فصل دوم

ساخت مذاب

ساخت مذاب

تصویر ورودی پودمان، تصویری از باراریز کوره شیشه است.

در شکل ۱صفحهٔ ۳۹مواد اولیهٔ فراوری شده ، مذاب آماده شده و در انتها محصول شیشه‌ای آورده شده است.
هنرآموزان محترم با استفاده از فیلم آموزشی تهیهٔ شیشه که در سایت رشد به آدرس www.Roshd.ir قرار گرفته است می‌توانند پروسهٔ تولید شیشه را به شیوهٔ بهتری آموزش دهند.

نمودار ۱ و متن صفحه۳۹: برای تهیه مذاب باید سه فرایند کلی صورت پذیرد. این سه عملیات در کوره‌های شیشه (از هنگام ریختن آمیز به درون کوره تا انتهای کوره که مذاب ایده آل خارج می‌شود) انجام می‌شود.

۱ تشکیل مذاب (ذوب شدن آمیز)
۲ تصفیه کردن مذاب (حباب زدایی)
۳ هموژن شدن و تنظیم گرانروی مذاب

شکل ۲ صفحه ۳۹: قسمت ورودی کوره که متناسب با ظرفیت کوره آمیز به درون کوره به صورت مرحله به مرحله (به گونه‌ای بچ درون کوره ریخته می‌شود که خاک روی خاک ریخته نشود و فرصت ذوب اولیه را داشته باشند) با مقطعی پیوسته را نشان می‌دهد.

دستگاه بچ‌شارژر(بارریز) در جهت افقی می‌تواند دامنه حرکتی کمی داشته باشد بدین صورت که در برگشت مقدار معینی بچ روی آن ریخته و هنگام حرکت به سمت ورودی کوره بچ‌ها را به‌درون کوره ریخته سپس به عقب برمی گردد تا بچ روی آن ریخته شود. این شیوه باعث تغذیه کوره به‌صورت تدریجی می‌شود.

نمودار ۲ صفحه ۴۰ واکنش‌های انجام شده در آمیز شیشه هنگام ذوب را نشان می‌دهد.

خروج رطوبت
- آب‌های فیزیکی و شیمیایی موجود در آمیز خارج می‌شود.

تجزیه
- ترکیبات کربناتی و سولفاتی تجزیه شده و گاز تشکیل می‌شود.

ذوب
- پس از شکل‌گیری مذاب اولیه، مواد ذوب نشده باقیمانده در مذاب حل و ذوب می‌شوند.

به کمک حرارت تولید شده توسط مشعل‌ها و با افزایش دمای درونی آمیز فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی زیر در آمیز رخ می‌دهد که در نهایت منجر به تولید مذاب می‌شوند.

۱ تبخیر آب‌های موجود در آمیز (آب‌های آزاد، مقید، ساختاری)

۲ تجزیه شدن و سوختن مواد آلی که باعث تشکیل اجزای گازی موجود در مواداولیه مانند(So_3 , So_2 , Co_2 ,Co) که از آمیز خارج می‌شوند.

۳ ذوب شدن کمک ذوب‌ها (چون دمای ذوب آنها پایین است)

۴ ذوب شدن کامل آمیز

نکته

به‌علت بالا بودن دما هنگام ذوب شیشه، اگر مذاب در این دما برای مدت زمان طولانی باقی بماند بعضی از اجزای آن تبخیر می‌شود مانند (PbO, B_2O_3, Na_2O, K_2O)

فعالیت کلاسی

صفحه ۴۰: در این فعالیت از هنرجویان خواسته شده است که دو نوع ماده اولیه کربناتی و سولفاتی را نام ببرند و واکنش تجزیهٔ آنها را بنویسند. هنرجو می‌تواند به واکنش تجزیه شدن مواد کربناتی مانند کربنات‌های سدیم، پتاسیم و دولومیت و مواد سولفاتی مانند سولفات‌های سدیم و کلسیم اشاره کند:

$$Na_2CO_3 \longrightarrow Na_2O + CO_2$$

$$K_2CO_3 \longrightarrow K_2O + CO_2$$

$$CaMg(CO_3)_2 \longrightarrow CaO.MgO + 2CO_2$$

$$Na_2SO_4 \longrightarrow Na_2O + SO_2.\frac{1}{2}O_2$$

$$CaSO_4 \longrightarrow CaO + SO_2.\frac{1}{2}O_2$$

صفحهٔ ۴۰ و۴۱: نحوهٔ ذوب‌گیری با کوره‌های گاز سوز و الکتریکی توضیح داده شده است.

بهتر است هنرآموزان محترم قبل از انجام فعالیت عملی ذوب، روش صحیح کار با کوره موجود در کارگاه هنرستان را با رعایت نکات ایمنی به هنرجویان آموزش دهند و از تک به تک آنها بخواهید که این مراحل را تحت نظارت شما انجام دهند تا مهارت لازم را فرا گیرند، سپس فعالیت عملی ذوب انجام شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱ در صفحه ۴۱ با عنوان تهیهٔ مذاب شیشه سیلیکاتی مطرح شده است، این آمیز مشابه شیشه سودالایم است که لازم است طبق فعالیت کارگاهی ۴ صفحهٔ ۳۰ پودمان اول توسط هنرجویان و با راهنمایی هنرآموزان آماده‌سازی شود. سپس باید با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب انجام شود.

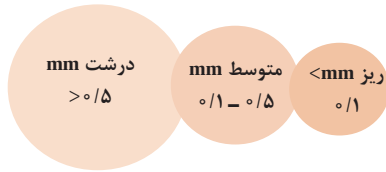
نکته

آمیز ارائه شده در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

صفحه ۴۲ و ۴۳، شکل۳ و ۴ به مشکل وجود حباب‌ها در مذاب شیشه اشاره دارد که باعث بروز عیب و کاهش مقاومت شیشه (سایش و خراش، ضربه‌پذیری، مقاومت شیمیایی) و کیفیت شیشه به‌خصوص در جلوگیری از عبور نور می‌شود.

صفحه ۴۳: نمودار ارائه شده در این صفحه به انواع حباب‌ها اشاره کرده است که از لحاظ اندازه و نام‌های لاتین بیان شده است که در صنایع شیشه نیز این‌گونه مشخص می‌شوند:

۱ ریز (Seed): حباب‌هایی با قطر کمتر از ۰/۱ میلی‌متر
۲ متوسط (Blister): حباب‌هایی با قطر ۰/۱ میلی‌متر تا ۰/۵ میلی‌متر
۳ درشت (Bubble): حباب‌هایی با قطر بزرگ‌تر از ۰/۵ میلی‌متر

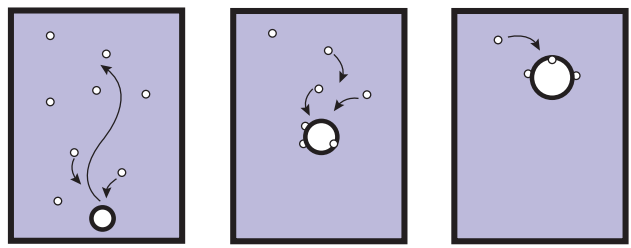


متن صفحهٔ ۴۴: مکانیزم‌های مختلف حل کردن گازها و حباب‌ها درون مذاب را توضیح می‌دهد. لازم به ذکر است فرایند حل شدن در مخزن تصفیه (ریفاینر) کوره و در قسمت اول کانال ایجاد شرایط حرارتی (فورهارث) که نسبت به مخزن ذوب با دمای پایین‌تری انجام می‌شود.
در این قسمت عموماً حباب‌های ریز (Seed) را می‌توان در مذاب تا حدودی حل کرد.

نکته

صفحه ۴۴ به این نکته اشاره شده است که مقدار حباب زدایی مذاب بستگی به کارآیی محصول شیشه‌ای دارد. مثلاً شیشه عدسی عینک یا لنز دوربین‌ها باید ۱۰۰ درصد حباب زدایی شوند ولی یک شیشه نوشابه یا مربا لازم نیست که حتماً ۱۰۰ درصد حباب‌زدایی شود.

حباب‌زدایی کامل شیشه مستلزم صرف زمان، مواد و مکانیزم‌های هزینه‌بر است بنابراین منجر به کاهش تولید و افزایش قیمت تمام شده محصول می‌شود.



شکل ۵ و متن صفحهٔ ۴۴: روش‌های خارج کردن گازها و حباب‌ها از مذاب است.
این روش‌ها عبارت‌اند از :

۱ افزودن مواد حباب‌زا به آمیز شیشه
این مواد در دماهای بالا گاز تولید می‌کنند.

۲ دمیدن هوا (اکسیژن) با دستگاهی به نام بابلر که از سوراخ‌هایی که در قسمت تروت[1] (گلوگاه مابین مخزن ذوب و ریفاینر) تعبیه شده است به درون مذاب انجام می‌شود.

این گازها از مواد حباب زا ایجاد می‌شود و هوا دمیده شده با بابلر باعث بزرگ‌تر و پر فشارتر شدن حباب‌های گیر افتاده در مذاب می‌شود که باعث بالا آمدن حباب‌ها در مذاب و خارج شدن آنها از مذاب می‌شود.

۳ هم زدن بسیار آرام مذاب با همزن مکانیکی

نکته

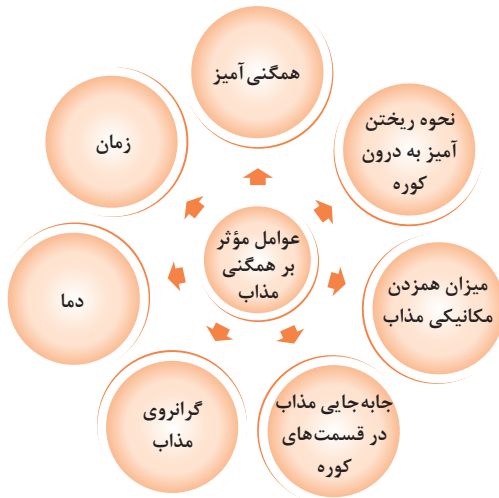
چنانچه همزن مکانیکی که در قسمت ریفاینر کوره در بعضی از کارخانه‌ها استفاده می‌کنند با سرعت بالایی در مذاب حرکت کند باعث وارد شدن هوا درون مذاب می‌شود که منجر به تولید حباب‌های بیشتر درآن می‌شود.

صفحه ۴۵:

فعالیت کلاسی

هنرآموز محترم تعدادی از محصولات شیشه‌ای مختلف را در اختیار هنرجویان قرار دهید تا مقدار و نوع (اندازه) حباب موجود در آنها را بررسی کنند.

شکل ۶ و متن صفحه ۴۵: مربوط به همگنی مذاب از لحاظ شیمیایی (ترکیب آمیزمذاب) و هم از لحاظ فیزیکی (به‌خصوص گرانروی) است که تأثیر مستقیم بر تمامی خصوصیات و ویژگی‌های محصول تولیدی می‌گذارند. عوامل مختلفی در ایجاد مذاب همگن مؤثرند که در نمودار زیر اشاره شده است:



۱ـ Throat گلوله‌گاه

در متن کتاب عوامل مؤثر بر همگنی مذاب بیان نشده است و سعی شده است به‌صورت خلاصه در حد سه پارامتر بیان شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲ صفحه ۴۵ تهیه مذاب شیشه بور و سیلیکاتی است، این بچ مشابه شیشه بوروسیلیکاتی است که طبق فعالیت کارگاهی ۵ صفحه ۳۲ پودمان اول هنرجویان با راهنمایی هنرآموزان محترم مواد اولیه را آماده سازی کرده و سپس با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب را انجام می‌دهند.
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰تا ۱۲۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

نکات مورد توجه :

الف) به دلایل اشاره شده در زیر، لازم است به قدری آمیز درون بوته ریخته شود که تقریباً نصف حجم بوته خالی باشد و سرعت حرارت دادن در مرحله اولیه آهسته باشد:

۱ بوراکس در ابتدای مرحله حرارت دادن افزایش حجم زیادی دارد.

۲ آب ساختاری زیادی از آمیز خارج می‌شود باعث پاشیدن آمیز به بیرون از بوته نشود.

۳ در ابتدای فرایند ذوب شدن آمیز کف می‌کند.

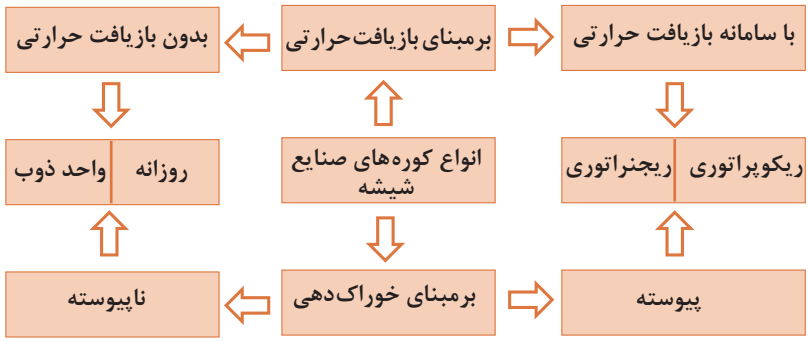
ب) هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد مذاب در حرارت نگه داشته نشود زیرا باعث می‌شود بور اکسید تبخیر شود واین امر باعث تغییر آنالیز شیشه و کدر شدن آن می‌شود.

صفحهٔ ۴۶ و جدول ۳: انواع کوره‌هایی که در صنایع شیشه‌سازی استفاده می‌شود از جنبه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

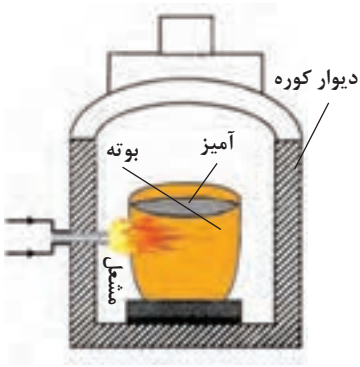
۱ پیوسته بودن یا ناپیوسته بودن

۲ دارای سیستم بازیافت حرارت

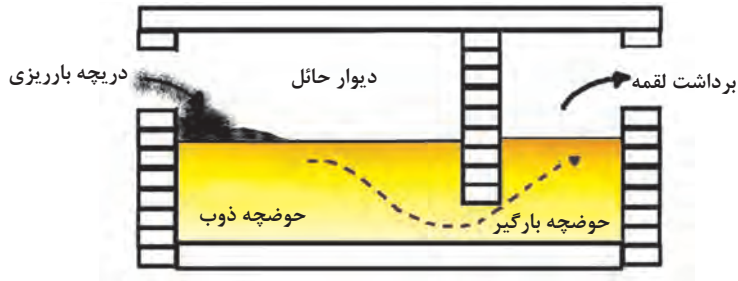
انواع کوره‌های مورد استفاده در صنعت شیشه‌سازی در نمودار زیر آمده است:

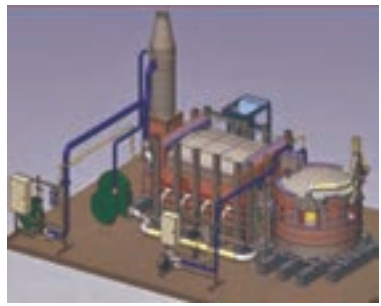


شکل ۷ صفحه ۴۷: کورهٔ بوته‌ای را نشان می‌دهد. این کوره‌ها به‌صورت پاتیلی و بوته‌ای ساخته می‌شوند. حجم کوره‌های بوته‌ای بسیار کوچک است و ظرفیت تولید مذاب در آنها کمتر از ۱ تن در روز است. بیشتر از این نوع کوره‌ها برای تولید محصولات شیشه‌ای کوچک استفاده می‌شود.



شکل‌های ۸ و ۹ و۱۰ و۱۱ صفحه‌های ۴۷ و ۴۸ و ۴۹: نمایی از کوره‌های روزکار را نشان می‌دهد.





دلیل نام‌گذاری این کوره‌ها به دلیل فعالیت آن در طول روز است که در کارگاه‌های شیشه‌سازی عموماً در یک و گاهی به‌ندرت در دو نوبت‌کاری از این کوره‌ها مذاب برداشت می‌شود اگر چه کوره به‌صورت دائم و پیوسته روشن است. نحوهٔ کار با این کوره‌ها بدین صورت است که آمیز می‌تواند به سه صورت تغذیه شود:

۱ فقط از ضایعات شیشه (خرده شیشه) جمع‌آوری شده از بازار.

۲ زیادی خرده شیشه (گاهی ۵۰ درصد و حتی بیشتر) همراه با مواد اولیه

۳ مواد اولیه: درآمیز مواد اولیه نسبت به محدوده شیشه‌های سودا لایم، با تنظیم میزان سیلیس کمتر و کمک ذوب بیشتر و حتی درصدی بوراکس یا بوریک اسید یا سرنج که باعث کاهش دمای ذوب وگرانروی می‌شوند، مواد آماده شده و سپس در حوضچه ذوب ریخته می‌شود. پس از تشکیل مذاب و ورود مذاب در حوضچه بارگیر کمی دما کاهش می‌یابد که منجر به افزایش گرانروی مذاب (تنظیم گرانروی مذاب برای شکل‌دهی) می‌شود. از سوراخ‌هایی که در دیوارهٔ حوضچهٔ بارگیر تعبیه شده است از مذاب لقمه گرفته شده و عملیات شکل‌دهی انجام می‌شود. به محض اینکه حجم مذاب (ارتفاع مذاب) کاهش یافت مجدداً آمیز به درون حوضچه ذوب ریخته می‌شود.

در کارگاه‌های شیشه‌سازی اگر چه کوره‌ها به‌صورت پیوسته روشن است ولی عملیات شکل‌دهی به صورت مقطعی و در نوبت‌های روز انجام می‌شود.

این کوره‌ها به دو صورت کار می‌کنند:
۱ سنتی بدون تجهیزات سیستماتیک (دستی و با تجربه‌های شخصی ساخته‌می‌شود.)
۲ صنعتی با تجهیزات سیستماتیک (با نقشه‌های طراحی شده و محاسباتی ساخته می‌شود.)
کارگاه‌های شیشه‌سازی کشورمان اغلب کوره‌ها از نوع سنتی هستند که با تجربه استادکاران شیشه‌گر که کوره را با آجرهای دیرگداز دست دوم موجود در بازار یا خشت‌هایی که خودشان از ترکیبات سیلیسی تهیه می‌کنند می‌سازند.

نکته

۱ دیرگدازهای کف و دیواره‌های کوره‌های صنعتی از جنس آجرهای زاگ با ابعاد بزرگ است که به روش ذوب و ریخته‌گری تهیه شده اند و سقف آنها از جنس سیلیسی است.
۲ علت اینکه آجرهای کف و دیوار به‌خصوص تا ارتفاع بارریز (ارتفاع مذاب) باید دارای ابعاد بزرگ باشند این است که درز مابین آجرها کمتر باشد تا از خوردگی ونفوذ مذاب جلوگیری شود.

کار عملی ۳ صفحه ۴۹:

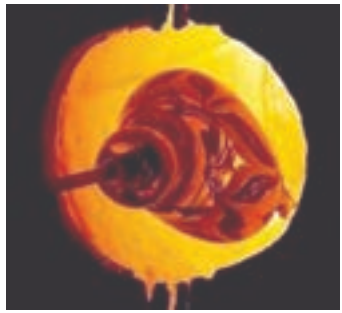
فعالیت کارگاهی

این فعالیت در مورد تهیه مذاب شیشه سربی است که بچی مشابه شیشه سربی دارد و طبق فعالیت کارگاهی۶ صفحهٔ ۳۴ پودمان اول هنرجویان باید مواد اولیه را آماده سازی کنند، سپس با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب کنند.
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

تذکر

هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد به دلایل زیر نباید مذاب را در آن حرارت بالا نگه داشت :
۱ سرب اکسید تبخیر می‌شود واین امر باعث :
الف) تغییر آنالیز شیشه و کدر شدن شیشهٔ تولیدی می‌شود.
ب) بخارات سرب اکسید وارد محیط شده که منجر به آلودگی زیست محیطی می‌شود.
۲ احیا شدن سرب، بدین معنی که سرب اکسید به فلز سرب تبدیل می‌شود. فلز سرب خواص شیشه‌ای ندارد. اکسیدهای سربی که به فلز سرب تبدیل می‌شوند به‌صورت براده‌های فلز سرب در نمونهٔ شیشه تهیه شده وجود دارند. به دلیل این تبدیلات به شدت کیفیت شیشه کاهش می‌یابد. حتی چنانچه این تبدیلات از حدی بیشتر شود مذاب به شیشه تبدیل نمی‌شود.

شکل ۱۲ و متن و نکته صفحهٔ ۵۰ مراحل و نحوه کوره بانی کوره‌های بوته‌ای و مخزنی روزکار را از ابتدای بارگیری تا انتها، که برداشتن لقمه است را تشریح می کند.



دانش افزایی

پس از ساخت کورهٔ مخزنی روزکار قبل از بارگیری، باید کوره روشن شود و طی چند روز با اتمسفر احیایی به گونه‌ای که بر روی سطوح داخلی آجرهای کوره لایه‌ای از دوده بنشیند، بسیار آرام حرارت داده می‌شود. در بعضی از کارگاه‌ها برای ایجاد اتمسفر احیایی در این مرحله درون کوره ضایعات لاستیک یا پلاستیک ریخته می‌شود.

چنانچه دیوار کوره دوداندود شود مانع از خوردگی آجرها به‌وسیله مذاب شیشه می‌شود.

پس از دودی شدن دیواره‌ها، دمای کوره افزایش داده می‌شود تا کوره گرم شود (حدوداً ۹۰۰ درجه سلسیوس) سپس آمیز به صورت مرحله به مرحله به درون قسمت بار ریز ریخته شده و هم زمان دما را افزایش می‌دهند.

پس از ریختن آمیز تا ارتفاع مورد نظر طی چند روز (گاهی تا ۳ روز) کوره حرارت داده می‌شود تا با حرارت آن آمیز کاملاً ذوب شده وتبدیل به مذابی با گرانروی مناسب شود. در این حالت مذاب با عبور از کانال گلوگاه به قسمت حوضچه بارگیر وارد شود.

در قسمت حوضچهٔ بارگیر با زمان دادن به مذاب چند ساعت تا یک روز سعی می‌شود تا مذاب کاملاً تصفیه شود. پس از تصفیه شدن مذاب دما را کمی کاهش می‌دهند تا گرانروی مذاب مقداری افزایش یابد و برای شکل دهی به روش‌های دستی آماده شود.

نکته

با نمونه‌برداری لقمه شیشه و شکل دادن وضعیت گرانروی مذاب را برای شکل‌دهی بررسی می‌کنند.
اگر گرانروی مذاب برای شکل‌دهی ایده‌آل باشد قدرت حرارت دهی مشعل‌ها ثابت نگه داشته می‌شود تا دما ثابت باشد و گرانروی مذاب بدون تغییرتا پایان مرحله شکل دهی باقی بماند.

فعالیت کارگاهی

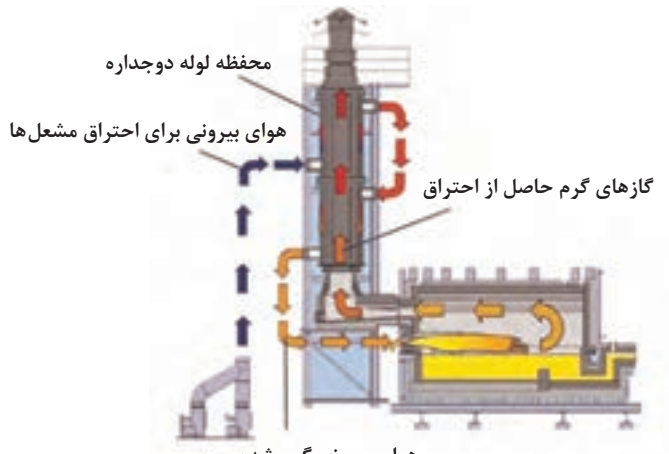
کار عملی۴ صفحه ۵۱ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا است که آمیزی مشابه شیشه سودا لایم دارد و باید طبق کار عملی ۴ صفحهٔ ۳۰ پودمان اول هنرجویان آماده‌سازی کنند و به آن به میزان ۰/۵ الی۱ درصد مواد حباب زدا شامل (ارسنیک اکسید یا آنتیموان اکسید یا سدیم سولفات یا سدیم نیترات) اضافه شود و پس از آماده سازی آمیز با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب کنند.

نکته

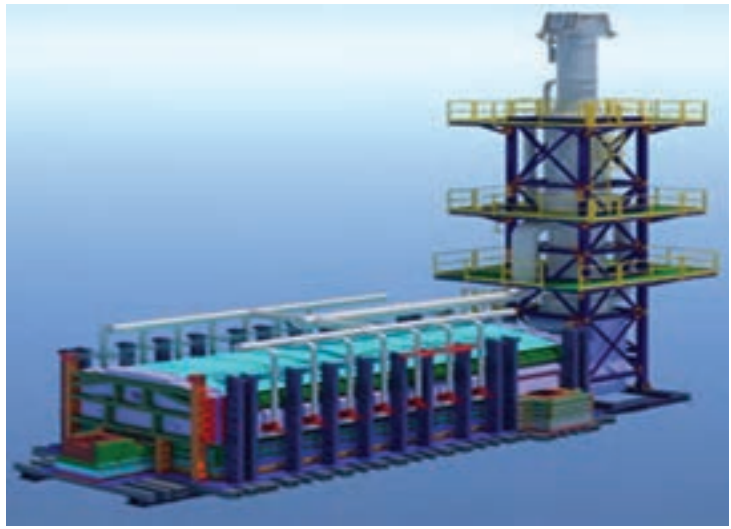
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰تا ۱۲۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

متن صفحهٔ ۵۱ و ۵۲ مربوط به کوره‌های پیوسته است که دارای سیستم بازیافت حرارتی هستند و شناخته‌ترین سامانه‌های بازیافت حرارتی عبارت‌اند از ریکوپراتوری و ریجنراتوری. کوره‌های ریکوپراتوری و ریجنراتوری از لحاظ ساختمان درونی مشابه هم بوده و تنها تفاوت آنها در سامانه‌های بازیافت حرارتی است.

شکل۱۳ صفحهٔ ۵۲ کوره‌های ریکوپراتوری که برای کارخانه‌هایی با ظرفیت روزانه ۱۰ الی ۶۰ تن شیشه است را نشان می‌دهد.



یک روش ساده گرم کردن هوای مورد نیاز برای عمل احتراق مشعل‌ها استفاده از سامانهٔ ریکوپراتوری است این سامانه از دو محفظهٔ (لوله) درون هم تشکیل شده است.



کورهٔ ریکوپراتوری

از محفظهٔ درونی گازهای خروجی (گازهای حاصل از احتراق مشعل‌ها و تجزیه‌مواد) بسیار داغ عبور می‌کند و از محفظهٔ بیرونی هوای مورد نیاز برای مشعل‌ها با دمای محیط، عبور می‌کند. جنس لوله درونی از فلزاتی ساخته می‌شود که دارای خاصیت هدایت حرارتی بالایی باشند.

ریکوپراتور

هوای مورد نیاز برای احتراق پس از گرم شدن در اثر تبادل حرارتی از یک کانال عایق‌بندی شده به صورت مداوم و یکنواخت به سمت مشعل‌ها هدایت می‌شود. مشعل‌ها در کوره‌های ریکوپراتوری در ابتدای کوره یا در دیواره‌های جانبی نصب می‌شوند که هوای مورد نیاز احتراق مشعل‌ها که به‌وسیله ریکوپراتور (داغ شده است) تأمین می‌شود.

ظرفیت تولید مذاب در کوره‌های ریکوپراتوری	۱۰ الی ۶۰ تن در روز
دمای هوای مورد استفاده برای مشعل	۴۰۰ الی ۸۵۰ درجه سلسیوس

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد کوره‌های ریکوپراتوری موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

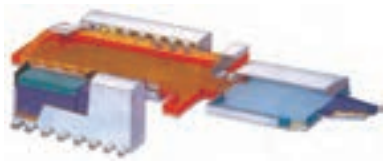
۱ مطالعهٔ بخش کوره‌ها از مجموعه سه جلدی شالوده صنعت شیشه ،ناشر شرکت شیشه قزوین

۲ بازدید از کارخانه‌های شیشه ظروف

فکر کنید

صفحهٔ ۵۲ در زمینهٔ جنس لولهٔ درونی کوره ریکوپراتوری، هر چقدر هدایت حرارتی لوله داخلی ریکوپراتور بیشتر باشد راندمان تبادل حرارتی مابین دودها و هوای ورودی افزایش می‌یابد که منجر به افزایش دما هوای مورد مصرف در احتراق مشعل‌ها می‌شود.

در صفحهٔ۵۳، شکل‌های ۱۴ و ۱۵ کوره‌های ریجنراتورکه سیستم بازیافت حرارتی این کوره‌ها چکر است را از لحاظ موقعیت قرار گیری چکرها نشان می‌دهد که به دو صورت پشت گذر و پهلوگذر (کنار گذر) وجود دارند.

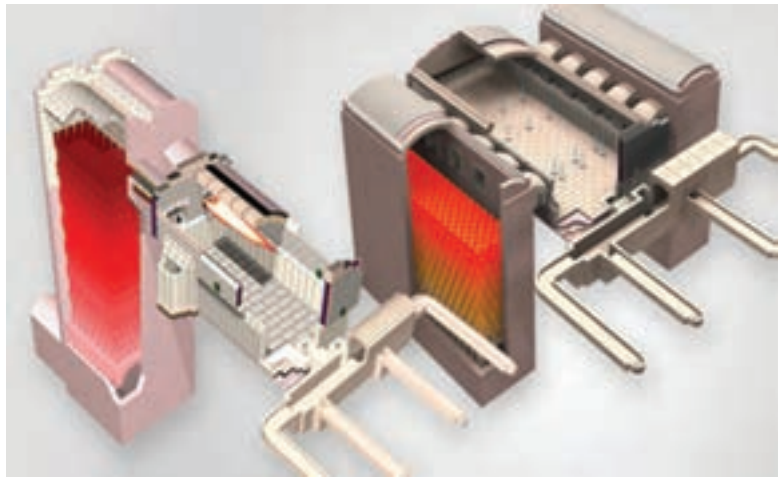


نکته

برای تولید شیشه در مقادیر ۱۰۰ تا ۱۲۰ تن از کوره‌های ریجنراتور با چکر پشت گذر و برای ظرفیت‌های زیادتر از کوره‌ها با چکرهای پهلوگذر استفاده می‌شود.

در کوره‌های ریجنراتوری (Regeneratore) برای گرم کردن هوای مورد نیاز احتراق مشعل‌ها از سامانه چکر استفاده می‌شود.

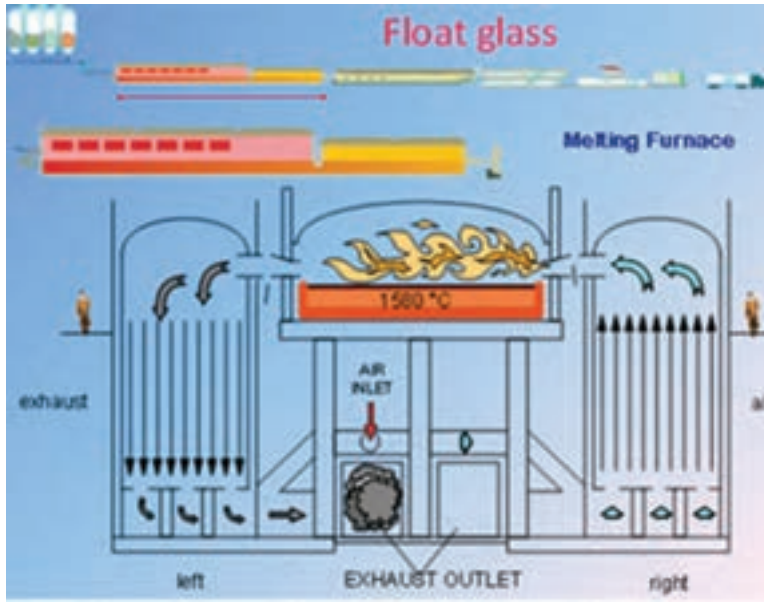
چکرها به صورت دوتایی و شامل محفظه اتاقکی هستند که در ابتدای کوره (پشت‌گذر) یا دو طرف طول جانبی کوره (پهلوگذر) ساخته می‌شوند این محفظه‌ها با ابعاد بزرگ به‌خصوص از لحاظ ارتفاع با آجرهای دیرگداز ساخته شده است. درون این چکرها از آجرهای دیرگداز استفاده شده است که به صورت مشبک چیده می‌شوند، به طوری که هوا می‌تواند از لابه لای این آجرها عبور کند.
در زمان روشن بودن کوره از درون یکی از چکرها گازهای خروجی (گازهای‌حاصل از احتراق و تجزیه مواد) عبور کرده و هم‌زمان از چکر دیگر هوای مورد نیاز مشعل‌ها وارد می‌شود. وظیفه چکرها به‌صورت سیکل‌های زمانی ۱۰ الی ۲۰دقیقه‌ای به‌طور مداوم تغییر می‌یابد.



کوره ریجنراتوری

با عبور گازهای خروجی داغ از لابه‌لای آجرهای دیرگداز در درون چکر در مدت زمان تعیین شده، آجرها گداخته می‌شوند، سپس در مرحله بعد با تغییر یافتن وظیفه چکرها از چکری که به علت عبور گازهای خروجی آجرهایش گداخته شده هوای مورد نیاز احتراق مشعل‌ها عبور داده می‌شود و از چکر دیگر گازهای خروجی عبور داده شده و خارج می‌شوند.
با عبور هوا از لابه لای این آجرهای گداخته، هوای بسیار داغ به سر مشعل‌ها می‌رسد.
با افزایش دمای هوای کوره با توجه به ابعاد چکرها، طرز چیدن و جنس آجرهای مصرفی درون چکرهای این کوره‌ها و همچنین سیکل زمانی جابه‌جایی وظیفه چکرها، معمولاً هوا به میزان ۸۵۰ تا ۱۳۵۰ درجه سلسیوس گرم می‌شود.

چیدمان آجرهای درون چکر



طرز کار چکرها

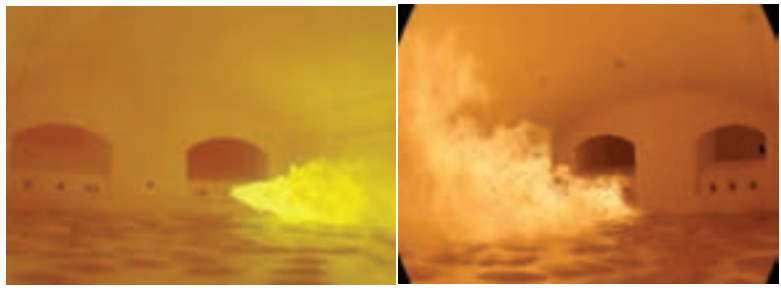
سامانهٔ باز یافت حرارتی کوره‌های ریجنراتوری در مقایسه با ریکوپراتوری‌ها بسیار قوی‌تر است بنابراین ظرفیت تولید مذاب دراین کوره‌ها بسیار بیشتر است. ظرفیت این کوره‌ها از حدود ۶۰ تن تا ۸۵۰ تن در روز است.

دانش افزایی

انواع کوره‌های ریجنراتوری

پشت گذر

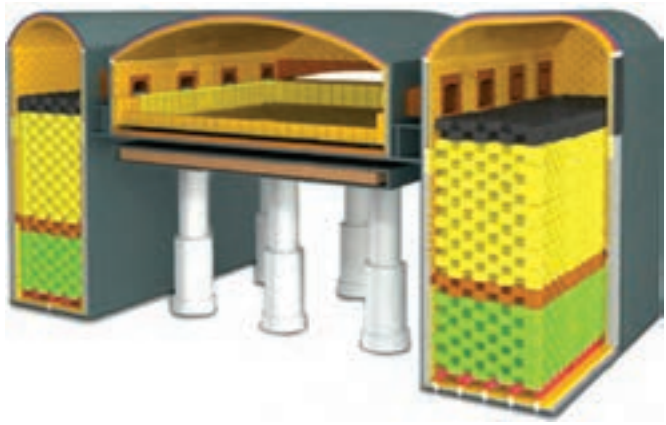
در کوره‌های پشت گذر، چکرها در ابتدای کوره و به اندازه عرض کوره در کنار هم ساخته شده است که به‌وسیلهٔ گذرهایی (پورت) به مخزن ذوب متصل می‌شوند .در کارخانه‌های تولید شیشه‌های ظروف و بطری (جار) که میزان مذاب کمتر است (۶۰ تا ۱۰۰تن و نهایتاً ۱۲۰ تن) از این نوع کوره‌ها بیشتر استفاده می‌شود.



داخل مخزن ذوب کوره ریجنراتوری پشت گذر در حال کار

کنار گذر (پهلوگذر)

در کوره‌های کنارگذر، چکرها در دو طرف دیواره‌های جانبی به طول قسمت مخزن ذوب کوره ساخته شده است که به وسیله تعدادی گذرهایی (پورت) به مخزن ذوب متصل هستند. در این کوره‌ها با توجه به مساحت مخزن ذوب کوره ومیزان مذاب تولیدی از هر چکر، از ۳ تا ۸ گذر استفاده می‌شود.



کوره ریجنراتوری کنار گذر

در کارخانه‌های شیشه برای تولید محصولات با تناژ بالا مانند شیشه‌های جام (تخت)، ظروف و بطری (جار) از کوره‌های کنارگذر استفاده می‌شود.

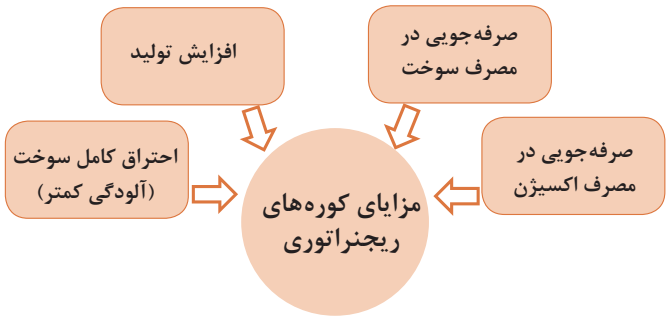
تذکر

هنرآموز محترم رنگ‌های آجر دمای مربوط به جنس و ویژگی‌های دیر گدازهای این قسمت‌ها است. پیشنهاد می‌شود که هنرآموزان محترم به هنرجویان متذکر شوند که متناسب با شرایط هر قسمت کورهٔ شیشه، جنس دیرگداز آن انتخاب و ساخته می‌شود.

داخل مخزن ذوب کوره ریجنراتوری کنارگذر در حال کار

مقدار تولید شیشه‌های جام (تخت) و ظروف:

شیشه‌های ظروف	۶۰ تا ۱۲۰ تن
شیشه‌های جام	۶۰۰ تا ۸۵۰ تن



طبق جدول ۶ صفحهٔ ۵۳ دما و ظرفیت تولید کوره‌های ریجنراتوری بالاتر است. زیرا هوای داغ خروجی کوره باید از لابه‌لای آجرهای دیرگداز درون چکرها عبور کند باعث می‌شود این آجرها بسیار گداخته شوند. در مرحله تأمین هوای مورد نیاز مشعل‌ها، هوای ورودی به چکر که دمای محیط را دارد، از لابه‌لای آجرهای گداخته عبور می‌کند. این امر باعث می‌شود هوای بسیار داغ و به خاطر ابعاد و حجم قابل توجه چکرها با حجم زیادی توسط چکرها نسبت به ریکوپراتور تأمین شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۵ صفحهٔ ۵۴ تهیه مذاب شیشه بورو سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا است و آمیزی مشابه شیشه بور و سیلیکاتی دارد که باید طبق فعالیت کارگاهی ۵ صفحه ۳۲ پودمان اول توسط هنرجویان آماده شود و به آن به میزان۰/۵ الی۱/۵درصد مواد حباب زدا شامل (آرسنیک اکسید یا آنتیموان اکسید یا سدیم سولفات یا سدیم نیترات یا نمک طعام)، اضافه شود سپس با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب شود.
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

نکات مورد توجه:

الف) به دلایل اشاره شده در زیر، لازم است به قدری آمیز درون بوته ریخته شود که تقریباً نصف حجم بوته خالی باشد و سرعت حرارت دادن در مرحله اولیه آهسته باشد:

۱ بوراکس در ابتدای مرحله حرارت دادن افزایش حجم زیادی دارد.

۲ آب ساختاری زیادی از آمیز خارج می‌شود باعث پاشیدن آمیز به بیرون از بوته نشود.

۳ در ابتدای فرایند ذوب شدن آمیز کف می‌کند.

ب) هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد مذاب در حرارت نگه داشته نشود زیرا باعث می‌شود بور اکسید تبخیر شود واین امر باعث تغییر فرمولاسیون شیشه و کدر شدن آن می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵ صفحهٔ ۵۴ تهیه مذاب شیشه سربی حاوی مواد حباب زدااست که آمیزی مشابه شیشه سربی است و طبق کار عملی ۶ صفحه ۳۴ پودمان اول توسط هنر جویان آماده می‌شود و به آن به میزان ۰/۵ الی ۰/۸ درصد مواد حباب زدا شامل (آرسنیک اکسید یا آنتیموان اکسید یا سدیم سولفات یا سدیم نیترات) اضافه می‌شود و پس از آماده سازی با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب انجام می‌شود.
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

تذکر

هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد مذاب نباید در دمای بالا نگهداری شود زیرا:
۱ سرب اکسید تبخیر می‌شود که این امر باعث موارد زیر می‌شود:
الف)تغییر آنالیز شیشه و کدر شدن شیشه تولیدی می‌شود.
ب) بخارات سرب اکسید وارد محیط شده که منجر به آلودگی زیست محیطی می‌شود.
۲ احیا شدن سرب، یعنی سرب اکسید به فلز سرب تبدیل می‌شود که فلز سرب خواص شیشه ای ندارد. اکسیدهای سربی که به فلز سرب تبدیل می‌شوند به‌صورت براده‌های فلز سرب در نمونه شیشه تهیه شده وجود دارند. به دلیل این تبدیلات به شدت کیفیت شیشه کاهش می‌یابد حتی چنانچه این تبدیلات از حدی بیشتر شود مذاب اصلاً تبدیل به شیشه نمی‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵ صفحه ۵۴ در مورد تهیهٔ مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا و بی‌رنگ کننده است. لازم است هنرجویان آمیزی مشابه کارعملی ۴ صفحهٔ طبق همین پودمان آماده کنند، سپس مواد بی‌رنگ‌کنندهٔ شیمیایی (آرسنیک اکسید یا آنتیموان اکسید یا منگنز اکسید) تا ۰/۵ درصد و فیزیکی (کبالت اکسید، کبالت کربنات، کبالت سیلیکات، سلنیم اکسید، سلنیم کربنات) مجموعاً ۰/۰۱ الی ۰/۰۳ درصد اضافه شود و پس از آماده‌سازی با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب شود.

تذکر

درصد بی‌رنگ‌کننده‌های فیزیکی و منگنز اکسید باید بسیار کمتر از بی‌رنگ‌کننده‌های شیمیایی باشد تا باعث ایجاد رنگ در شیشه نشوند.
این آمیز در محدوده دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

در صفحات ۵۵ الی ۵۷ و شکل‌های ۱۶الی ۲۲ اجزا مختلف کوره‌های پیوسته مجهز به سامانهٔ بازیافت حرارتی (ریکوپراتوری و ریجنراتوری) توضیح داده شده است این دو مدل کوره از لحاظ اجزا داخلی مشابه هم بوده و تنها تفاوت آنها فقط در سامانه‌های بازیافت حرارتی است.
متناسب با ظرفیت تولید مذاب، حجم و ابعاد کوره‌ها (اجزا داخلی و خارجی کوره) طراحی و ساخته می‌شوند.

دانش افزایی

قسمت‌های مختلف کوره‌های شیشه و وظایف آنها:

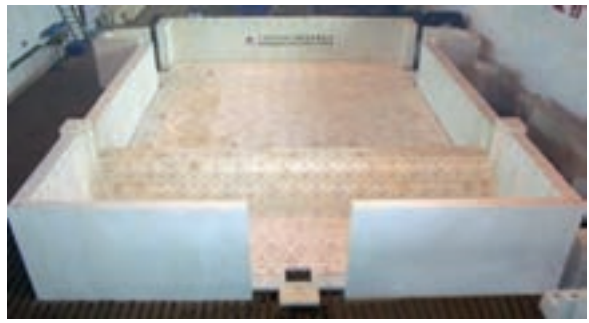
۱ **دریچه بارریز** (Dog house): در ابتدای مخزن ذوب کوره در ارتفاع کمی بالاتر از سطح مذاب قرار دارد که از این محل آمیز به درون مخزن ذوب ریخته می‌شود و ابعاد آن بستگی به ظرفیت تولید مذاب کوره دارد.

در کوره‌های تولید بطری و شیشه‌های ظروف به صورت دریچه‌ای مربعی مشابه دهانه‌های کانال کولر که در دیوار پهلو و یا پشت مخزن ذوب واقع شده است وجود دارند. این دریچه در کوره‌های تولید شیشه تخت که تولید بالاست (کوره‌های با ظرفیت ۶۰۰ تا ۸۵۰ تن) در دیوار پشت (عرض) مخزن ذوب، به اندازه عرض کوره واقع شده است.

۲ **مخزن ذوب** (Tank melting): حوضچه‌ای است که به کمک حرارت‌های تولیدی مشعل‌ها در آن واکنش‌های ذوب رخ داده و آمیز کاملاً ذوب می‌شودو ابعاد آن بستگی به ظرفیت کوره دارد.

۳ **دیوارحایل** (محافظ یا سایبان) (Bridge wall): دیواری است که ما بین مخزن ذوب و مخزن تصفیه قرارگرفته و این دو مخزن را از هم جدا می‌کند. علاوه بر وظیفه جدا کردن این دو مخزن از هم، این دیوار وظایف زیر را نیز دارد:

۱ از ورود مواد ذوب نشده یا سنگ‌های احتمالی و کف موجود در مذاب به مخزن تصفیه جلوگیری می‌کند.



دیوار حایل

۲ از انتقال حرارت مخزن ذوب به مخزن تصفیه جلوگیری می‌کند.

۴ **گلوگاه** (Throat): کانالی است که در دیوار حایل تعبیه شده است تا از طریق آن، مذاب از مخزن ذوب به مخزن تصفیه منتقل شود. گلوگاه علاوه بر انتقال مذاب دو نقش دیگر نیز ایفا می‌کند:

۱ باعث افت دمایی حدود ۲۰۰ درجه سیلسیوس با دمیدن هوا به درون مذاب

می‌شود که به فرایند حباب زدایی کمک می‌کند.
۲ کم کردن ارتفاع مذاب و ایجاد جریان کنوکسیونی در مذاب که به فرایند حباب‌زدایی کمک‌می‌کند.
۵ **مخزن تصفیه** (Refiner): مخزنی است که با تلاطم و جریان کنوکسیونی که به خاطر عبور مذاب از گلوگاه در مذاب پدید می‌آید و همچنین راکد گذاشتن و زمان دادن به مذاب وحتی کاستن کمی از دمای مذاب در آن شرایطی مهیا می‌شود تا مذاب تصفیه (حباب‌زدایی) و همگن شود.

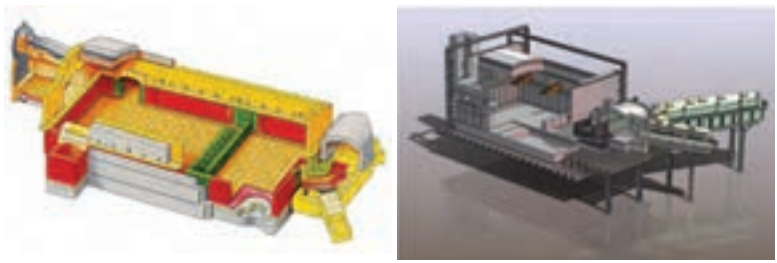
نکته

در بعضی از کارخانجات شیشه در مخزن تصفیه از همزن مکانیکی برای تصفیه و همگن کردن مذاب بهره می‌گیرند.

۶ **کانال ایجاد شرایط حرارتی** (Fore hearth)
کوره‌هایی که برای تولید شیشه ظروف یا بطری طراحی می‌شود در انتهای مخزن تصفیه به کانال‌هایی متصل می‌شوند که مذاب را به سمت دستگاه‌های شکل دهی هدایت می‌کند که براساس تعداد خطوط شکل دهی کارخانه این کانال‌ها ساخته می‌شوند.
ساختمان این کانال از دوقسمت تشکیل می‌شود:
۱ در قسمت اول کانال با روباز گذاشتن کانال یا دمیدن هوا به مذاب، گرانروی مذاب برای شکل دهی تنظیم می‌شود.
۲ در قسمت دوم با ایزوله کردن کانال گرانروی مذاب را ثابت نگه داشته وکم کم مذاب به دستگاه لقمه‌گیر ریخته می‌شود.

نکته

کوره‌های تولید شیشه تخت فاقد کانال شرایط حرارتی می‌باشد و تنظیم گرانروی مذاب در انتهای مخزن تصفیه انجام می‌شود.
محدودهٔ گرانروی مذاب شیشه‌ها برای شکل‌پذیری مناسب 10^{4} تا $10^{7/6}$ پواز است.



کوره با کانال تنظیم گرانروی (فورهارت)

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵ صفحهٔ ۵۴ تهیه مذاب شیشه بور و سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا و بی‌رنگ‌کننده است. هنرجویان باید آمیزی مشابه کارعملی ۵ همین پودمان آماده کنند، سپس مواد بی‌رنگ‌کننده شیمیایی (آرسنیک اکسید یا آنتیموان اکسید یا منگنز اکسید) تا ۰/۵ درصد و بی رنگ کننده فیزیکی (کبالت اکسید، کبالت کربنات، کبالت سیلیکات، سلنیم اکسید، سلنیم کربنات) مجموعاً ۰/۰۱ الی ۰/۰۳ درصداضافه می‌شود و پس از آماده‌سازی با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب انجام می‌شود.

نکته

درصد بی رنگ‌کننده‌های فیزیکی و منگنز اکسید از بین بی رنگ‌کننده‌های شیمیایی باید بسیارکم باشد تا باعث ایجاد رنگ در شیشه نشوند.
این آمیز در محدوده دمایی ۱۱۰۰ تا۱۲۰۰درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

لازم است هنرآموزان نکات زیر را به هنرجویان یادآوری کنند:
الف) مقداری آمیز درون بوته بریزید که تقریباً نصف حجم بوته خالی باشد و سرعت حرارت دادن در مرحله اولیه آهسته باشد:

۱ زیرا بوراکس در ابتدای مرحله حرارت دادن افزایش حجم زیادی دارد.
۲ به دلیل اینکه آب ساختاری زیادی از آمیز خارج می‌شود باعث پاشیدن آمیز به بیرون از بوته نشود.
۳ در ابتدای فرایند ذوب شدن آمیز کف می‌کند.

ب) هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد مذاب را در حرارت نگه ندارید زیرا باعث می‌شود بور اکسید تبخیر شود و این امر باعث تغییر آنالیز شیشه و کدر شدن آن می‌شود.

در جدول ۸ صفحهٔ ۵۸ عوامل اصلی مؤثر بر سرعت ذوب و ظرفیت تولید به‌صورت مختصر بیان شده است.
هنر آموز محترم علاوه بر عوامل مطرح شده دراین جدول عوامل دیگری نیز برسرعت ذوب وظرفیت تولید مذاب تأثیر گذارند که شامل موارد زیر است:

۱ دمای کوره
۲ نوع کوره
۳ نوع شیشه
۴ آمیز شیشه
۵ رنج دانه‌بندی آمیز
۶ درصد و اندازه خرده شیشه‌ها
۷ میزان همگنی آمیز (میزان تفکیکی آمیز)

۸ نحوه بارگیری آمیز (نحوه ریختن آمیز به درون کوره)
۹ شعلهٔ مشعل‌ها

۱ دمای کوره

مؤثرترین عامل در سرعت ذوب و تشکیل مذاب ، دما است. هر چقدر بتوان دما کوره را افزایش داد زمان برای ذوب شدن آمیز کاهش یافته و در نتیجه سرعت ذوب افزایش می‌یابد

۲ نوع کوره

سیستم بازیافت حرارت کوره عمده‌ترین عامل در میزان دما و حجم حرارت است در بین کوره‌های صنایع شیشه کوره‌های ریجنراتوری که دارای چکرهای پهلوگذر هستند بالاترین بازدهی حرارت را دارند که تأثیر مستقیم بر عملیات ذوب و در نهایت باعث افزایش سرعت ذوب می‌شود. کوره‌های ریکوپراتوری در مقایسه با ریجنراتوری سرعت ذوب شان پایین‌تر است. کمترین سرعت ذوب را کوره‌های روزکار دارند.

۳ نوع شیشه

به ترتیب شیشهٔ سربی و سپس سودالایم بیشترین و شیشه بوروسیلیکاتی کمترین سرعت ذوب را دارد. دمای ذوب، گرانروی مذاب و هدایت حرارتی مذاب شیشه تأثیر مستقیم بر سرعت ذوب دارند.

۴ آمیز شیشه

چنانچه درآمیز شیشه‌ای درصد Al_2O_3 و SiO_2 کم و درصد اکسیدهای دگرگون ساز زیاد باشد باعث افزایش سرعت ذوب می‌شود.

۵ محدودهٔ دانه بندی آمیز

در صورتی که اندازهٔ دانه اجزای آمیز نزدیک به هم و به ویژه در محدودهٔ مش ۴۰ تا ۶۰ باشد، همگنی افزایش می‌یابد و ذوب شدن آمیز سریع تر انجام می‌شود.

۶ درصد و اندازهٔ خرده شیشه

تمامی کارخانجات شیشه به آمیزحدود ۱۵ تا ۳۵ درصد و حداکثر ۴۰ درصد خرده شیشه اضافه می‌کنند که نقش کمک ذوب را دارند.

اندازه خرده شیشه‌ها باید خیلی درشت‌تر از اندازه سایر مواد اولیه آمیز باشد.

در بسیاری از کارخانجات سایز خرده شیشه مش ۶ تا ۲۰ در نظر گرفته می‌شود تا مذاب سرعت ذوب مطلوبی داشته باشد.

۷ میزان همگنی آمیز

باید در فرایند آماده‌سازی آمیز(واحد بچ پلانت) و انتقال آن تا هنگام ریختن در مخزن ذوب به گونه‌ای فرایند انجام شود تا هیچ گونه تفکیک و ناهمگنی در آمیز صورت نگیرد. چنانچه آمیز ورودی به مخزن ذوب کاملاً همگن باشد سرعت ذوب افزایش می‌یابد.

۸ نحوهٔ شارژآمیز

ریختن آمیز به درون مخزن ذوب کوره باید به صورتی باشد که شرایط زیر در آن

ایجاد شود:
۱ گرد و غبار ایجاد نشود.
۲ باعث تفکیک آمیز نشود.
۳ باعث ایجاد سنگ نشود.
عملیات ریختن آمیز به درون کوره به صورت مرحله به مرحله، مداوم و براساس میزان ظرفیت خروج مذاب از کوره انجام می‌گیرد. ریختن مقطعی مواد به گونه‌ای است که فرصت داده می‌شود تا مواد کمی حرارت ببینند و ذوب اولیه صورت گیرد که این امرباعث می‌شود مواد به هم نچسبند و از تشکیل سنگ جلوگیری شود.

نکته

چنانچه فرایند ذوب شدن آمیز به خوبی انجام نشود مواد در حالت خمیری به هم چسبیده و تکه‌ای سنگ مانند ایجاد می‌شود.

روش‌های شارژ آمیز به درون کوره
۱ مارپیچی
۲ قالیچه‌ای
۳ فشاری

۹ شعلهٔ مشعل‌ها
مشعل‌ها با زاویهٔ کمی بالاتر از سطح مذاب در دیوار مخزن مذاب قرار می‌گیرند تا بیشترین انتقال حرارت به درون مذاب انجام شود.
برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد عوامل مؤثر بر سرعت ذوب و ظرفیت تولید مطالعه مجموعه سه جلدی شالوده صنعت شیشه، ناشر شرکت شیشه قزوین پیشنهاد می‌شود.
صفحهٔ ۵۹

کنجکاوی

۱ خرده شیشه‌ها در مرحلهٔ اولیهٔ ذوب، بستری(قطرانی) از مذاب به‌وجود می‌آورند تا ذرات آمیز درون آن ذوب شوند(نقش کمک ذوبی بیشتر) و همچنین باعث کاهش گرانروی مذاب می‌شود.
۲ عموماً در کارخانه‌ها با تغییرات اندازهٔ خرده شیشه و بررسی میزان تأثیر آنها بر روی سرعت ذوب، بهترین رنج اندازه آن را تعیین می‌کنند. (تا حدی اندازه‌ها متفاوت و متغیر است).
(در خیلی از کارخانجات سایز خرده شیشه را مش ۶ الی ۲۰ در نظر می‌گیرند).

بیشتر بدانید

صفحهٔ ۵۹ در برخی کوره‌ها، از اکسیژن به‌جای هوا برای سوختن مشعل‌ها استفاده می‌شود. به دلیل اینکه هوا از اکسیژن تشکیل شده است بلکه ترکیبی از گازهای مختلف است. در حالی که فقط اکسیژن خالص باعث افزایش راندمان احتراق و حتی کم شدن حجم گازهای خروجی (دود) (در کوره‌ها با خارج کردن گازهای حاصل از احتراق میزان زیادی کالری گرمایی به هدر می‌رود) و تصفیه مناسب‌تر شیشه می‌شود.
درکارخانه‌های تولید شیشه‌های با ارزش مانند اپال، سرنگ ،عدسی و .... از اکسیژن برای احتراق مشعل‌ها استفاده می‌شود.

شکل ۲۴ و متن صفحهٔ ۵۹: کوره‌های الکتریکی که در صنایع شیشه به‌خصوص شیشه‌های اپال ،اپتیک و شیشه‌های خاص کاربرد دارند نشان می‌دهد. این کوره‌ها از جفت، جفت الکترود (بوستر) که یکی نقش آند (منفی) و دیگری نقش کاتد (مثبت) و آمیز شیشه که به عنوان مقاومت مابین این دو ایفا نقش می‌کند تشکیل شده‌اند. میدان الکتریکی که بین الکترودها به‌وجود می‌آید باعث بالا رفتن دما و ذوب شدن آمیز می‌شود.
امروزه علاوه بر بعضی از شرکت‌های تولیدی مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاهی از این نوع کوره‌ها برای تولید شیشه استفاده می‌کنند.
این کوره‌ها برای تولید حجم مذاب کم و سرعت بالای ذوب بسیار مطلوب می‌باشند.

فعالیت کارگاهی

صفحهٔ ۶۰ کار عملی۶: این فعالیت دربارهٔ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا، بی‌رنگ و رنگ‌کننده است. باید هنرجویان آمیزی مشابه کارعملی ۵ صفحه ۵۴ همین پودمان آماده کنند سپس به آن ۱ الی ۵ درصد اکسید رنگی یا رنگ‌دانه اضافه کرده پس از آماده‌سازی با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب کنند.
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰درجهٔ سلسیوس ذوب می‌شود.

فعالیت کارگاهی

صفحهٔ ۶۱ کار عملی۷: در این فعالیت تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا و احیایی‌کننده خواسته شده است. آمیزی مشابه کارعملی ۴ صفحه ۵۱ همین پودمان هنرجویان آماده کنند سپس به آن ۵ الی ۱۰ ٪ مواد حاوی کربن مانند (ضایعات لاستیک و پلاستیک یا روغن سوخته یا زغال چوب) اضافه کرده و پس از آماده‌سازی با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب کنند.
این آمیز در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰ الی ۱۲۰۰درجهٔ سلسیوس ذوب می‌شود.

تذکر

۱ به هیچ وجه ازکورهٔ الکتریکی برای ذوب آمیز حاوی مواد احیایی کننده استفاده نشود زیرا اتمسفر احیایی باعث از بین رفتن المنت‌های کوره می‌شود.
۲ اگر هنگام عملیات ذوب کردن آمیز مواد احیایی کننده سوخته از آمیز خارج می‌شوند می‌توانید در همان مرحله دوباره این مواد را اضافه کنید.
۳ در مرحلهٔ ذوب کردن آمیز میزان هوای ورودی کوره را کاهش دهید.

ارزشیابی نهایی

شرح کار:
۱ـ تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی
۲ـ تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا
۳ـ تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد بی‌رنگ‌کننده
۴ـ تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد رنگ‌کننده
۵ـ تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد احیاکننده

استاندارد عملکرد:
ساخت مذاب شیشه با توجه به فرمولاسیون، محاسبهٔ مقدار مواد حباب‌زدا، رنگی‌کننده و بی‌رنگ‌کننده، همگن‌سازی مذاب.
شاخص‌ها:
تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بورسیلیکاتی و سربی
تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا بی‌رنگ‌کننده، مواد رنگ‌کننده و یا احیاکننده

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد ذوب شیشه
ابزار و تجهیزات: مواد اولیهٔ آمیز شیشه، کوره گازی یا الکتریکی ذوب شیشه، بوته ذوب شیشه، انبر، بوته، دستکش نسوز، ماسک، عینک ضد اشعه و لوازم حفاظت فردی، لباس کار

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی	۲	
۲	تهیهٔ مذاب شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۱	
۳	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سربی	۱	
۴	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا	۱	
۵	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد بی‌رنگ‌کننده، و احیاکننده	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، و... دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب		
	میانگین نمرات		*

*حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.