

## Лекция 8. Процесс варки оптического стекла

### 1. Стадии процесса варки оптического стекла

Варка – сложный тепловой процесс в течении которого компоненты смеси стекломатериала претерпевают ряд физических и химических изменений. Процесс варки можно условно разделить на стадии:

- 1) Силикатообразование;
- 2) Стеклообразование;
- 3) Осветление;
- 4) Гомогенизация;
- 5) Охлаждение.

Стеклообразование, осветление и гомогенизация начинаются одновременно. После окончания стеклообразования последние стадии проходят совместно до завершения процесса варки. В результате протекания каждой стадии изменяется состояние стекла в физическом и химическом отношении по признакам которых удобно разделить процесс варки.

Силикатообразование начинает происходить уже при температуре 400°C когда заканчиваются основные химические реакции в твердых частицах и улетучиваются газообразные составы, испаряется вода, а не прореагировавшие компоненты спекаются. С дальнейшим повышением температуры плавятся эвтектические соединения и некоторые соли, твердые вещества растворяются в расплавах и реакции ускоряются. Большинство реакций эндотермические и для ускорения провара нужна интенсификация подачи стекла.

Стеклообразование начинается когда стекло представляет собой еще пенистый расплав, который насыщен частицами шихты, кварца и пузырьками газов. Кварцевый песок растворяется в расплаве силикатов, а силикаты провариваются, стекло становится прозрачным, число пузырей и пена уменьшается. Стеклообразование продолжительно во времени особенно для вязких составов стекла. Для низкотемпературных стеклообразующих необходимо интенсивно увеличивать температуру, перемешивать стекломешалкой, бурным выделением газов.

Осветление заключается в освобождении стекла от газовых пузырьков, т.е. выравнивание ее в физическом отношении. Шихта содержит до 18% песка связных газов, которые в большинстве испаряются в печи но часть их остается в виде пузырьков, растворенных в стекле. Газы выделяются из расплава стекла благодаря причинам: изменению химического состава, неравномерному состоянию химически связных компонентов, контакту с парами, кристаллами огнеупора горшка. Из газов образуются пузыри,

содержащие  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , пары воды. Большое количество пузырей делает стекло не пригодным для изготовления оптических деталей. Чтобы легче удалить пузыри нужно сделать стекло менее вязким и создать в нем восходящий поток. Для этого повышают температуру на  $100^\circ\text{C}$  выше температуры провара шихты, и интенсивным механическим перемешиванием стекла, добавкой в состав стекла осветителей, которые интенсивно выделяют легкие пузырьки  $\text{O}_2$ , способствующие перемешиванию стекла и удалению тяжелых пузырей из  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ .

Гомогенизация – процесс приведения стекла к состоянию химической однородности. В следствии разнородности исходных гранулометрического и химического состава компонентов шихты жидкое стекло состоит из частиц малых объемов различных сплавов между которыми есть границы раздела. Тепловое и механическое движение частиц возникающее при проваре и осветлении в стекле, растягивает частицы имеющие разный химический состав и показатели преломления, в потоки, одиночные волокна – свили. Выравнивание составов потоков происходит путем диффузии. Гомогенизация ускоряется движением пузырей, конвекционных потоков и мешалки, растягивающих потоки грубых свилей в тонкие волокна, которые исчезают в результате диффузии.

Охлаждение необходимо для получения стекла вязкостью обеспечивающей ее отлив из стекло варенного сосуда. При охлаждении в стекле продолжают процессы осветления и гомогенизации. Режим охлаждения должен выдерживаться строго по графику – чтобы избежать появления кристаллизации. Нарушение теплового и концентрационного равновесия, самопроизвольного выделения по всему объему газов в виде мельчайших пузырей.

## **2. Технологические операции варки оптического стекла**

Построение технологического процесса варки оптического стекла различных марок в общем одинаковы. Различие заключается в графике температурных режимов, и во времени затрачиваемом на различные операции. Регулировка процесса варки преследует цель получения стекла наивысшего качества с минимальными пороками и дефектами. Технологический процесс варки оптического стекла делят на последовательно выполняемые во времени операции:

- 1) выводка горшка;
- 2) засыпка и провар шихты;
- 3) осветление расплава;
- 4) охлаждение стекла.

Выводка горшка заключается в том, что стекловаренный горшок перемещают из печи обжига (температура  $900-1000^\circ\text{C}$ ) в стекловарную печь (температура  $850-900^\circ\text{C}$ ). Горшок центрируют относительно оси вращения мешалки для обеспечения равномерности

перемешивания. Потом для повышения сопротивления стенок горшка горячего стекла его нагревают до температуры 1450-1500°C и выдерживают 2-4 часа. Потом охлаждают в печи до уровня необходимого для засыпки шихты. Полное время выводка горшка – 10-15 часов.

Засыпка и провар шихты – на дно горшка засыпают возвратный бой из предыдущего стекла чтобы создать на дне слой стекла толщиной в несколько сантиметров защищающего дно горшка от разъедания расплавляющейся смеси стекла. После бурления разваренного боя засыпку смеси стекломатериала производят так, чтобы вершина образовавшегося конуса была на уровне среза горшка. Сверху этот конус покрывают слоем боя для ускорения образования расплава и уменьшения улетучивания компонентов шихты. Шихту засыпают в 3-5 приемов, последовательно перемешивая шихта и возвратный бой.

Осветление расплава начинается с повышения температуры в печи на 100°C и бурления стекла – берут мокрую осиновую чурку, набивают на конец стержня из жаропрочной стали не образующей оксиды и водят чурку в круговую не касаясь стенок горшка при этом вода из чурки испаряется и образует много крупных пузырей которые вызывают бурление стекла. Потом вводят в стекло разогретую предварительно мешалку, начинают перемешивание при малой частоте вращения, т.к. расплав еще вязок, особенно в нижних, более холодных слоях. В начальный период перемешивания способствуют температуре стекла по вертикали и проваривают шихта. Потом постепенно увеличивают скорость вращения до затвердевания провара шихты, т.е. когда начинается интенсивное удаление пузырей. Продолжительность осветления расплава – 4-5 часов.

Охлаждение стекла начинается после того когда количество пузырей уменьшается до допустимого предела. Сначала охлаждение ведут понижением температуры на 50-60°C/ч, и не уменьшают частоты вращения мешалки т.к. осветление расплава еще продолжается. При достижении расплавом вязкости 10 Па·с с поверхности стекла снимают слой стекла с пеной на глубину до 50 см. Потом скорость мешалки увеличивают, чтобы избавить стекло от оставшихся химических неоднородностей – гомогенизировать. С понижением температуры вязкость стекла повышается, и скорость мешалки уменьшается. При вязкости 500-1000 Па·с мешалку извлекают, открывают печь и вывозят стекловаренный горшок, потом начинается этап разделки стекла. Охлаждение стекла длится до 35-40 часов.

### 3. Пороки и дефекты стекла

Пороки оптического стекла – инородные включения: пузыри, свили, кристаллы и камни, которые образуются в процессе варки стекла в стекловаренных сосудах из-за разъедания и откалывания их стенок

. Дефекты оптического стекла – отклонение фактических значений показателя преломления, дисперсии и светопоглощения от номинальных значений, установленных для данной марки стекла соответствующими нормативными документами и техническими условиями на его изготовление

. Пузыри всегда есть в стекле – имеют размер 0,01-5 мм, крупные пузыри легче выходят из стекла в процессе его варки, а мелкие остаются в стекломассе. Наименее пузырьные – кроны, легкие флинт и флинты, наиболее пузырьны – тяжелый крон и тяжелый флинт. Главный способ удаления пузырей и уменьшения пузырьности стекла, соответственно – повышение температуры варки и интенсивное перемешивание стекломассы в стекловаренных сосудах.

Свили обнаруживают в стекле как разделения объемов стекла отличающихся один от другого показателями преломления и химическим составом. Бывают грубые слоистые и тонкие одиночные нитевидные свили. Разность показателей преломления в свильных объемах оптического стекла колеблется от  $10^{-6}$  до  $0,1 \cdot 10^{-6}$ . Свили образуются также в результате растворения материала стенок горшка и корпуса мешалки в стекломассе, которые приводят к изменению химического состава сваренного стекла. Чтобы избавиться от них необходимо проводить интенсивное перемешивание и постепенное медленное охлаждение стекла.

Кристаллы выделяются из самой стекломассы, или привносятся в нее огнеупором. Согласно ГОСТ 3514-76 размеры кристаллов приравниваются к пузырям. При нарушении режимов варки может начаться недопустимая кристаллизация стекла. Чтобы ее избежать необходимо как можно быстрее проходить температурную область кристаллизации стекломассы.

Камни привносятся в стекло извне, достаточно редкий порок стекла, может возникать еще из-за разъедания стекломассой дна горшка. Кусок керамики от горшка попадает в стекло, под ее воздействием округляется, уменьшается в размерах и превращается в тонкую свиль.

Отклонение показателя преломления  $n_e$  и дисперсии  $n_F - n_C$  – происходят из-за привнесения в стекло компонентов разъедания стенок горшка и неравномерности улутучивания компонентов смеси сырьевых материалов в процессе варки. Эти два процесса затрудняют получение хорошей повторяемости состава стекла от одной варки к другой в промышленных условиях.

Светопоглощение в оптических стеклах достигает 0,4-1,5 % на 1 см длины хода луча света в стекломассе, а в сверхпрозрачных стеклах 0,1-0,15 % на 1 см хода луча света,

соответственно. Основная причина повышения светопоглощения – это наличие дополнительных примесей в стекломатериале, возвратном бое, керамике горшков и мешалок. Наиболее вредные примеси – окислы железа, хрома, никеля, кобальта, которые повышают светопоглощение в стекле. Понижение светопоглощения достигается путем использования химически чистых и тщательно обогащенных стекломатериалов стекловарения, применением технологической оснастки дополнительно защищенной от соприкосновения сырьевой шихты с железными корпусами используемого технологического оборудования.