

## **Лекція 8. Процес варіння оптичного скла**

### **1. Стадії процесу варіння оптичного скла**

Варіння – складний тепловий процес під час якого компоненти суміші скломатеріалу зазнають ряд фізичних і хімічних змін. Процес варіння можна умовно розділити на стадії:

- 1) Силікатоутворення;
- 2) Склоутворення;
- 3) Освітлення;
- 4) Гомогенізація;
- 5) Охолодження.

Склоутворення, освітлення і гомогенізація починаються одночасно. Після закінчення склоутворення останні стадії проходять спільно до завершення процесу варіння. У результаті протікання кожної стадії змінюється стан скла у фізичному і хімічному відношенні по ознаках яких зручно розділити процес варіння.

Силікатоутворення починає відбуватися вже при температурі 400°C коли закінчуються основні хімічні реакції у твердих частках і улетючуються газоподібні сполуки, випаровується вода, а не прореаговані компоненти спікаються. З подальшим підвищенням температури плавляться евтектичні сполуки і деякі солі, тверді речовини розчиняються в розплавах і реакції прискорюються. Більшість реакцій ендотермічні і для прискорення провару потрібна інтенсифікація подачі скла.

Склоутворення починається коли скло являє собою ще пінистий розплав, що насичений частками шихти, кварцу і пухирцями газів. Кварцовий пісок розчиняється в розплаві силікатів, а силікати проварюються, скло стає прозорим, число пузирів і піна зменшується. Склоутворення довготривале особливо для в'язких сумішей скла. Для низькотемпературних склоутворюючих необхідно інтенсивно збільшувати температуру, перемішувати скломішалкою, бурхливим виділенням газів.

Освітлення полягає в звільненні скла від газових пухирців, тобто вирівнювання його у фізичному відношенні. Шихта містить до 18% піску зв'язних газів, що у більшості випаровується в печі але частина їх залишається у вигляді пухирців, розчинених у склі. Гази виділяються з розплаву скла завдяки причинам: зміні хімічного складу, нерівномірному стану хімічно зв'язних компонентів, контакту з парами, кристалами вогнетриву горщика. З газів утворюються пузири, що містять CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, пари води. Велика кількість пузирів

робить скло не придатним для виготовлення оптичних деталей. Щоб легше видалити пузирі потрібно зробити скло менш в'язким і створити в ньому висхідний потік. Для цього підвищують температуру на 100°C вище температури провару шихти, і інтенсивним механічним перемішуванням скла, добавкою до складу скла освітлювачів, які інтенсивно виділяють легкі пузирі  $O_2$ , які сприяють перемішуванню скла і видаленню важких пузирів із  $CO_2$ ,  $CO$ .

Гомогенізація – процес приведення скла до стану хімічної однорідності. В наслідок різнорідності вихідних гранулометричного і хімічного складу компонентів шихти рідке скло складається з часток малих об'ємів різних сплавів між якими є границі розділу. Тепловий і механічний рух часток виникає при проварі й освітлені в склі, розтягує частки, що мають різний хімічний склад і показники заломлення, у потоки, одиночні волокна - звили. Вирівнювання складу потоків відбувається шляхом дифузії. Гомогенізація прискорюється рухом пузирів, конвекційних потоків і мішалки, що розтягує потоки грубих свілей у тонкі волокна, які зникають у результаті дифузії.

Охолодження необхідне для одержання скла в'язкістю, що забезпечує її відлив зі скловарної посудини. При охолодженні в склі продовжуються процеси освітлення і гомогенізації. Режим охолодження повинний втримуватися строго за графіком - щоб уникнути появи кристалізації, порушення теплової і концентраційної рівноваги, мимовільного виділення по всьому об'ємі газів у виді дрібних пузирів.

## **2. Технологічні операції варіння оптичного скла**

Побудова технологічного процесу варіння оптичного скла різних марок у загальному однакові. Розходження полягає в графіку температурних режимів, і в часі затрачуваному на різні операції. Регулювання процесу варіння має на меті одержання скла найвищої якості з мінімальними пороками і дефектами. Технологічний процес варіння оптичного скла поділяють на послідовно виконувані в часі операції:

- 1) виведення горщика;
- 2) засипання і провар шихти;
- 3) освітлення розплаву;
- 4) охолодження скла.

Виведення горщика полягає в тім, що скловарний горщик переміщують з печі випалу (температура 900-1000°C) у скловарну піч (температура 850-900°C). Горщик центрують

відносно осі обертання мішалки для забезпечення рівномірності перемішування. Потім для підвищення опору стінок горщика гарячого скла його нагрівають до температури 1450-1500°C і витримують 2-4 години. Потім охолоджують у печі до рівня необхідного для засипання шихти. Повний час виводка горщика – 10-15 годин.

Засипання і провар шихти – на дно горщика засипають поворотний бій з попереднього скла щоб створити на дні шар скла товщиною в кілька сантиметрів захищаючого дно горщика від роз'їдання суміші скла, що розплавляється. Після бурління розвареного бою засипання суміші скломатеріалу роблять так, щоб вершина конуса, що утворився, була на рівні зрізу горщика. Зверху цей конус покривають шаром бою для прискорення утворення розплаву і зменшення зникнення компонентів шихти. Шихту засипають у 3-5 прийоми, послідовно перемішуючи шихту і поворотний бій.

Освітлення розплаву починається з підвищення температури в печі на 100°C і бурління скла – беруть мокру осикову цурку, набивають на кінець стрижня з жароміцної сталі, яка не утворює оксиди і водять цурку в кругову не торкаючись стінок горщика при цьому вода з цурки випаровується й утворює багато великих бульбашок які викликають бурління скла. Потім вводять у скло розігріту попередньо мішалку, починають перемішування при малій частоті обертання, тому що розплав ще в'язкий, особливо в нижніх, більш холодних шарах. У початковий період перемішування сприяють температурі скла по вертикалі і проварюють шихту. Потім поступово збільшують швидкість обертання до затвердіння провару шихти, тобто коли починається інтенсивне видалення бульбашок. Тривалість освітлення розплаву – 4-5 годин.

Охолодження скла починається після того коли кількість бульбашок зменшується до припустимої межі. Спочатку охолодження ведуть зниженням температури на 50-60°C/год, і не зменшують частоти обертання мішалки тому що освітлення розплаву ще продовжується. При досягненні розплавом в'язкості 10 Па·с з поверхні скла знімають шар скла з піною на глибину до 50 см. Потім швидкість мішалки збільшують, щоб звільнити скло від хімічних неоднорідностей – гомогенізувати. Зі зниженням температури в'язкість скла підвищується, і швидкість мішалки зменшується. При в'язкості 500-1000 Па·с мішалку витягають, відкривають піч і вивозять скловарний горщик, потім починається етап обробки скла. Охолодження скла триває до 35-40 годин.

### 3. Пороки і дефекти скла

Пороки оптичного скла – сторонні включення: пухирі, свілі, кристали і камені, що утворюються в процесі варіння скла в скловарних посудинах через роз'їдання і відколювання їхніх стінок.

Дефекти оптичного скла – відхилення фактичних значень показника заломлення, дисперсії і світлопоглинання від номінальних значень, установлених для даної марки скла відповідними нормативними документами і технічними умовами на його виготовлення.

Пухирі завжди є в склі – мають розмір 0,01-5 мм, великі пухирі легше виходять зі скла в процесі його варіння, а дрібні залишаються в скломасі. Найменш пухирні – крони, легкі флінти і флінти, найбільше пухирні – важкий крон і важкий флінт. Головний спосіб видалення пухирів і зменшення пухирності скла, відповідно – підвищення температури варіння й інтенсивне перемішування скломаси в скловарних посудинах.

Свілі виявляють у склі як поділ об'ємів скла, що відрізняються один від іншого показниками заломлення і хімічним складом. Бувають грубі шаруваті і тонкі одиночні нитковидні свілі. Різниця показників переломлення у свільних об'ємах оптичного скла коливається від  $10^{-6}$  до  $0,1 \cdot 10^{-6}$ . Свілі утворюються також у результаті розчинення матеріалу стінок горщика і корпусу мішалки в скломасі, що приводять до зміни хімічного складу звареного скла. Щоб позбутися від них необхідно проводити інтенсивне перемішування і поступове повільне охолодження скла.

Кристали виділяються із самої скломаси, або привносяться в неї вогнетривом. Відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 3514-76 розміри кристалів прирівнюються до пухирів. При порушенні режимів варіння може початися неприпустима кристалізація скла. Щоб її уникнути необхідно якнайшвидше проходити температурну область кристалізації скломаси.

Камені приносяться в скло ззовні, досить рідкий порок скла, може виникати ще через роз'їдання скломасою дна горщика. Шматок кераміки від горщика потрапляє в скло, під її впливом округляється, зменшується в розмірах і перетворюється в тонку свіль.

Відхилення показника заломлення  $n_e$  і дисперсії  $n_F - n_C$  – відбуваються через принесення в скло компонентів роз'їдання стінок горщика і нерівномірності зникнення компонентів суміші сировинних матеріалів у процесі варіння. Ці два процеси утрудняють одержання гарної повторюваності складу скла від одного варіння до іншого в промислових умовах.

Світлопоглинання в оптичному склі досягає 0,4-1,5 % на 1 см. довжини ходу променя світла в скломасі, а у надпрозорому склі 0,1-0,15 % на 1 см. ходу променя світла, відповідно.

Основна причина підвищення світлопоглинання – це наявність додаткових домішок у скломатеріалі, поворотному бої, кераміці горщиків і мішалок. Найбільш шкідливі домішки – окисли заліза, хрому, нікелю, кобальту, що підвищують світлопоглинання в склі. Зниження світлопоглинання досягається шляхом використання хімічно чистих і ретельно збагачених скломатеріалів скловаріння, застосуванням технологічного оснащення додатково захищеної від зіткнення сировинної шихти з залізними корпусами використовуваного технологічного устаткування.