

Forni da vetro

Esistono due tipi di processo per trasformare le materie prime in vetro liquido con le adeguate caratteristiche:

Processo Continuo.

Processo Discontinuo.

Il modo di condurre il processo può influenzare molto sia la qualità del vetro sia l'efficienza energetica. L'atmosfera può influenzare l'equilibrio ossidativo del vetro, andando a modificarne il colore. Il tipo di atmosfera incide inoltre sulla tensione superficiale del vetro, la quale è in relazione con i flussi convettivi generati nel bagno e quindi con l'omogeneità del vetro stesso. Le interazioni vetro-refrattari determinano sia la qualità finale del vetro sia la vita utile della fornace. Ogni impianto avrà un determinato equilibrio, ottenuto cercando di bilanciare le differenze necessità di produzione.

Il Processo Discontinuo è svolto in forni a crogiolo, non solo è il più antico metodo per produrre il vetro ma è ancora il più conveniente per vetri prodotti in piccole quantità e che richiedono un frequente cambio di composizione (come ad esempio vetri per scopi artistici, vetri con finalità ottiche, vetri per scopi scientifici). Il processo produttivo che dura circa 24h consiste nel caricare il crogiolo consecutivamente, in quanto il volume della polvere di vetro è molto maggiore rispetto a quello del vetro fuso, stando contemporaneamente attenti alla perdita di polveri fini data la presenza di correnti convettive. L'affinamento, la fusione e l'omogeneizzazione avvengono simultaneamente all'interno del forno. La fusione inizia ad avvenire nelle aree più calde ovvero quelle più esterne e progressivamente si estende all'interno della massa vetrosa. Una volta che tutto il materiale è fuso la temperatura inizia a salire raggiungendo circa i 1500 1600 °C e si ha l'omogeneizzazione e l'affinamento del fuso. Una volta finite queste fasi il fuso deve essere lasciato riposare fino a che non raggiunge la temperatura e quindi la viscosità necessaria alle successive lavorazioni. Nel processo batch la temperatura cambia con variare del tempo. Solitamente all'interno del forno ci sono più crogioli, ciascuno dei quali contiene da 50 a 1000 kg di vetro fuso. I refrattari utilizzati sono silico alluminosi per le pareti del forno, silicei per la volta e AZS per il fondo. I vantaggi principali di questo tipo di processo sono la flessibilità di produzione e il basso costo dell'impianto. Il principale svantaggio è l'elevato consumo energetico dovuto a un basso recupero di calore, a perdite termiche nel forno e al fatto che una consistente parte del vetro non è rimossa dal crogiolo durante il suo svuotamento (conseguentemente viene scaldata più volte).

Sempre per il processo discontinuo sono stati sviluppati forni a vasca giornaliera che hanno il vantaggio di essere più sicuri ed efficienti dei forni a crogiolo.

Il Processo Continuo sviluppato nel 1850 dalla Siemens è svolto in forni a bacino che operano in continuo ad alte temperature grazie all'uso di rigeneratori. Questi permettevano una diminuzione del carburante necessario al riscaldamento (fino al 70%). Nel processo continuo i vari stadi di temperatura variano non nel tempo, ma nello spazio. Le varie aree di processo si sviluppano lungo l'asse principale della vasca e il vetro passa con continuità dall'una all'altra fino alla sua estrazione. Una volta che le caratteristiche volute nel prodotto sono definite, la temperatura delle varie zone è fissata e mantenuta costante. I minerali caricati dall'apertura vengono fusi, omogeneizzati, affinati e dopo un leggero raffreddamento il vetro viene estratto. Esistono vari forni continui con differenti dimensioni. I forni possono essere divisi in due categorie in base alla geometria dei bruciatori: Forni con fiamme

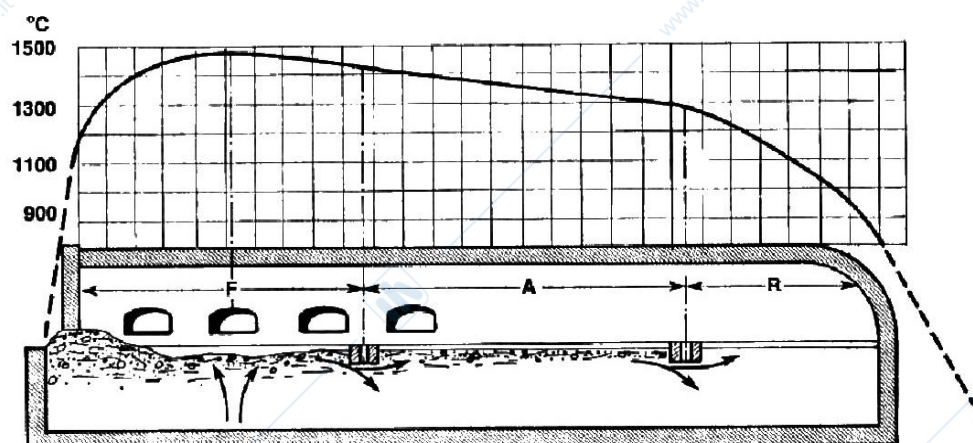
trasversali (4/5 torrette) e forni con fiamme ad U. Il calore viene recuperato tramite rigeneratori o recuperatori. Un'ulteriore distinzione può essere fatta fra forni a vasca aperta o singola e forni a vasca doppia, nei quali la vasca di fusione e quella di lavoro/riposo sono separati da canali di diversa forma. I primi usati solitamente per i vetri piani data la miglior omogeneizzazione ottenibile. I secondi usati solitamente per i vetri cavi dato il miglior controllo sulla temperatura del vetro estretto.

I principali parametri per confrontare i vari forni sono:

- Il volume del forno
- La produzione giornaliera
- La produzione durante la vita utile del forno
- Il volume della vasca di fusione

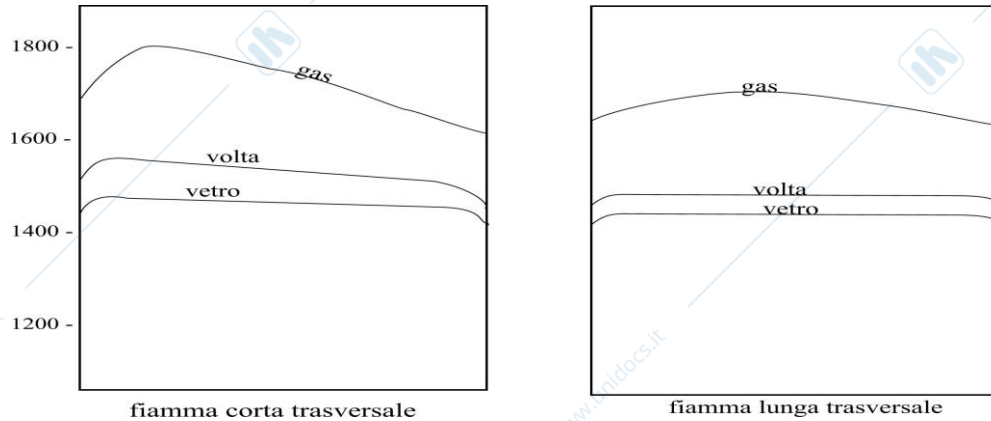
Mediamente la vita utile di un forno continuo è di circa 6-7 anni.

Nei forni continui le varie fasi di fusione delle materie prime e lavorazione del vetro fuso avvengono durante il movimento della massa di materiale dall'area di carico fino a quella di estrazione. Il riscaldamento nei forni continui è effettuato attraverso bruciatori (solitamente 4 o 6) disposti ai lati della vasca in apposite aperture chiamate torrini. I torrini sono orientabili indipendentemente gli uni dagli altri in maniera tale da ottenere la giusta distribuzione di temperatura lungo gli assi principali del forno. Le fiamme (T circa di 1600/1700 °C) sono mantenute accese alternativamente per 20 minuti in questa maniera è possibile preriscaldare l'aria di combustione usando i gas esausti. La trasmissione di calore avviene per sia per convezione sia per irraggiamento.



Andamento delle temperature in un forno a vasca unica.

Le fiamme possono essere lunghe o corte. Fiamme corte producono una temperatura maggiore di quella prodotta da fiamme lunghe. Da un punto di vista di bilancio termico sembrerebbero più convenienti le fiamme corte ma dato che una temperatura più alta porta ad una maggiore corrosione dei refrattari e ad una forte disomogeneità termica nella direzione trasversale sono preferite le fiamme lunghe.



I forni possono essere suddivisi in due zone principali:

Zona di fusione e affinaggio, dove il vetro assorbe calore dalle fiamme

Zona di lavorazione dove il vetro trasferisce calore alla volta e alle pareti

La presenza di barriere ha una grande influenza sul profilo di temperatura longitudinale, dopo la barriera la temperatura decresce. Per questa ragione la temperatura del vetro nei forni a vasca singola ha un andamento più continuo. Al fine di regolare opportunamente la T del vetro nella zona di lavorazione viene sistemato nei forni a volta unica sopra lo sbarramento immerso nel vetro, uno sbarramento a nido d'ape che consente di convogliare la quantità di gas necessari al mantenimento della temperatura voluta.

Il profilo di temperatura è lineare solo nella base e nella volta dove il trasferimento è affidato alla conduzione. Nel vetro fuso dove il meccanismo predominante è l'irraggiamento il profilo di T ha un andamento curvilineo. La radiazione può penetrare nel vetro solamente se esso è trasparente, per questo motivo il gradiente di temperatura fra superficie e bulk del fuso dipende fortemente dalla composizione e quindi dal colore del vetro. I gradienti di temperatura esistenti lungo l'asse maggiore e lungo quello minore della vasca portano alla formazione delle correnti convettive del vetro. All'interno del bacino si fa in modo di avere un unico punto a T più alta, chiamato punto sorgente, fisicamente più alto poiché la densità del vetro sarà minore, posizionato vicino alla zona di carico. Il punto più caldo agisce come una sorgente che, richiamando vetro dagli strati più profondi, lo distribuisce in superficie in tutte le direzioni. Le velocità delle correnti dipendono dalle differenze di temperatura esistenti fra il punto sorgente e i punti verso le quali le correnti sono dirette, risultando massime in corrispondenza all'asse maggiore del forno.

Si possono distinguere 4 correnti principali:

2 longitudinali: corrente di fusione (verso la zona di caricamento) e corrente di lavoro (verso la zona di lavoro)

2 trasversali dirette verso le pareti.

Il punto sorgente adempie a diversi compiti. Invia una corrente calda al di sotto della massa vetrosa favorendo la fusione del vetro in profondità. Funge da sbarramento alla massa vetrosa, limitando la quantità di vetro inviata nella zona di lavorazione e quindi regolando la massa estratta. Omogenizza il bagno di vetro fuso sia dal punto di vista termico sia dal punto di vista chimico.

Un forno a vasca singola ha una circolazione molto pronunciata producendo un vetro di ottima qualità ma avendo un elevato consumo di carburante. Per questo tale tipo di forno si usa per i vetri piano dove è necessario avere un'elevata qualità del vetro.

Un forno a vasca doppia si separano le due vasche per avere una distribuzione più uniforme della temperatura e quindi limitare le correnti e limitare la circolazione del fuso, ottenendo una qualità minore a fronte però di un minore consumo di carburante.

Le correnti effettive sono date dalla somma di quelle termiche e quelle meccaniche.

Poiché il calore è principalmente trasferito tramite irraggiamento l'estensione di vetro coperto da miscela influenza la qualità del vetro. Se si aumenta l'estrazione, nell'ottica di aumentare la produzione si potrebbero generare correnti meccaniche che portano a far superare il punto sorgente a della miscela, la quale genererà nelle parti del forno a T più basse copiosi difetti (infusi), in quanto non fonderà adeguatamente. Si possono utilizzare gorgogliatori per andare a accentuare l'effetto del punto sorgente pur mantenendo un flusso estrattivo sostenuto. I gorgogliatori inoltre possono essere usati per ridurre gli affinantanti.

Per migliorare la qualità del vetro, aumentare la produttività o portare a fusione vetri richiedenti T più alte si possono utilizzare elettrodi di grafite o molibdeno posizionati sul fondo della vasca in determinati punti (boosting elettrico).

Per quanto riguarda il preriscaldamento dei gas si possono usare o recuperatori metallici, che consentono un riscaldamento di circa 800 °C o rigeneratori ceramici (strutture honeycomb di refrattari), che consentono un riscaldamento fino a 1300°C con un recupero di circa il 50% del calore dai gas esausti. Particolare cura deve essere prestata al mantenimento della pulizia di questi sistemi, onde prevenire incrostazioni che produrrebbero un calo di efficienza energetica dell'intero forno.

Più recenti sono i Forni Elettrici, che usano elettrodi sul fondo della vasca per scaldare il fuso per effetto Joule. I vantaggi principali sono l'elevata efficienza di tali forni, la piccola quantità di gas sviluppati essenzialmente CO₂ e H₂O e l'elevata uniformità termica. Mentre il principale svantaggio consiste nel costo dell'energia elettrica necessaria per questi forni.