и зеленоватого стекла, может содержать от 0,15 до 0,3% и выше Fe_2O_3 . Кроме того, значительную часть винных и пивных бутылок, а также бутылок для минеральных вод изготавливают из окрашенного стекла, в котором содержание оксидов железа практически не ограничено и может быть в пределах 1,5-2,5%. Для окраски в такое стекло вводится до 2,0-2,5% MnO .

Значительно меньшее количество стеклянной тары (главным образом для нужд парфюмерии) вырабатывают из обесцвеченного стекла, содержащего менее 0,1% Fe_2O_3 . При варке такого стекла рекомендуется 2-3% Na_2O заменить на K_2O , а в стекло, предназначенное для парфюмерных шлифованных флаконов, полезно вводить до 1% BaO .

Благоприятно влияет на физико-химические и выработочные свойства стекла введение в его состав до 1% V_2O_5 . Содержание SO_3 в стекле не должно превышать 0,5%.

Для выработки тарного стекла обычно рекомендуется несколько составов стекла. Некоторое весьма ограниченное количество стеклянной тары вырабатывают на полуавтоматах ВШМ и ВВ-2, где технологический процесс выдувания более длителен, стекло сравнительно долго находится в соприкосновении с металлом форм, и поэтому оно должно быть более длинным. Состав такого стекла примерно следующий (%): ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$) – 74-75,5, RO – 10-11,5 и R_2O – 14,0-14,5.

При работе на автоматах с капельным питанием в стекле должно быть повышено содержание щелочей за счет содержания основных оксидов с тем, чтобы избежать возникновения кристаллизации стекла в питателях. Так, для выработки бутылок рекомендуется стекло следующего состава (%): ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$) – 74-76, RO – 9-10 и R_2O – 15-16. Для выработки широкогорлой тары на прессовых машинах применяют другое стекло: ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$) – 74,6-75,0, RO – 8,5-8,7 и R_2O – 16,5-16,7%.

При работе на вакуумно-выдувных машинах, где стекломасса непосредственно засасывается в черновую форму из печи, рекомендуется использовать стекло следующего состава (%): ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$) – 75-76, RO – 11-13, R_2O – 12-13 (при вакуумном питании непосредственно из печи создаются более благоприятные условия работы автоматов, так как исключена опасность зарухания стекла при наборе стекла).

Стеклянную тару (бутылки, банки, флаконы) применяют в пищевой, медицинской, химической и парфюмерной промышлен-

ности, поэтому тарные изделия, особенно флаконы и бутылки малой емкости (50-100 мл), должны быть химически и термически стойкими и прочными. На внутренней поверхности изделий не допускаются открытые пузыри и посечки, образующие осколки и стеклянную пыль. Изделия должны вырабатываться из однородного стекла, иметь равномерную толщину стенок и дна, точный вес и размеры; горло изделий не должно иметь заусенцев, выступающих швов, острого края, посечек, заколов. Все эти требования изложены в ГОСТ 1103–55 и 10117–62 на бутылки, 5717–51 на широкогорлую стеклянную тару и в ТУ на аптекарскую посуду.

Применяют следующие составы стекол (%): для полубелой консервной тары $\text{SiO}_2 - 73$; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 - 3-3,5$; $\text{CaO} + \text{MgO} - 10$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - 14,5$; $\text{SO}_3 - 0,3$; $\text{F} - 0,5$ (сверх 100%); для зеленых бутылок $\text{SiO}_2 - 68,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 4$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,3$; $\text{Mn}_3\text{O}_4 - 1,2$; $\text{CaO} + \text{MgO} - 10,3$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - 14,5$; $\text{SO}_3 - 0,2$.

На отечественных предприятиях, выпускающих бутылки из зеленого стекла, осуществляется переход с железосодержащих стекол на хромсодержащие, которые обладают интенсивной полосой поглощения в области 450 нм, что улучшает их светозащитные свойства. В то же время высокая пропускная способность в инфракрасной области спектра улучшает их теплопрозрачность, что положительно влияет на процессы варки и формования. Переход на хромсодержащие составы стекол может быть осуществлен в процессе эксплуатации стекловаренной печи и стеклоформирующих машин. Для ввода оксидов хрома может быть использован краситель на основе электрометаллургических шлаков.

В зарубежной практике при формировании узкогорлой стеклотары прослеживается тенденция к снижению в составе стекла количества MgO до 0,8-1,5%. Уменьшение содержания MgO в составе тарного стекла снижает склонность стекломассы к кристаллизации в температурном интервале формования, что особенно заметно в составах с повышенным содержанием Al_2O_3 .

При варке бесцветного стекла широко практикуется замена Na_2O до 3% на K_2O . Использование такой замены создаёт в стеклах эффект двух щелочей, который позволяет добиться повышения химической устойчивости стекла и улучшения технологических свойств при повышенном содержании щелочных оксидов.

На технологические и эксплуатационные свойства стекол благоприятно влияет введение в состав B_2O_3 и BaO в количестве до 1% каждого. В сочетании с эффектом двух щелочей это даёт хорошие результаты.

4.3. Технологические процессы производства стеклянной тары

Производство стеклянной тары состоит из следующих процессов: обработки сырья, составления шихты, варки стекломассы, формования и отжига тары, первичной и декоративной её обработки.

Подготовка сырьевых материалов, приготовление шихты и режим варки тарного стекла ничем не отличаются от подготовки сырьевых материалов и варки качественного стекла любого другого назначения. Исключением может явиться только подготовка сырьевых материалов для отдельных видов стеклянной тары, когда не требуется специального обогащения сырьевых материалов от примесей железа.

Обработка сырья сводится к очистке песка и других компонентов от нежелательных примесей, тонкому измельчению и просеиванию материалов.

Приготовление шихты, то есть сухой смеси материалов, состоит в отвешивании компонентов согласно рецептуре и тщательном их перемешивании до полной однородности. Более прогрессивным методом является изготовление из шихты брикетов и гранул, при этом сохраняется однородность шихты, ускоряется варка.

Шихту при производстве тарных стекол готовят так же, как и при выработке листового стекла. Шихта полубелого и зеленого стекла составляется из необогащенных песков, а глинозем вводится с нефелиновым концентратом. Зеленые стекла окрашивают оксидами железа, марганца (вводимого марганцевой рудой), хрома. Шихта для обесцвеченной тары готовится из чистых сырьевых материалов. При варке тарных стекол, особенно зеленых бутылок, используют до 40% привозного обратного боя стекла, который имеет непостоянный химический состав и содержит загрязнения, поэтому его следует сортировать, промывать, дробить, анализировать и вводить в шихту как компонент по весу.

Варку стекломассы из шихты осуществляют в ваннах и горшковых печах при максимальной температуре 1450–1550°C. В процессе варки происходят сложные физико-химические превращения и взаимодействия сырьевых материалов с образованием и плавлением силикатов и свободного кремнезема. С помощью осветлителей стекломассу освобождают от газовых включений, тщательно перемешивают до достижения однородности по составу и вязкости.

Температуру варки стекла обычно устанавливают в пределах 1460–1480°C. Однако изменение температуры до 1500–1560°C

является важнейшим средством повышения производительности печей, а также улучшения качества изготавливаемого стекла. Опыт работы заводов, вырабатывающих стеклянную тару, показывает, что как колебания температурного режима, так и низкие температуры в отдельные периоды варки и выработки стекла вызывают изменения в потоках стекломассы и затягивание слоев застоявшегося стекла, отличного по своей вязкости от всей остальной стекломассы. Поэтому появляется неоднородность стекломассы, которая приводит к выработке тарных изделий с низкой механической и термической стойкостью.

Стекла, предназначенные для выработки стеклянной тары, обычно варят в ваннах печах непрерывного действия. Лишь в отдельных случаях для выработки парфюмерной посуды из высоко-сортного обесцвеченного или окрашенного стекла применяют горшковые печи. Размеры и конструкции стекловаренных печей для выработки стеклянной тары определяются количеством и цветом вырабатываемого стекла и способом выработки. При работе на полуавтоматах наиболее распространены печи с подковообразным пламенем. В случае выработки стеклянной тары механизированным способом – на автоматах – применяют печи с протоком. В последнее время в производстве тары получили распространение печи без рабочего бассейна, а также печи “прямого нагрева”. Суточная производительность тарных печей – до 150 т, удельная – до 1800 кг /м² варочного бассейна в сутки при температуре максимум 1530 °С и свыше 3000 кг/м² в сутки при температуре 1600 °С.

При нарушениях режимов обработки сырья, приготовления шихты и варки образуются дефекты стекломассы в виде нежелательных цветных оттенков и посторонних включений – стекловидных (свиль, шпир), газовых (пузырь, мошка) и кристаллических (камни).

Формование изделий из вязкой стекломассы. Формование – это процесс превращения стекломассы в изделия различного назначения. Стекло поддается различным способам формования. Процесс формования включает две последовательные стадии. Первая из них носит название *выработки*. К ней относятся процессы, в которых исходным материалом является стекломасса, а продуктом – готовое изделие или приближающийся к нему по форме полуфабрикат. Ко второй стадии, называемой *обработкой*, относятся процессы придания полученному в результате выработки полуфабрикату окончательной формы, улучшения его поверхности, украшения и т. д. Если при выработке сразу получается готовое изделие, то вторая стадия обработки не нужна. Таким обра-

зом, выработка и обработка представляют собой две последовательные стадии технологического процесса производства стеклоизделий, разделенные, как правило, во времени (причем между выработкой и обработкой осуществляется отжиг изделий). Однако на практике четко отделить выработку от обработки по признаку характера процесса не всегда удается. Поэтому к выработке относятся практически все те процессы, которые осуществляются непосредственно у стекловаренной печи, на верстаке. При этом различают основной процесс формования – собственно *разделку* стекломассы на изделия, и дополнительные операции, имеющие целью придать изделию окончательный вид и форму – *обделку* или *отделку*. Эта классификация является условной, но она имеет широкое распространение в практике ручного формования.

Процесс формования во времени характеризуется двумя стадиями: формообразованием и фиксацией формы. На стадии формообразования пластичной стекломассе придают необходимую форму изделия. Поведение стекломассы при этом определяется ее вязкостью, поверхностным натяжением, упругостью и характером изменения этих свойств с изменением температуры. На стадии фиксации форма изделия закрепляется в результате твердения стекломассы, характер которого обусловлен видом стекла и способом его охлаждения.

Интервал температур, при которых стекло отформовывают, называют интервалом формования или выработки. В этом интервале вязкость стекла изменяется от 10 до 10^8 Па·с, полностью изделие затвердевает при вязкости 10 Па·с. Температуры и вязкости, соответствующие выработке, зависят от состава стекла и способа формования. Так, вязкость при вытягивании листового стекла составляет $10^{3,5}$ Па·с, вязкость при выдувании тарных изделий – $10^{2,2}$, при прессовании – 10 Па·с. Скорость затвердевания, зависящая от состава и цвета стекла, определяет время формования и производительность выработки изделий.

Важную роль в процессе формования стекломассы играет ее поверхностное натяжение. Оно может оказывать положительное или отрицательное действие в зависимости от способа формования. Поверхностное натяжение играет большую роль при свободном формовании стекла, когда не применяется специальный формовочный инструмент. Так, во время выдувания полых изделий поверхностное натяжение, стягивая раздуваемую на конце стеклодувной трубки порцию стекломассы в шар, дает возможность получить без специальных форм “баночку” необходимых размеров (заготовку для вырабатываемых изделий). Тепло-

вой режим процесса формования должен быть таким, чтобы изделие до затвердевания успело приобрести окончательную форму и размеры.

В настоящее время наиболее распространёнными способами формования являются: прессование и прессовыдувание, выдувание, вытягивание, прокатка, формование на подложке из расплавленного металла, центробежное формование (табл. 3). Стекланную тару вырабатывают выдуванием и прессовыдуванием на полуавтоматах и автоматах.

Таблица 3

Характеристика способов формования

Способ формования	Температурный интервал формования, °С	Рабочий интервал вязкости, Па · с	Вырабатываемое изделие
Прессование	1050–650	$10^3 - 4 \cdot 10^7$	Стеклоблоки, линзы, плитки, экраны, изоляторы, посуда
Прессовыдувание	1100–700	$10^3 - 4 \cdot 10^7$	Консервные банки, молочные бутылки и другая тара
Выдувание	1100–750	$5 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^6$	Бутылки различной вместимости, изделия сортовой посуды
Вытягивание	1050–700	$10^3 - 10^7$	Листовое стекло, стеклотроты, трубы
Прокатка	1150–800	$10^2 - 10^6$	Полые стеклянные изделия, конусы для электронно-лучевых трубок
Формование на расплаве металла	1200–700	$10^3 - 10^7$	Листовое стекло

Выдувание – широко распространенный способ изготовления полых изделий разнообразной формы и назначения. При свободном выдувании стекломасса легко раздувается в виде пузыря благодаря вязкости и поверхностному натяжению. Если стекломассу раздувать внутри замкнутой формы, то раздуваемый пузырь принимает конфигурацию внутренней полости формы. В этом и

закключается выработка стеклянных изделий способом выдувания. Этим способом можно получать тонкостенные изделия, которые нельзя получать способом прессования.

Различают ручной способ выдувания и механизированный (капельный или вакуумный) (рис. 12). Ручное выдувание осуществляют стеклодувной трубкой. В течение долгой истории стеклоделия выдувание производилось ртом, в настоящее время сконструированы и применяются «трубки-самодувки». Процесс выдувания состоит из следующих операций:

- набор стекломассы на конец стеклодувной трубки, предварительно нагретой до температуры прилипания;
- закатка порции стекла на металлической плите и выдувание «баночки»;
- набор на «баночку» необходимого для выработки изделия количества стекломассы и раздувание так называемой «пульки», приближающейся по конфигурации к окончательному изделию;
- окончательное выдувание изделия заданной конфигурации.

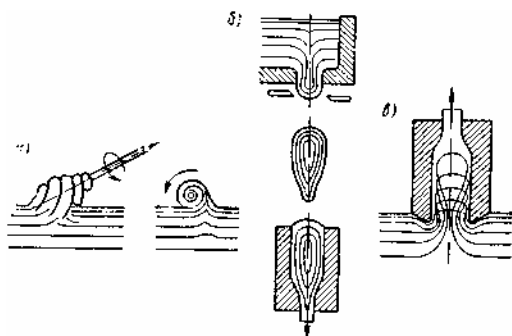


Рис. 12. Схемы способов набора стекломассы из ванны печи:

- а – ручной набор; б – капельное питание;
в – всасывание (вакуумное питание)

Механизированный способ производства заключается в изготовлении изделий посредством их выдувания сжатым воздухом на стеклоформирующих машинах.

Расплавленное стекло самотеком проходит через очко фидера, механические ножницы, отрезают капли стекломассы синхронно с потоком массы и работой стеклоформирующего автомата (рис. 13).

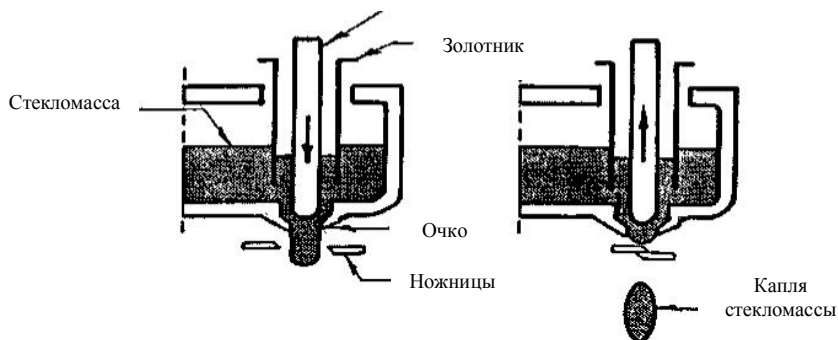


Рис. 13. Образование капли стекломассы методом выдувания сжатым воздухом

Из каждой капли формируется одно изделие. Ускорение производственного процесса обеспечивается использованием обычно 6-, 8- или 10-секционных автоматов, производящих одновременно соответствующее количество бутылок. Каждая форма имеет номер, которым маркируются бутылки, что позволяет при обнаружении дефекта определить его причину.

При формировании изделий, например бутылок, процессы осуществляются в следующей последовательности (рис. 14).

1. Капля стекломассы попадает в сомкнутую черновую форму через специальную воронку, причем черновая форма образует заготовку бутылки дном вверх.

2. Сжатый воздух подается в форму и происходит оформление горла заготовки.

3. Далее, под воздействием давления воздуха, стекломасса приобретает начальную форму бутылки так называемую пульку.

4. После завершения формообразования черновая форма размыкается и пулька с поворотом на 180° переносится держателем в разомкнутую чистовую форму.

5. Чистовая форма смыкается и пулька под давлением сжатого воздуха принимает форму бутылки, которая после охлаждения и раскрытия формы поступает на отжиг.

Размеры изделий зависят от количества набранного стекла, а толщина стенок – от соотношения веса набора и объема формы, от температуры (вязкости) стекла и давления воздуха. Для получения равномерной толщины стенок и гладкой поверхности изделия при выдувании вращают.

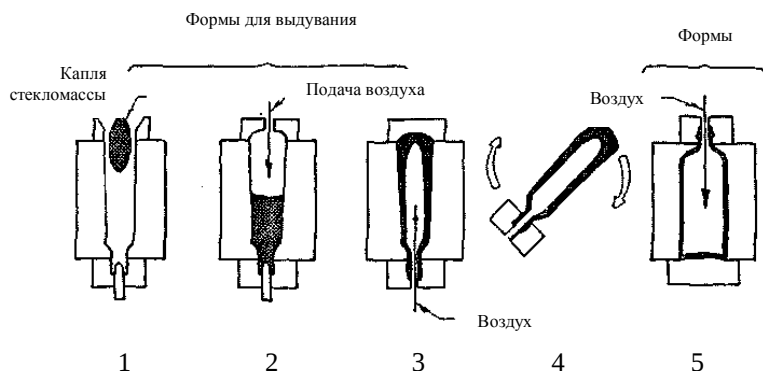


Рис. 14. Формование бутылок методом выдувания

Механизированным способом вырабатывают полые изделия различной конфигурации. Это, прежде всего, узкогорлые (диаметр горла до 30 мм) толстостенные изделия диаметром 15-160 мм, высотой 25-370 мм, вместимостью 15-4000 мл – пищевая, медицинская, парфюмерная, химическая и другая тара. Этим же способом вырабатывают большинство изделий бытовой посуды и художественного стекла (стаканы, блюдца для чая и варенья, рюмки, фужеры, бокалы, вазы).

Прессовыдувание – способ формования изделий из стекла, осуществляемый путем предварительного прессования стекломассы пуансоном на первой стадии технологического процесса и выдувания на второй стадии, то есть прессовыдувной способ состоит из комбинации двух процессов: прессования и выдувания. Этот способ применяется в машинном производстве широкогорлой стеклянной тары (банки различных типов с диаметром горла более 30 мм), однако за последние годы его стали применять и для выработки узкогорлой тары.

Предварительная заготовка и формование горла изделия производятся при этом способе прессованием (в черновой форме), а остальная часть изделия – выдуванием (в чистовой форме), то есть черновая форма оформляет горло (часть бутылки, принимающую укупорочное средство) и частично корпус, в чистовой форме окончательно завершается формообразование изделия.

Сущность этого способа формования заключается в следующем (рис. 15). Капля стекломассы подается в черновую форму 3 (позиция I), на которой сверху расположено закрытое горловое кольцо 2, состоящее из двух половинок, соединенных шарниром. Пуансон 1 в это время находится в верхнем крайнем положении.

Затем пуансон опускается в крайнее нижнее положение и прессует “баночку” (позиция II). После завершения прессования пуансон возвращается в первоначальное верхнее положение, а “баночку” с горловым кольцом передают в чистовую форму 5 с поддоном 6 (позиция III). К горловому кольцу подводят дутьевую головку 4, через которую подается сжатый воздух, раздувающий “баночку” до плотного прижатия ее стенок ко всей поверхности чистой формы (позиция IV). Затем дутьевую головку и горловое кольцо переводят в первоначальное положение, обе половины чистой формы разводят, и готовое изделие оказывается свободно стоящим на поддоне формы.

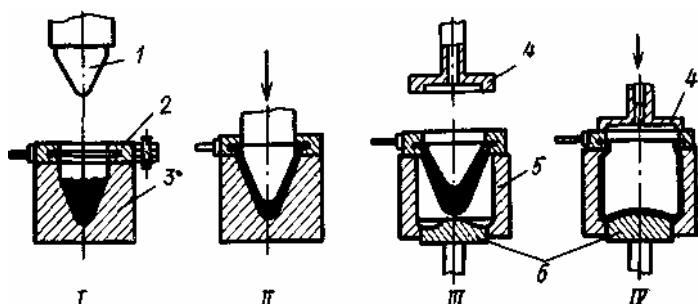


Рис. 15. Схема прессовыдувного способа формования:
1 – пуансон; 2 – горловое кольцо; 3 – черновая форма;
4 – дутьевая головка; 5 – чистовая форма; 6 – поддон

Данная схема – основа конструкции ряда прессовыдувных машин, получивших широкое распространение в промышленности (2ПВМ-12, 2ПВМ-3, JS-6-2 и др.). На прессовыдувных машинах вырабатывают стеклянные консервные банки различной вместимости для пищевой промышленности, а также химическую, медицинскую и другую стеклотару, изделия сортовой посуды (стаканы). Прессовыдувной способ обеспечивает равномерное распределение стекла в готовом изделии, позволяет изготавливать легкую стеклотару.

Изготовление стеклянных консервных банок отличается тем, что в черновой форме пуансоном отпрессовывается заготовка банки и при помощи горлового кольца при этом формируется её горловина. Пуансон отводится, и заготовка горловыми кольцами переносится в чистовую форму, куда через дутьевую головку подаётся сжатый воздух для окончания выдувного формования банки.

Отжиг – это такая термическая обработка изделий, при которой внутренние остаточные напряжения удаляются или снижа-

ются до допустимых пределов, зависящих от условий эксплуатации изделий, то есть отжиг отформованных, еще горячих изделий служит для предотвращения возникновения в них внутренних неравномерных напряжений, появляющихся при быстром охлаждении на воздухе и вызывающих самопроизвольное растрескивание стекла.

В процессе формования изделий из стекла и их охлаждения между поверхностными и внутренними слоями возникает некоторая разность температур, связанная с низкой теплопроводностью стекла. При быстром охлаждении нагретого стекла, наружные слои его остывают быстрее, чем внутренние. В результате неравномерного остывания поверхностных и внутренних слоев в стекле возникают напряжения сжатия и растяжения. Скорость исчезновения напряжений обратно пропорциональна вязкости среды. Когда процесс охлаждения полностью закончится и температура различных слоев стекла выровняется, напряжения, возникшие в момент охлаждения, либо исчезают, тогда они называются временными, либо остаются, тогда они называются остаточными (постоянными). Остаточные и временные напряжения возникают в стекле в результате его перехода из пластичного состояния в хрупкое, то есть когда частицы стекла постепенно теряют свою подвижность. Чем быстрее происходит охлаждение и чем толще изделие, тем больше разность температур между поверхностными и внутренними слоями и тем, следовательно, выше остаточные напряжения в стекле.

При очень медленном охлаждении изделий разность температур между поверхностными и внутренними слоями стекла значительно уменьшается, и остаточные напряжения становятся очень малыми.

Остаточные напряжения возникают и не исчезают при дальнейшем охлаждении хрупкого стекла при любой скорости охлаждения. Они могут исчезнуть лишь после вторичного нагрева стекла до температуры, при которой частицы стекла вновь становятся подвижными и возможны пластические деформации.

Временные напряжения возникают в процессе дальнейшего охлаждения уже хрупкого стекла, когда подвижность частиц стекла практически равна нулю, но разность температур между поверхностными и внутренними слоями еще существует. После устранения разности температур временные напряжения исчезают. Как временные, так и остаточные напряжения в изделиях нежелательны. Остаточные напряжения, как правило, служат причиной разрушения изделий при механической обработке последних или воздействия на них внешних нагрузок.

Если быстро охлаждать лишенное напряжений стекло, начиная с температур, при которых стекло обладает хрупкими свойствами, то с какой бы скоростью ни охлаждали изделие, остаточных напряжений в нем не будет.

Остаточные напряжения не могут возникнуть также в том случае, когда изделие охлаждается очень медленно. Временные напряжения при значительной величине вызывают немедленное разрушение изделия, тогда как значительные остаточные напряжения могут быть причиной как немедленного разрушения изделий, так и его разрушения по истечении некоторого времени.

В практике стеклоделия временные напряжения редко бывают причиной разрушения изделий, так как с устранением перепада температур они исчезают. Чаще всего изделия разрушаются от возникновения остаточных напряжений. Для получения надежного в эксплуатации изделия не обязательно полностью устранять остаточные напряжения. Достаточно ослабить их до определенных норм, которые задаются стандартами и техническими условиями в зависимости от вида, назначения изделий и условий их работы.

Отжиг сводится к выдерживанию изделий в течение некоторого времени при температуре, близкой к температуре размягчения стекла, и к последующему медленному охлаждению их по определенному режиму.

Для каждого вида стекла в зависимости от его конфигурации и химического состава устанавливают свой режим отжига. Чтобы установить режим отжига, нужно определить две его крайние точки, то есть тот интервал температур, внутри которого уменьшаются и исчезают остаточные напряжения. Этот интервал, называемый зоной отжига, ограничивается высшей и низшей температурами отжига. Высшая температура отжига соответствует температуре перехода стекла из пластического состояния в хрупкое. Высшей температуре соответствует вязкость 10 Па·с. При этой температуре напряжения в стекле уменьшаются в 10 раз за 5 мин.

Для большинства промышленных стекол обычного химического состава высшая температура отжига 520–600°C.

Низшая температура отжига – температура, ниже которой стекло можно охлаждать с любой скоростью, не опасаясь появления разрушающих напряжений. Низшая температура отжига соответствует вязкости 10^{14} Па·с. При низшей температуре отжига напряжения уменьшаются в 100 раз медленнее, чем при высшей. Теоретически низшая температура отжига должна быть ниже высшей на 50–60°C, однако практически для большей безопасности ее принимают на 70–100°C ниже высшей.

Для большинства промышленных стекол низшая температура отжига 450–480°C. Увеличение содержания в стеклах SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO повышает температуру отжига, а увеличение PbO , Na_2O , K_2O понижает ее.

Отжиг производится в отжигательных печах-лерах типа ЛН-1000Х18 непрерывного или периодического действия. Лер представляет собой оснащённую регулятором температуры туннельную печь длиной 30 м, внутри которой изделия, перемещаясь на проволочной сетке (ленте) конвейера со скоростью примерно 200–300 мм в минуту, проходят все стадии отжига. Температура стекла сначала повышается до 560°C, а затем постепенно снижается до 60°C на выходе из лера. При этом все внутренние напряжения доводятся до безопасных уровней. Если отжиг стекла не проведен в соответствии с установленными требованиями, то оно останется хрупким и разобьется при транспортировании или на линии розлива. Хороший отжиг обеспечит изделию стойкость к тепловым перепадам.

Закалка стекла – операция, обратная отжигу, – это процесс термической обработки, при котором в результате нагрева и резкого охлаждения в стеклоизделии искусственно создаются значительные равномерно распределенные остаточные напряжения. В результате закалки получается небьющееся стекло, механическая прочность которого в 4–6 раз выше, чем прочность отожденного.

Нагревание – самая ответственная стадия в процессе закалки, так как стекло нагревается до температуры, при которой оно переходит в пластическое состояние, но при этом не изменяет своей первоначальной формы и размеров. Температура нагрева стекла должна быть одинаковой по всей его поверхности как с одной, так и с другой стороны. Режим нагревания в значительной степени зависит от толщины изделия. Чем толще стекло, тем больше времени необходимо для его нагревания. После нагревания стеклоизделие резко охлаждают воздухом в течение 2–3 мин.

Температура, при которой полностью исчезают напряжения, считается температурой закалки. Температура закалки зависит от химического состава стекла: при повышении содержания SiO_2 и Al_2O_3 она увеличивается, при увеличении содержания Na_2O , K_2O , PbO – снижается. Для закаливания стекло разогревают выше температуры размягчения, а затем быстро охлаждают в струях воздуха. При охлаждении первыми затвердевают поверхностные слои стекла. При остывании более глубоких внутренних слоёв в уже остывших поверхностных слоях возникают остаточные напряжения сжатия, которые обеспечивают стеклу механическую

прочность (оно в 5-7 раз прочнее обычного стекла на изгиб и удар) и термостойкость (появляется возможность использовать стекло даже в таких местах, как сауны и бани).

Обработка. Некоторые виды стеклянной тары после отжига дополнительно обрабатывают: притирают стеклянные пробки, шлифуют, матируют. Притирка пробок необходима для тех видов стеклянной тары, которые используют для герметической укупорки. Пробки притирают вручную на притирочных станках.

Парфюмерную стеклотару шлифуют и полируют с целью укрощения и облагораживания ее внешнего вида. Шлифуют в две стадии: собственно **шлифование** – обработка поверхности при помощи крупнозернистого абразива (песка с водой), иногда сначала крупного, а затем мелкого на чугунном диске-шайбе диаметром 400 мм, толщиной около 150 мм, вращающейся в горизонтальной плоскости на вертикальной оси со скоростью 400 об./мин; и **дистировка** – обработка поверхности при помощи тонкозернистого абразива, обычно на каменной шайбе (плоском каменном диске) диаметром около 500 мм и толщиной около 200 мм, вращающейся на вертикальной оси со скоростью 300–400 об./мин.

Полирование является последней стадией наиболее тонкой обработки изделия, в процессе которой сглаживаются микронеровности поверхностей, остающиеся после дистировки. В качестве полирующего материала используют тонкие порошки пемзы или крокуса, а полировальником служат мягкие материалы: пробка, корка, войлок и др., имеющие форму плоских дисков. Чаще всего применяют пробковые диски диаметром 500 мм, толщиной 80 мм, делающие 800–1000 об./мин.

Матирование поверхности парфюмерной стеклотары осуществляют химическим и механическим способами. Химический способ основан на действии на стекло плавиковой кислоты и ее солей, он дает лучшую матовую поверхность, но дороже. Если матовой должна быть не вся поверхность флакона, то нужные грани матовой поверхности полируют.

При механическом способе поверхность парфюмерной стеклотары обрабатывают струей сухого, предварительно просеянного через мелкое сито кварцевого песка, выбрасываемого через пескоструйную форсунку, сходную с нефтяной, сжатым воздухом под давлением 2–2,5 атм. Пескоструйную обработку производят в закрытом шкафу с отсосом из него пыли; наблюдают за работой через смотровое стекло. Для нанесения рисунка на флакон надевают трафарет из листовой резины или листового железа. В настоящее время в промышленности используют гидropескоструйные полуавтоматы карусельного типа.

Упрочнение. Пониженная прочность стеклянных изделий вызывается присутствием в них разрушающих напряжений, особенно опасных при их неравномерном распределении в стекле. Кроме того, в процессе производства стеклоизделий их прочность значительно ухудшают повреждения на поверхности (царапины, микротрещины). Поэтому прочность изделий можно повысить, прежде всего, отжигом, снижающим остаточные напряжения, а также возможным улучшением химической и физической однородности стекломассы. Кроме того, применяются и активные способы упрочнения стеклоизделий. Одни способы упрочнения заключаются в ослаблении влияния дефектов поверхности стекла, вплоть до полного удаления поврежденного поверхностного слоя. Другие способы упрочнения состоят в изменении напряжений в стекле таким образом, что получается новое распределение сжимающих и растягивающих напряжений, способствующее повышению прочности изделий.

Нанесение на стеклоизделия защитно-упрочняющих покрытий – наиболее распространенный способ повышения эксплуатационной надежности изделий и снижения потерь. Для этих целей используют неорганические, органические и кремнийорганические покрытия, которые значительно изменяют свойства поверхности стекла и улучшают механические характеристики изделий. При этом гидрофобность поверхности увеличивается в 3-5 раз, что уменьшает разупрочняющее действие поверхностно-активных сред и, прежде всего, влаги воздуха. Кроме этого, поверхность стеклоизделий сохраняется от абразивного воздействия различных частиц слоем толщиной до 1 мкм (оксидно-металлические и кремнийорганические покрытия), что повышает прочность стекла.

В качестве соединений для получения оксидно-металлической пленки могут быть использованы хлориды олова, титана, калия, алюминия. Широко распространенным видом оксидно-металлических покрытий являются оксидно-оловянные, наносимые при воздействии паров SnCl_4 на горячую поверхность изделий. В результате пиролиза образуются оксиды металлов, которые проникают в поверхностный слой изделий и создают в нем напряжения сжатия. Кремнийорганические покрытия наносят на изделия путем распыления водных эмульсий кремнийорганических жидкостей при 150–200°C. Кремнийорганические соединения поверхностно-активны и хорошо смачивают стекло, легко проникая в микротрещины.

При охлаждении изделий жидкость полимеризуется, образуя на их поверхности сплошную твердую пленку, прочно соединенную

со стеклом. Защитно-упрочняющий эффект усиливается при нанесении комбинированных покрытий: в горячем состоянии изделия обрабатывают парами SnCl_4 , а в холодном – на них же наносят кремнийорганические или органические покрытия. Такая обработка поверхности изделий повышает прочность изделий на 20-30%.

Упрочнение стекла способом ионного обмена основано на обработке изделий из стекла с достаточным содержанием оксида щелочного металла в расплаве соли другого щелочного металла. Процесс ионного обмена заключается в вытеснении ионов щелочных металлов из поверхностного слоя нагретого стекла ионами других щелочных металлов. Ионный обмен может быть низкотемпературным, высокотемпературным и комбинированным.

При низкотемпературном ионном обмене (температура расплава 420–500°C) щелочные ионы в поверхностном слое стекла замещаются щелочными ионами с большим ионным радиусом. При упрочнении в расплаве KNO_3 (время выдержки 1,5–4 ч) ионы Na^+ с радиусом 0,098 Нм замещаются ионами K^+ с радиусом 0,133 Å°. При этом структура поверхностного слоя уплотняется на глубину 30–40 мкм за счет большого размера ионов калия. Это приводит к образованию напряжений сжатия и, следовательно, повышению механической прочности стекла в 2–4 раза, термостойкости в 1,5–2 раза. При высокотемпературном ионном обмене (температура расплава 600–620°C) щелочные ионы в поверхностном слое стекла в противоположность низкотемпературному процессу замещаются щелочными ионами с меньшим ионным радиусом. Так, ионы Na^+ и K^+ стекла замещаются ионами лития из расплава Li_2SO_4 с ионным радиусом 0,068 Å°, которые проникают в стекло на глубину до 250 мкм. У силикатов лития меньший коэффициент термического расширения, чем у силикатов натрия и калия. Поэтому при охлаждении изделий поверхностный слой сокращается в меньшей степени, чем внутренние слои, следовательно, в нем возникают напряжения сжатия, которые приводят к увеличению механической прочности.

В связи с тем, что толщина сжатого слоя при высокотемпературном ионном обмене больше, чем при низкотемпературном, упрочнение в этом случае может быть 10–12-кратным. Упрочнение поверхностного слоя стекла может быть достигнуто также при совмещении высокотемпературного и низкотемпературного ионного обмена.

В последнее время процесс ионного обмена получил новое направление, основанное на использовании твердых ионообменных реагентов: на поверхность изделий после формования аэро-

зольным способом наносят водные растворы солей (KCl , KNO_3 , K_2SO_4 и др.). После испарения воды на поверхности изделий остается небольшой слой твердой соли. При отжиге изделий протекает процесс ионного обмена между поверхностью стекла и твердым реагентом, структура поверхностного слоя уплотняется на глубину 10–18 мкм, что приводит к повышению прочности и термостойкости изделий.

4.4. Стеклоформующие автоматы для производства стеклянной тары

Массовое производство стеклянной тары в настоящее время осуществляется на разных стеклоформующих автоматах.

Технологический режим работы стеклоформующей машины зависит от ее типа, и его устанавливают для каждой машины отдельно в зависимости от характера вырабатываемых на ней изделий. Общим для всех машин является следующее:

- рабочие органы машины должны быть отрегулированы так, чтобы они выполняли свои функции лишь в необходимой и достаточной степени;
- работа отдельных органов и всей машины в целом должна быть плавной, без резких толчков и рывков; холостой ход рабочих может быть быстрее и резче; рабочий ход – медленнее и плавнее;
- изделия необходимо вырабатывать в горячих формах.

По способу питания стекломассой различают стеклоформующие автоматы с капельным питанием и вакуумные автоматы.

Автоматы с капельным питанием имеют специальный механизм – капельный питатель, пристроенный к ванной печи; с его помощью порции стекла загружаются в стеклоформующий автомат. Капельный питатель (фидер) представляет собой отопливаемый канал, примыкающий к ванной печи и заканчивающийся чашей с отверстием и приставкой (очком) в дне. Над очком вверх и вниз перемещается огнеупорный цилиндр-плунжер, приводимый в движение синхронно со стекло-формующим автоматом и ножницами, отрезающими определенные порции (капли) стекломассы. Вокруг плунжера вращается огнеупорная труба – бушинг (позиция IV, рис. 16), перемешивающая стекломассу. Схема образования капли показана на рис. 16. В позиции I стекломасса вытекает через очко 3 естественной струей. В позиции II плунжер опускается и выдавливает стекломассу через очко. В позиции III он поднимается и оттягивает стекломассу вверх; при этом в струе образуется пере-

жим – “шейка”, по которому она и разрезается ножницами 5 с отделением капли стекла (позиция IV). Затем стекломасса вновь накапливается над очком и процесс повторяется.

На заводах наиболее распространены питатели МП-4, ПМ-211, ПМ-312, ПМ-221. Каждый из питателей имеет свои особенности, однако каждый из них в комплексе с тем автоматом, с которым работает, должен обеспечивать выдачу капель стекломассы в заданном количестве, определённого веса, формы и температуры. При этом конструкция питателя должна позволять регулировать вес и форму капель, обеспечивать равномерность капель стекломассы в определённых заданных пределах. В зависимости от диаметра очка, размера и характера движения плунжера они выдают капли разной формы и веса – от 15 г до 2 кг.

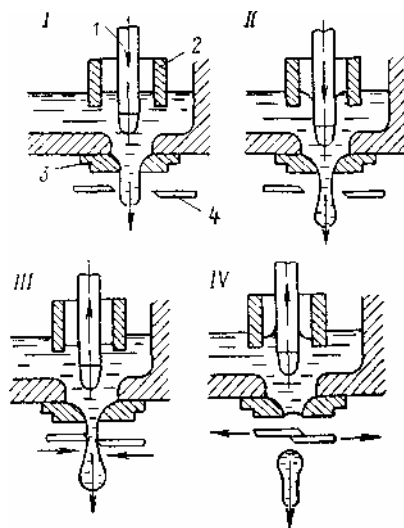


Рис. 16. Схема работы капельного питателя:
1 – плунжер; 2 – бушинг; 3 – очко; 4 – ножницы

Вакуумные автоматы набирают стекломассу в черновую (предварительную) форму непосредственно из ванной печи или из дополнительных приспособлений. В черновой же форме создается разрезание, достаточное для засасывания стекломассы.

По характеру привода автоматы также различаются. Автоматы, у которых механизмы получают движение от механического привода, называются механическими; те, у которых механизмы приводятся в движение сжатым воздухом, называются пневмати-

ческими. Имеются также автоматы смешанного типа, когда перенос форм (вращение столов, карусели) осуществляется от механического привода, а рабочие органы приводятся в движение сжатым воздухом.

По осуществлению технологического процесса выработки изделий различают автоматы: карусельного типа, когда выработка изделий осуществляется при непрерывном или прерывном вращении столов вокруг центральной колонны; секционного типа – столы не вращаются, черновые и выдувные формы неподвижны. Автоматы карусельного типа могут быть с одним столом, на котором полностью заканчивается изготовление изделия, и с двумя столами, когда на одном из них (черновом) вырабатывается пулька (заготовка) стекла, а на втором (чистовом) изделие оформляется в окончательном виде. Секционные автоматы бывают обычно двух-, четырех- и шестисекционные.

При машинной выработке различают три способа формования изделий: прессование, прессовыдувание и выдувание. Способ прессования наиболее прост, так как изделия вырабатывают в один прием прессованием. Порция стекломассы, загруженная в форму, подвергается давлению пуансона, имеющего очертания внутренней поверхности изделия. Под давлением стекломасса перемещается и заполняет пространство между формой и пуансоном. Способ прессовыдувания сложнее: сначала происходит формование пульки путем прессования в одной форме, а затем, во второй двухстворчатой форме, изделие выдуванием оформляется в окончательном виде. Способ выдувания: пулька и изделие из нее выдуваются сжатым воздухом. При этом применяют как горловые формы (для изготовления горловых изделий), так и безгорловые формы (для выработки тонкостенных изделий без горла). В некоторых выдувных машинах для оформления горла используется вакуум.

В России на стекольных заводах применяют различного типа автоматы: и с капельным питанием, и вакуумные. Опыт показывает, что при выработке широкогорлой тары лучшие результаты получаются при использовании прессовыдувных машин. Наоборот, при выработке узкогорлых изделий небольшой емкости автоматы с капельным питанием уступают вакуумным автоматам.

Выдувные автоматы. В основном применяют фидерные выдувные машины 2ЛАМ, Л-10, АВ, Руаран-7, а также вакуумные машины типа ВВМ. Главными формующими элементами на всех автоматах являются горловые клещи или горловое кольцо, черновая и чистовая формы.

Двухстольные автоматы с капельным питанием предназначены главным образом для выработки узкогорлых стеклянных из-

делий. Формовой комплект этих автоматов состоит из раскрывных двухстворчатых форм – шести черновых и шести выдувных. Черновые формы установлены на черновом столе, выдувные – на чистовом.

Черновая форма состоит из двух створок корпуса, двух половинок горлового кольца и плунжера. Выдувная форма, кроме двух створок, имеет поддон. Створки черновых форм закреплены на формовых клещах вращателей форм, расположенных на черновом столе, створки выдувных форм – в держателях чистового стола. Столы автомата одновременно периодически делают повороты на 60°; во время их останова происходит формование изделий.

Технологический процесс изготовления изделий на двух-стольном автомате осуществляется в следующем порядке (рис. 17).

На чистовом столе позиция IV – охлаждение и вытяжка пульки внутри формы, позиция V – окончательное выдувание изделия, позиция VI – охлаждение изделия в форме и позиция VII – выдача готового изделия из формы на транспортер конвейера.

На свободных позициях черногового и чистового столов формы очищают, смазывают и охлаждают.

Для транспортировки изделий от автомата служит транспортер конвейера, на который изделия ставятся отставителем.

Автоматы 2ЛАМ, наиболее распространенные в стекольной промышленности из всех двухстольных автоматов, применяют главным образом для выработки бутылок.

Автомат имеет два стола, которые вращаются вокруг центральной колонны, укрепленной на плите. Плиту монтируют на колесах, с помощью которых автомат можно передвигать. На черновом столе устанавливают шесть вращателей шести черновых форм, а на чистовом – шесть держателей шести выдувных форм.

Отличительной особенностью рабочего процесса является то, что формование горла пульки в черновой форме осуществляется засасыванием стекломассы в горловое кольцо; кроме того, черновая форма при выдувании пульки находится в опрокинутом положении.

Пулька и изделие выдуваются в период движения столов; отсюда меньшая продолжительность остановов и благодаря этому увеличение скорости выработки.

Наличие самостоятельных плунжеров в каждом комплекте форм позволяет изготавливать одновременно изделия различной конфигурации при одинаковом весе.

Автомат имеет шесть комплектов черновых форм, шесть комплектов чистовых выдувных форм, шесть плунжеров и шесть донных затворов.

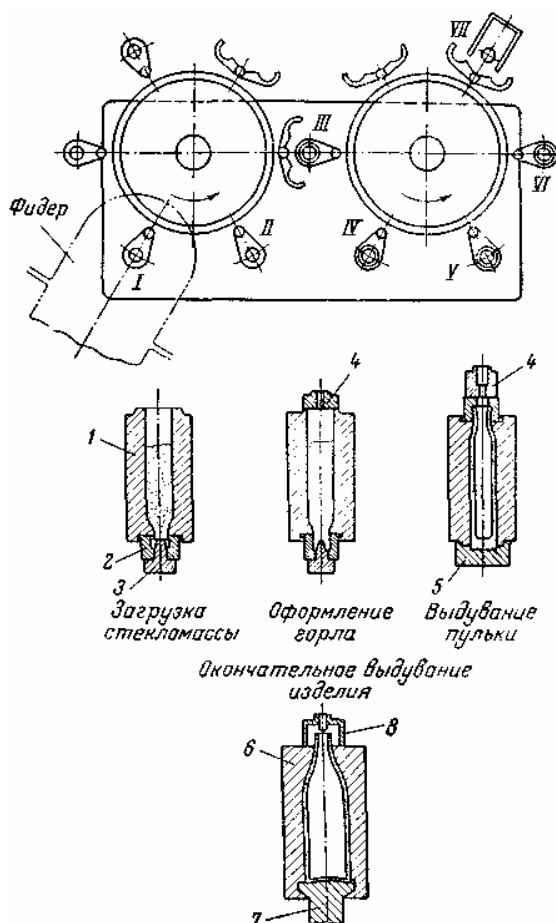


Рис. 17. Схема технологического процесса изготовления стеклянной тары на двухстольном автомате:

- 1 – корпус черновой формы; 2 – горловое кольцо;
- 3 – металлический плунжер; 4 – дутьевая головка;
- 5 – поддон черновой формы; 6 – чистовая форма;
- 7 – поддон чистовой формы; 8 – дутьевая головка

На машине 2ЛАМ и Л-10 вырабатывают бутылки емкостью от 0,1 до 3,5 л. Скорость автомата Л-10 при выработке бутылок емкостью 0,5 л – до 28 шт./мин, производительность – до 29000 шт./сут.

Мелкие узкогорлые изделия типа парфюмерных и аптекарских флаконов, а также бутылки и широкогорлые банки вырабаты-

вают на секционных пневматических машинах типа АВ. Эти автоматы не имеют вращающихся столов и состоят из отдельных секций, в каждой из которых одна черновая и одна чистовая форма, они отличаются универсальностью, простотой и высокой производительностью, зависящей от числа секций. Автоматы АВ имеют от двух (АВ-2) до шести (АВ-6) секций, несущих каждая по черновой и чистовой форме; формы расположены в 2 ряда – черновые ближе к фидеру, чистовые с переднего фронта машины.

Они неподвижны и получают стекло из питателя по очереди через передвижные воронки и лотки. В момент получения капли черновая форма опрокинута верхней частью к низу – в этом положении выдуваются горло изделия и пулька; затем черновая форма раскрывается, пулька, удерживаемая клещами, поворачивается на 180° и передается в чистовую форму (рис. 18), где выдувается изделие.

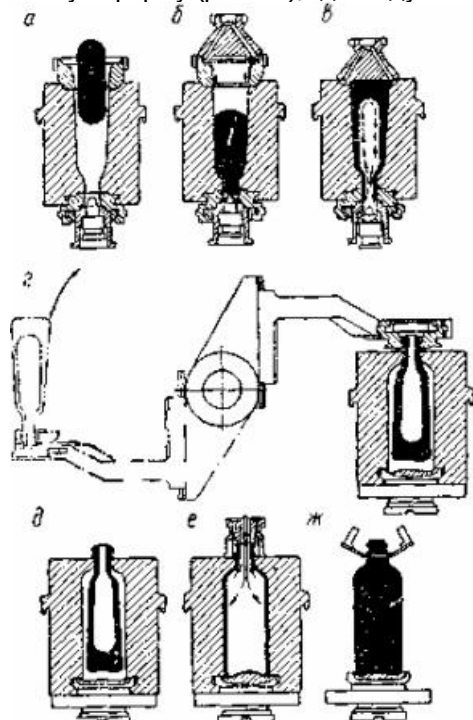


Рис. 18. Схема работы секционной машины:
а – подача капли; б – формование горла; в – выдувание пульки;
г – передача пульки; д – прогрев; е – выдувание изделия
с внутренним охлаждением; ж – съем изделия

Существуют следующие марки автоматов типа АВ: четырехсекционные АВ-4 и АВ-4-2, шестисекционные АВ-6 и АВ-6-2 (с двухъячейковыми формами).

Автомат АВ-4 состоит из четырех однотипных секций, которые одновременно, последовательно во времени, вырабатывают изделия (рис.19). Такая система дает возможность вырабатывать в каждой секции различные по форме, но одинаковые по весу изделия при одинаковых технологическом и тепловом режимах, что особенно важно, если изготавливают изделия разнообразного ассортимента.

На стеклоформирующих машинах типа АВ выполняют следующие операции: формование головки (горла) изделия и предварительное выдувание “баночки” в черновой форме (рис. 19, а,б), передачу “баночки” с помощью горлового кольца в чистовую форму (рис. 19, в–д) и окончательное выдувание изделия (рис. 19, е,ж). На автоматах имеются две формы: черновая и чистовая. В пределах черновой формы стекломасса раздувается – образуется пулька. Прессовая головка вновь поднимается и отводится в сторону, черновая форма раскрывается, и пулька, зажата в горловых кольцах, механизмом поворота горловых клещей переносится на позицию чистовой формы. Последняя, приняв пульку, тотчас закрывается. После этого дутьевая головка опускается на чистовую форму и окончательно выдувает изделие.

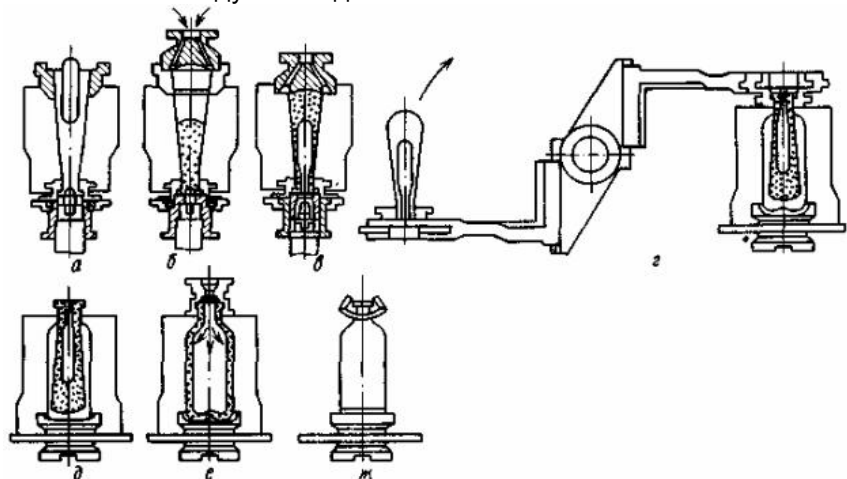


Рис.19. Технологическая схема выдувания изделий на автомате АВ-4

Далее дутьевая головка поднимается, отводится в сторону, чистовая форма раскрывается, изделие захватывается отстави-

телем и переносится на площадку обдувания. С площадки оно сдвигается рычагом механизма перемещения на ленту конвейера для дальнейшего следования в отжигательную печь.

Работа всех четырех секций машины происходит одинаково, лишь циклы работы каждой секции смещены во времени один относительно другого. Это необходимо потому, что питатель выдает капли стекломассы в одной точке, а распределение капель в черновые формы осуществляется четырьмя ковшеобразными лотками попеременно.

На рис. 20 изображена схема расположения деталей при черновом и чистовом выдувании изделия.

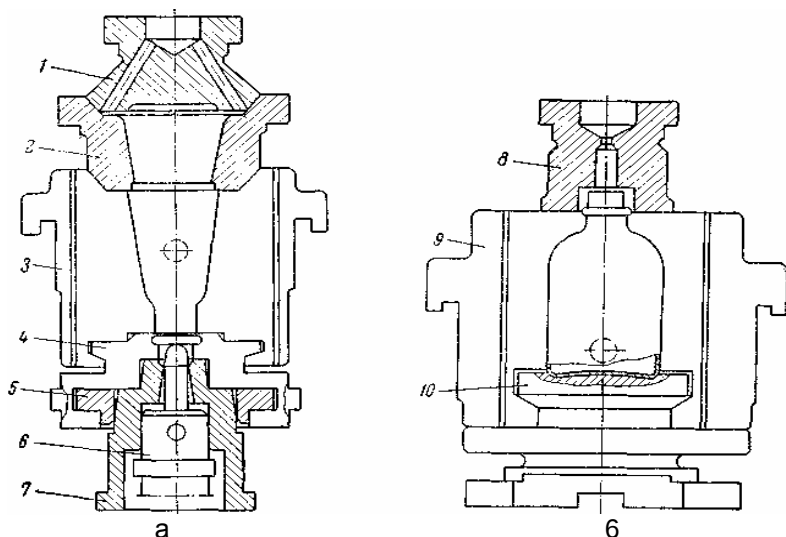


Рис. 20. Схема расположения деталей при черновом (а) и чистовом (б) выдувании изделия:

- 1 – прессовая головка; 2 – воронка; 3 – черновая форма;
- 4 – горловое кольцо; 5 – направляющее кольцо; 6 – плунжер;
- 7 – втулка плунжера; 8 – дутьевая головка; 9 – чистовая форма;
- 10 – поддон

Автомат АВ-4 с небольшими конструктивными изменениями может быть использован для работы в виде двухсекционных аналогичных автоматов. Таким образом, вместо одного автомата с четырьмя секциями могут работать два автомата с двумя секция-ми или даже четыре односекционных автомата.

Автомат АВ-4-2 отличается от автомата АВ-4 только тем, что конструктивно в первом предусмотрена выработка изделий в двухъячейковых формах. Автомат АВ-4-2 получает стекломассу от механического питателя ПМ-521. Он также имеет четыре одинаковые секции, но здесь за один цикл работы механический питатель ПМ-521 выдает уже восемь капель стекломассы (по две капли одновременно). Каждая секция имеет самостоятельную систему лотков для направления стекломассы в черновую массу.

Вакуумно-выдувные автоматы. Питание форм стекольных машин может происходить и путем непосредственного засасывания стекломассы черновой формой. В этом случае в черновой форме, погруженной донным отверстием в стекломассу, создается разрежение (вакуум), достаточное для преодоления веса и вязкости стекломассы. Такой способ питания обладает следующими преимуществами перед капельным:

- высокая степень гомогенности стекломассы, заполняющей форму, что позволяет раздувать пульку лишь в выдувной форме;
- отсутствие опрокидывания предварительной формы.

При вакуумном питании, кроме того, порция стекломассы, отмериваемая по полости черновой формы, имеет весьма точный объем, а следовательно, и вес.

Вакуумно-выдувные автоматы для выработки узкогорлой стеклянной тары конструируют с различным количеством секций и форм. Наибольшее распространение получили шестисекционные вакуумные автоматы ВВ-6 левого и правого вращения с однопячейковыми и двухъячейковыми формами.

Вакуумно-выдувной автомат ВВ-6 предназначен для выработки узко- и широкогорлой стеклянной тары емкостью от 10 до 200 мл (пенициллиновых флаконов и рецептурных склянок). Выдувные полуавтоматы ВВ-2 используют для изготовления главным образом большой емкости (от 3 л более). Они имеют две формы: черновую, куда подается капля и где формуется горло изделия и выдувается его тело – пулька, и чистовую, где окончательно оформляется изделие. Пульку переносят из черновой формы в чистовую вручную – клещами. Производительность ВВ-2 – до 9000 бутылок емкостью 0,5 л в сутки.

Прессовыдувные автоматы. Широкогорлые изделия (консервные банки) лучше всего формуют на машинах прессовыдувного типа. Наиболее распространенный прессовыдувной автомат ПВМ-12 – карусельного типа, одностольный, с прерывистым движением стола и механическим приводом специального типа (“мальтийский крест”). На его столе расположено 12 чистовых, а под ними 12 черновых форм.

Автоматы типа ПВМ вырабатывают изделия емкостью от 200 до 5000 мл. Основной ассортимент вырабатываемой тары – консервные банки емкостью 0,5-1 л. Суточная производительность автомата ПВМ-12 свыше 30 тыс. изделий емкостью 0,5 л и 27-28 тыс. банок емкостью 1 л. На автомате с двухъячейковыми формами выпуск пол-литровых банок возрастает до 70 тыс. шт. в сутки.

Процесс изготовления изделий осуществляется в два приема: сначала прессованием происходит формование пульки в черновой форме (с окончательным оформлением горла изделия), а затем полученная пулька раздувается сжатым воздухом до размеров и формы готового изделия (рис.21).

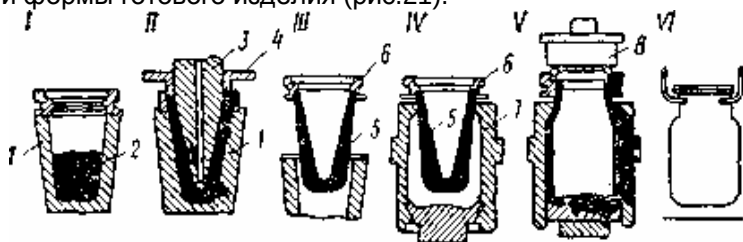


Рис. 21. Схема выработки изделия на прессовыдувной машине:

I – прием капли; II – прессование пульки в черновой форме; III и IV – передача пульки в чистовую форму; V – выдувание изделия в чистовой форме; VI – установка изделия на конвейер для отжига; 1 – черновая форма; 2 – капля стекла; 3 – керн; 4 – ограничительное кольцо; 5 – пулька; 6 – горловое кольцо; 7 – чистовая форма; 8 – дутьевая головка

Существуют усовершенствованные автоматы ПВМ-12А и и 2ПВМ-3. Автомат 2ПВМ-3-2 является тем же автоматом 2ПВМ-3, только в двухъячейковом исполнении.

Автоматы ПВМ изготавливают левого и правого вращения. В первых столы поворачиваются, и весь технологический процесс идет против часовой стрелки, во вторых – наоборот. Автоматы левого вращения устанавливаются по левую сторону от выработочной части стекловаренной печи, автоматы правого вращения – по правую сторону.

Прессовыдувные секционные автоматы типа АПВ принципиально отличаются от автоматов типа АВ тем, что на всех автоматах типа АВ процесс выдувания осуществляется как в черновых, так и в чистовых формах, а на автоматах типа АПВ пулька сначала прессуется в черновой форме, а затем уже в чистовой форме выдувается в изделие.

Автоматы типа АПВ предназначены для изготовления широкогорлой посуды (консервных банок, широкогорлых бутылок). Как и автоматы типа АВ, они могут иметь разное количество секций: две, четыре и шесть, как в одноячейковом, так и в двухъячейковом исполнении (АПВ-2, АПВ-4, АПВ-4-2, АПВ-6 и АПВ-6-2).

Все основные механизмы секций имеют пневматические цилиндры и приводятся в действие сжатым воздухом под давлением от 1,8 до 2 кг/см², подаваемым в каждый цилиндр из специальной распределительной коробки. Работа машины строго синхронизирована с работой механического питателя. За один цикл работы автомата, имеющего шесть секций, механический питатель выдает шесть капель стекломассы.

Работает автомат следующим образом. Каждая секция (как и в автоматах типа АВ) имеет самостоятельную систему лотков для направления стекломассы в черновую форму. В верхней части системы лотков находится ковшеобразный лоток с поступательным движением. Он в определенный момент подходит под очко питателя и получает каплю стекломассы, выталкиваемую плунжером питателя. Капля стекломассы, принятая ковшеобразным лотком, направляется по системе лотков в черновую форму, а ковшеобразный лоток отходит назад, освобождая место для очередного ковшеобразного лотка следующей секции. После падения капли стекломассы в черновую форму воронка отходит, на черновую форму опускается поддон (установленный в держателе прессовой головки), плунжер поднимается и выпрессовывает черновую пульку. Далее плунжер опускается, уходит поддон, черновая форма раскрывается, пулька немного раздувается, а затем с помощью механизма поворота горловых клещей переносится на позицию чистовой формы. Вслед за этим чистовая форма закрывается, а держатели горловых колец раскрываются и возвращаются на позицию черновых форм. Дутьевая головка опускается на чистовую форму и окончательно выдувает изделие (рис. 22). Далее дутьевая головка поднимается, отходит в сторону, чистовая форма раскрывается и изделие отставителем переносится на площадку обдувания, а затем на конвейер для дальнейшей транспортировки в печь отжига.

Производительность автомата АПВ-6, в зависимости от размеров изделий, может меняться от 33 до 75 шт. в минуту; производительность автомата АПВ-6-2 – от 108 до 300 шт. в минуту.

Фидерные и вакуумные высокопроизводительные современные автоматы типа ПВМ, АВ и ВВ имеют определенный оптимальный предел производительности. Дальнейшие попытки увеличения производительности этих автоматов вызывают большие трудно-

сти. Увеличиваются при этом, и значительно, габаритные размеры машин, их вес. Кроме того, при больших скоростях узлы и детали быстрее изнашиваются, а затраты мощности опережают рост производительности. Таким образом, многие из перечисленных автоматов находятся по своей производительности на конструктивном пределе или близки к нему. Поэтому в настоящее время возникла идея создания конвейерного способа выработки стеклянной тары, при котором производительность будет намного выше. Согласно этой идее формование изделий может быть осуществлено конвейерным путем из струи стекломассы, вальцуемой в непрерывную ленту с определенной формой утолщения.

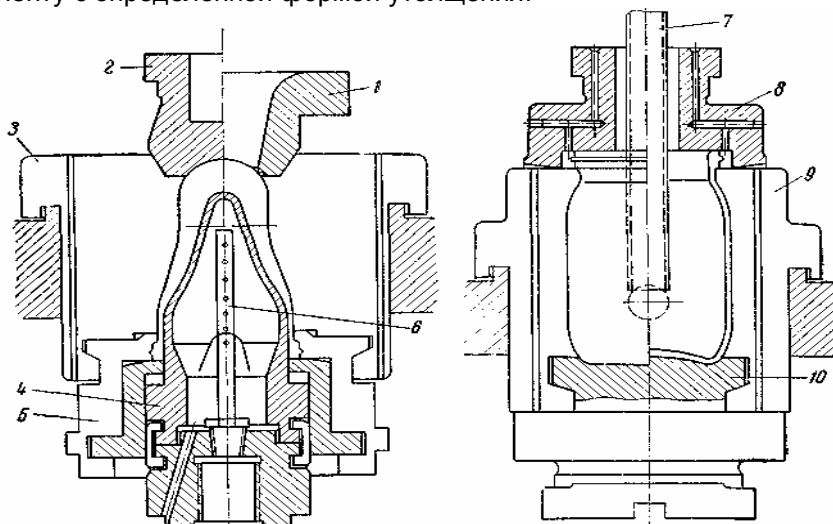


Рис. 22. Схема расположения деталей при прессовании и выдувании изделий на автомате АПВ-6:

- 1 – воронка; 2 – поддон черновой формы; 3 – черновая форма;
- 4 – плунжер; 5 – горловое кольцо; 6 – трубка для подвода охлажденного воздуха; 7 – трубка держателя дутьевой головки с охлаждением; 8 – дутьевая головка; 9 – чистовая форма;
- 10 – поддон чистовой формы

Прокатанная подобным образом лента стекломассы подхватывается горизонтальным конвейером с рядом небольших отверстий посередине. Под действием собственного веса стекломасса начинает проходить через отверстия конвейера. Затем стеклянная лента движется к другому конвейеру, на котором установлены

дутьевые головки. Сопла выдувных головок, двигаясь синхронно с первым конвейером, постепенно раздувают пульки до требуемых размеров. Полученные пульки двигаются далее к третьему конвейеру, где в раскрывных вращающихся формах окончательно выдуваются изделия. Пройдя некоторый путь, формы раскрываются, и готовые изделия, прикрепленные к ленте стекла, продолжают двигаться, пока они не будут отбиты от ленты.

Такова в основном идея конвейерного способа выработки стеклянных изделий, в том числе и стеклянной тары. Для выработки так называемых колпачковых изделий (электроколб), то есть изделий, не имеющих горла и не требующих после формования дополнительных операций по обработке, такие конвейерные установки осуществлены; их производительность достигает 1000000 шт. в сутки. Что касается выработки стеклянной тары этим способом, в мировой практике пока таких установок нет, и осуществление их представляет собой задачу исключительно сложную.

4.6. Пороки стеклянной тары

Возникновение пороков при машинной выработке зависит от качества стекла, работы питателей, стеклоформирующих машин, переставителей и отжигательных печей, а также от формового оборудования.

Причины, по которым возникают пороки стеклотары, разделяют на две группы. К одной относят те, которые определяются качеством стекломассы, к другой – те, которые определяются недостатками в выполнении технологического процесса. Пороки иногда возникают в массовом количестве, и тогда, если не принять своевременно необходимых мер, они могут нанести большой ущерб производству.

Наиболее распространенным пороком стеклянной тары являются **посечки**, представляющие собой небольшие трещины разной формы (начиная от точки и кончая тонкими нитями), разной длины (до 2–3 см) и разной глубины (поверхностная, глубинная и сквозная). Посечка может возникнуть на венчике горла, под горлом, на корпусе, дне, плечике и т.д. Наиболее часто посечка встречается на горле изделия. В зависимости от причин, вызывающих посечку, различают посечку механическую и термическую.

Посечка механическая возникает на поверхности изделия из-за нарушения целостности поверхностного отвердевшего слоя стекла в результате удара, раздавливания, разрыва, изгиба и т.п.

Это наиболее крупная посечка. Практически она возможна при непосредственном соприкосновении формового комплекта с хрупким стеклом, из-за неисправности этого комплекта либо неисправности других приспособлений и механизмов автомата.

Посечка термическая возникает из-за большого термического перепада, получающегося в результате соприкосновения горячего стекла с холодным или влажным металлом. Для предотвращения посечки необходимо, чтобы стекло при выработке соприкасалось только с нагретым металлом (горловых колец, черновых и чистовых форм, поддонов, хватков отставителя и т.д.). При этом на горячее изделие не должны попадать капли воды или масла из системы охлаждения.

Скалывающаяся **подпрессовка** на швах стеклянной тары может появиться в виде излишка стекла, проникшего в швы между частями формового комплекта. Излишек этот образует по шву выступающий валик или гребешок. Подпрессовка появляется на стекле при неправильной сборке деталей формового комплекта, когда не соблюдены зазоры, обеспечивающие плотность швов между ними в горячем состоянии.

Неравномерное распределение стекла в изделиях может возникнуть главным образом в результате неравномерного разогрева капли стекломассы, ее термической неоднородности и неодинаковой температуры форм.

Деформированные изделия (деформация горла, корпуса, дна, плечиков изделия и др.) появляются, если изделия, не успевая затвердеть до выхода из автомата, поступают на конвейер, где деформируются и оседают.

Недопрессованное горло возникает при недостаточном давлении воздуха, наличии неплотностей в трубопроводе, шлангах, золотнике начального дутья; из-за холодной формы, горлового кольца, пуансона и т. д.

Кованность может появиться, когда стекломасса имеет резко пониженную температуру в процессе выработки изделия, при чрезмерном охлаждении форм или малой скорости автомата. Обычно изделия с кованой поверхностью получаются при пуске автомата после простоя. Постепенно, по мере разогрева форм, кованность ослабляется и далее совершенно исчезает.

Складка располагается главным образом на наружной поверхности изделия. Причиной ее возникновения чаще всего является холодная черновая форма или переохлажденная на пути в черновую форму капля стекломассы. Внутренняя складка в изделиях может образоваться из-за холодного пуансона.

Сетка-паутинка внешне представляет собою мельчайшие пузырьки, которые оставляют след в виде сетки. Такая сетка появляется, если внутренняя складка или поверхностная посечка заплавилась, не успев растянуться, или если масло от смазки прессующего механизма попадает в трещину и как бы догорает в стекломассе.

Пузырьки в стекле (от выработки) возможны из-за повреждения деталей питателя (очка, плунжера, бушинга), неправильного падения капли в черновую форму, неправильной работы или повреждения системы лотков и отражателя, излишнего количества масла на рабочей поверхности форм, попадания в питатель посторонних предметов и т. п.

4.6. Контроль качества стеклянной тары

Всю стеклянную тару сортируют в соответствии с действующими ГОСТами или техническими условиями на выходе из отжигательной печи по внешнему виду изделий на годную продукцию и брак. Отсортированная стеклянная тара, признанная годной, передается по конвейеру отжигательной печи калибровщикам для проверки линейных размеров (диаметра корпуса, высоты, диаметра горла, овальности венчика горла, наличия перекоса в изделии, радиусов закруглений венчика горла и корпуса и т. д.), то есть стеклянная тара после отжига проходит ряд проверок на испытательном оборудовании.

- Разделитель бутылок - этот автомат, который создает заранее заданный интервал между бутылками на конвейере во избежание контакта между ними.

- Прибор для испытания на сдавливание: каждая бутылка проходит между шайбами, которые давят на ее корпус. Любой явный дефект или трещина в бутылке приводит к ее разрушению, осколки собираются и отводятся в накопитель конвейером обратного хода, который находится под основным конвейером.

- Измеритель отверстий – это прибор, при помощи которого можно измерить 3 параметра: внешний и внутренний диаметры горла и высоту бутылки. Бутылки, не соответствующие установленным параметрам, автоматически бракуются и снимаются с линии специальным выталкивателем, который размещен по ходу измерителя. Этот прибор может также обнаруживать волнистые участки поверхности на стеклянных изделиях.

- Дефектоскоп для обнаружения трещин: принцип его действия заключается в фокусировке светового луча на поверхность стекла. Наличие трещины приведет к обозначению преломления светового потока на приборе, который запустит механизм отбраковки. Обычно на одном автомате имеется до 8 дефектоскопов, которые помогают изъять бутылки с трещинами и царапинами на горле.

- Детектор толщины стенок – это прибор, который позволяет определить толщину стенок, используя диэлектрические свойства стекла, при помощи чувствительной головки (щупа), движущейся вдоль корпуса бутылки. После измерения толщины нестандартные бутылки с более тонкими стенками автоматически выталкиваются с конвейера.

- Испытатель гидравлического давления: используется для бутылок, которые будут заполнены шипучими напитками, и измеряет соответствие внутреннего давления каждой бутылки перед розливом.

- Визуальная проверка. Бутылки проходят перед проекционным экраном для окончательного осмотра, в том числе наличия сколов и “осыпи стекла” Осыпь стекла – это выпадение мелких ее частиц на дно емкости.

Помимо выше сказанного, стеклянную тару подвергают еще целому ряду испытаний. Химическую устойчивость определяют, погружая осколки в 10%-ный раствор уксусной кислоты при температуре 40°C на 24 ч. По истечении этого срока на поверхности промытых осколков стекла не должно быть признаков разъедания и помутнения.

Термическую устойчивость проверяют на прямой и обратный температурный перепад, последовательно погружая изделия в воду при температуре 40, 100 и 60°C. При каждой температуре изделия выдерживают в течение 15 мин, при этом температура помещения и тары должна быть 12-18°C, а время переноса изделия из одной ванны в другую – не более 10 с. Изделие считается годным, если в нём после испытания на термическую стойкость не обнаружено трещин.

Механическую прочность стеклянной тары проверяют испытанием ее на раздавливание с помощью гидравлического или рычажного пресса. Сопротивление стеклянной тары внутреннему давлению определяют в течение 5 с посредством гидравлического пресса.

Емкость стеклянной тары определяют по весу воды при 15°C или по объему залитой воды. Вес изделия проверяют взвешиванием.

Готовая стеклотара, с использованием упаковочного оборудования, группируются в блоки и упаковываются в термоусадочную пленку.

Для перевозки стеклянных изделий могут использоваться различные виды транспортной тары. В настоящее время широкое распространение получили перевозки стеклянных бутылок и банок на поддонах, где они располагаются ярусами и обертываются усадочной пленкой. Подобное транспортирование позволяет не только сократить случаи боя и “потертости” но и способствует предохранению стеклотары от загрязнения.

Устойчивость бутылок и удобство их наполнения на разливочной линии зависит от центра тяжести и площади поверхности основания. Наибольшие проблемы возникают с высокими и узкими бутылками, имеющими высокий центр тяжести (рис. 23).

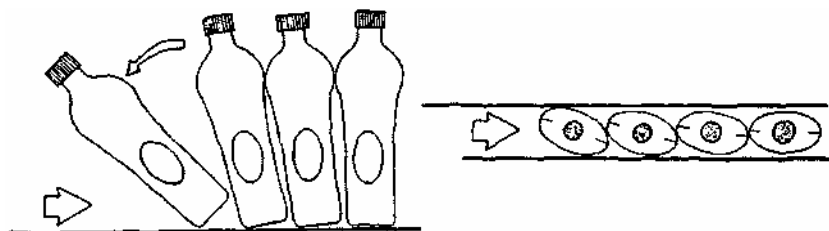


Рис.23. Устойчивость стеклотары

Стеклянная тара должна отвечать тем или иным техническим требованиям, определяемым условиями дальнейшего использования этой тары. Эти требования в общем виде для всех тарных изделий могут быть сведены к следующему.

Качество стекла. В стеклянной таре должны отсутствовать такие пороки, как камни, шлир, крупная свиль, открытые поверхностные пузыри, а также пузыри, легко продавливающиеся, с сизым налетом (щелочные). Воздушные внутренние пузыри допускаются лишь в ограниченном количестве.

Цвет стекла. Стекло может быть бесцветным, необесцвеченным (так называемое полубелое стекло) или окрашенным в различные защитные цвета (темно-зеленый, оранжевый и другие), если это необходимо для предотвращения влияния света на содержимое. Некоторые жидкости, хранимые в стеклянной таре, могут подвергаться химическим превращениям под влиянием света, что нередко приводит к ухудшению их качества, иногда даже и к порче вещества. Поэтому в соответствующих ГОСТ определяют требования в части цвета стекла.

Возможно большая прозрачность и обесцвеченность стекла необходимы чаще всего в целях улучшения внешнего вида изделий.

Имеются тарные изделия, в отношении которых никаких требований относительно цвета стекла не предъявляется.

Качество выработки. Это требования, касающиеся емкости, линейных размеров, веса и допусков в отклонениях от заданных величин, а также формы стеклянной тары. Необходимость этих требований и сравнительно жестких допусков вытекает как из потребительских (размеры, емкость), так и из производственных соображений. Механизация и автоматизация ряда отраслей промышленности, связанных с использованием стеклянной тары и применением автоматов для наполнения и закупоривания тары, невозможна без стандартизации основных размеров и формы стеклянной тары. Особые требования в связи с этим предъявляются к оформлению горла, точности его формы и размеров. Оно также не должно иметь посечек, щербин, нарушающих его механическую прочность, заусениц и подпрессовок - выступов стекла на месте стыка отдельных частей горла. Венчик горла не должен иметь острых углов. По всему корпусу изделия стекло должно быть равномерно распределено, то есть не должно быть резких утолщений (заливов) и утоньшений (продутостей).

Механическая и термическая стойкость. Требования механической стойкости и особенно прочности в отношении внутреннего давления, которому подвергается стеклянная тара, особенно бутылка, вызваны тем, что ряд бутылочных изделий (шампанские, лимонадные, пивные бутылки и т. п.) испытывает в процессе использования значительное внутреннее давление.

Требования по термической стойкости обусловлены тем, что стеклянной таре при ее использовании неизбежно приходится подвергаться различным колебаниям температуры, иногда очень резким. Так, при мытье горячей водой, наполнении жидкостями, при пастеризации и охлаждении тара подвергается резким температурным колебаниям. Поэтому временные механические напряжения могут вызвать разрушение изделия. Величина этих напряжений зависит от качества отжига. В связи с этим стеклянная тара должна подвергаться хорошему отжигу.

Химическая стойкость. К целому ряду изделий предъявляют требования по щелочекислотоустойчивости. Так как стеклянную тару иногда применяют для длительного хранения как нейтральных, так и кислых и щелочных жидкостей, а при этом растворимые составные части стекла могут перейти в содержимое тары,

то для многих тарных изделий определяют химическую устойчивость путем проб на выщелачивание и кислотоустойчивость.

4.7. Вопросы дизайна стеклянной тары

Приступая к конструированию стеклотары, необходимо определить её форму, место нанесения этикеток и другие детали дизайна.

Форма стеклянной тары имеет очень важное значение для её прочности. Самой прочной является сферическая форма, за ней следует цилиндрическая, а прямоугольник – наименее удачная с технологической точки зрения форма. Плоские прямоугольные стенки хуже выдерживают механические воздействия, чем выпуклые, особенно если воздействие идет изнутри. Следовательно, дизайнер должен предусмотреть в середине выступы или валики, которые примут на себя ударную нагрузку. Эти выступы можно дополнительно усилить, предусмотрев на них ребрение. Несмотря на то, что эти правила относятся в первую очередь к прямоугольным формам, они также могут применяться по отношению к круглым, овальным и другим формам. Прочность бутылки увеличится до 50%, если её форма обеспечивает перераспределение удара в те части, где он наименее опасен.

Углы оказываются, как правило, наиболее тонкой частью сосуда, поскольку именно здесь стекло подвергается наибольшему растягиванию. Особенно уязвимы углы около дна, поскольку сосуды обычно ставят на конвейер упаковочной линии вертикально, дном вниз. В результате часто происходит “ушиб” дна. Проблему тонких углов можно в определенной степени сократить, придавая пультке соответствующую форму. При этом идеально равномерного распределения стекла достичь невозможно, и обычно самыми тонкими участками оказываются плечики и пята.

При проектировании стеклянной тары следует избегать острых граней и углов, поскольку они технологически сложны и приводят к увеличению числа дефектов готовой продукции. Например, острые выступающие углы, определяемые формой, зачастую приводят к вызванной давлением или температурой посечке стекла. Направленные внутрь острые углы требуют применения высоких температур и высокого давления, чтобы направить стекло в форму угла, и это может приводить к таким дефектам, как косой венчик, тонкостенное горло и др.

Место нахождения этикеток следует приводить в соответствие с другими деталями дизайна, а именно:

- не располагать на линии раздела форм;
- согласовать с укупорочными средствами;
- согласовать наносимые этикетки с другими этикетками или маркировкой.

Панели для этикеток должны быть достаточно большими - согласно предлагаемой этикетке (в пределах допусков этикетировочного оборудования) и чаще всего могут иметь изгиб лишь по одной оси. Круглые бутылки и банки этикетируются быстрее, чем плоские конфигурации, особенно в том случае, когда этикетка наносится более чем на одну сторону.

Этикетировочные панели, в которых этикетка утоплена во избежание соприкосновения с другими этикетками или частями бутылки и истирания, являются важным элементом дизайна. В ряде конструкций волнообразные выступы опоясывают бутылку и являются частью ее дизайна. Круговые (кольцевые) этикетки расходуют минимальное количество клея; полоска клея наносится по кромке соединительного (внахлест) шва. Этикетки могут быть нанесены на любой участок упаковки. Клей наносится в основном на подложку этикетки. Обтягивающие этикетки малопригодны для бутылок с выпуклыми или вогнутыми поверхностями. Вместо них используются точечные этикетки, однако даже они могут наноситься лишь в том случае, когда контур находится в одной плоскости, например вертикальной или горизонтальной.

В последнее время большое внимание уделяется разработке дизайнерами оригинальной, эксклюзивной стеклянной тары для конкретного производителя в соответствии с определённой темой, художественным замыслом и фирменным стилем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время стекольная промышленность в России – один из наиболее динамично развивающихся секторов промышленности. В значительной степени эту динамику определяет именно стеклотарный сегмент.

Косвенным доказательством перспективности рынка служит строительство новых стекольных заводов, пуск в эксплуатацию модернизированных производственных линий.

Развитие и совершенствование стеклотарного производства возможно по следующим основным направлениям:

- повышение качества применяемого сырья;
- совершенствование способов приготовления шихты;
- интенсификация процессов варки стекла и формования стеклоизделий:
- механизация и автоматизация отдельных участков технологического цикла;
- улучшение качества продукции, выпуск изделий с улучшенными эксплуатационными показателями;
- разработка современного и оригинального дизайна.

Библиографический список

1. Аппен А.А. Химия стекла. - Л.: Химия, 1970. – 352 с.
2. Будов В.М., Саркисов П.Д. Производство строительного и технического стекла. - М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
3. Бутт Л.И., Поляк В.В. Технология стекла. – М.: Стройиздат, 1971. – 386 с.
4. Гуляян Ю.А. Технология стеклотарной и сортовой посуды. – М.: Легпромбытиздат, 1986 – 1988.
5. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение. - М.: НИИ – ПРИРОДА, 2002. – 266 с.
6. Повышение эффективности производства стеклянной тары. Обзорн. информ. - М., 1978. - 53 с.
7. Тамман Г. Стеклообразное состояние. – М.: ОНТИ, 1935 .
8. Тёмкин Б.С. Технология стекла и стеклоизделий. - М.: Ростехиздат, 1962.
9. Храмков В.П., Чугунов Е.А. Материалы для производства и обработки стекла и стеклоизделий. - М.: Высш. шк., 1986. – 103 с.
10. Шепелев А.Ф., Галаджян В.А., Туров А.С. Товароведение и экспертиза силикатных и строительных товаров. - М., 2002. – 171 с.
11. Шипинский В.Г. Упаковка и средства пакетирования. - Минск: УП Технопринт, 2004. – 415 с.
12. Юдин Н.А., Запорожский А.И. Технология стеклотары и сортовой посуды. – М.: Высш. шк., 1970. – 230 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Стеклообразное состояние вещества и его физико-механические свойства	6
1.1. Понятие стекла	6
1.2. Свойства расплава стекла	9
1.3. Свойства стекла	14
Глава 2. Классификация стекла	26
2.1. Классификация стекла по составу	26
2.2. Техническая классификация стекла	29
Глава 3. Основы современной технологии производства стекла	40
3.1. Сырьевые материалы для производства стекла	40
3.1.1. Стеклообразующие сырьевые материалы	42
3.1.2. Вспомогательные сырьевые материалы	53
3.2. Технологическая схема производства стекла	63
3.2.1. Подготовка сырьевых материалов и контроль их качества	63
3.2.2. Приготовление шихты	67
3.2.3. Стекловарение (варка стекла)	72
3.2.4. Стекловаренные печи	82
3.3. Пороки стекломассы	92
Глава 4. Производство стеклянной тары	98
4.1. Классификация стеклянной тары	100
4.2. Состав тарного стекла	116
4.3. Технологические процессы производства стеклянной тары	119
4.4. Стеклоформующие автоматы для производства стеклянной тары	133
4.5. Пороки стеклянной тары	145
4.6. Контроль качества стеклянной тары	147
4.7. Вопросы дизайна стеклянной тары	151
Заключение	153
Библиографический список	154