Archive of SID

بررسی انواع کوره مورد استفاده در صنعت شیشه

حسین آتشی[۱].محسن حاجی صفری[۲]. اسماعیل مرادیان[۳]
زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت
Moradian67@gmail.com

چکیده

شیشه از جمله موادی استک هر روزه و به شکل محصولات مختلف با آن سرو کار داریم. این محصولات شامل پنجره ها، بطریها، گلدانها، بلوری جات و غیره می باشند. تمامی این محصولات یک نقطه اشتراک دارند؛ شیشه قبل از تبدیل به محصول نهایی،درکوره ذوب میشود. مقاله حاضر به بررسی انواع کوره های مورد استفاده در صنعت شیشه اختصاص داردکه عبارتند از: ریجنراتوری، ریکوپراتوری، الکتریکی، کوره های اکسیفیول و کوره های سوخت ترکیبی. دسته بندی این کوره ها بر اساس نوع سوخت مورد استفاده برای تامین انرژی و همچنین نحوه بازیافت حرارتی در آنها می باشد. روش سنتی انتقال حرارت به کوره سوزاندن سوختهای فسیلی می باشد. کورههای ریجنراتوری، ریکوپراتوری و اکسیفیول با این روش کارمی کنند. روش دیگر تامین انرژی حرارتی کوره به وسیله الکتریسیته می باشد که مورد استفاده کوره های الکتریکی است. کورههای سوخت ترکیبی نیز از مجموع روشهای بالا استفاده می کنند. انتخاب نوع کوره و روش استفاده شده برای ذوب بستگی به ظرفیت مورد نیاز کوره ،فرمولاسیون شیشه، قیمت سوخت، زیرساختهای موجود و ملاحظات زیست محیطی دارد.

کلمات کلیدی : شیشه،کوره، بازیافت حرارتی

۱- دکتری مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲و۳- دانشجوی ارشد مهندسی شیمی- ترمو سینیتیک،دانشگاهسیستانوبلوچستان

۱- مقدمه

کوره وسیله ای برای حرارت دادن به مواد خام به منظور ذوب آنها و در نتیجه دستیابی به محصول مورد نظر است. در کوره های صنعت شیشه که مورد بحث این مقاله است، برای ذوب و تصفیه شیشه دمایی بین ۱۳۰۰ تا ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد نیاز

www.SID.ir

Archive of SID

است که بستگی به فرمولاسیون ذوب دارد. غالب انتقال حرارت از طریق تشعشع سوپراستراکچرهای نسوز[1]، که توسط شعله تا دمای ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد گرم شده اند، و همچنین از طریق خود شعله می باشد. در تمامی کوره ها حرارت ورودی داخل کوره می چرخد تا از همگن سازی شیشه نهایی که خوراک واحد فرمینگ است، اطمینان حاصل شود. جرم شیشه مذاب درون کوره ثابت نگه داشته می شود و زمان اقامت میانگین ۲۴ ساعت برای کوره شیشه های مظروف [2] و ۷۲ ساعت برای کوره شیشه های تخت [3] می باشد.[۲]کوره با بازدهی بالا کوره ای است که در زمان مشخص و با کمترین سوخت مواد اولیه خود را به بالاترین دمای ممکن برساند. به منظور داشتن کوره ای با این مشخصه باید فاکتورهای زیر را هنگام طراحی کوره مد نظر داشت:

۱- تعیین مقدار حرارتی که باید به مواد داده شود.
۲- دادن حرارت مورد نیاز به کوره تا علاوه بر گرم کردن مواد، بر تمامی حرارت های از دست رفته نیز غلبه کند.
۳- کاهش حرارت از دست رفته به کمترین مقدار ممکن

انتقال حرارت به بار داخل مخزن ذوب از دو طریق عمده انجام می گیرد.

۱- تشعشع از شعله، گاز های داغ حاصل از احتراق و دیواره و سقف کوره
۲- انتقال حرارت همرفتی از طریق حرکت گاز های داغ بالای کوره

بیشترین دما در مخزن ذوب از حدود ۱۵۶۵ تا ۱۶۰۴ درجه سانتیگراد است. معمولا نوع شیشه و نقطه نرمی سیلیس به کار رفته در سقف کوره که در حدود ۲۹۵۰ سانتیگراد است، حد ایمن دمای مخزن ذوب را تعریف می کنند.بر اساس روش تولید حرارت کوره ها به دو دسته احتراقی و الکتریکی تقسیم می شوند. کوره های احتراقی از سوخت های نفت، ذغال سنگ و گاز طبیعی جهت تولید حرارت استفاده می کنند در حالیکه انرژی مورد نیاز کوره های الکتریکی از طریق الکتریسیته تامین می شود. بر اساس روش شارژ مواد اولیه دو نوع کوره ناپیوسته و پیوسته داریم و در نهایت بر اساس روش بازیافت حاصل از احتراق کوره ها به دو دسته ریکوپراتوری[4] و ریجنراتوری[5] تقسیم می شوند. البته دسته بندی بالا کلی بوده و منحصر به صنعت خاصی نمی باشد. در صنعت شیشه انواع مختلفی از کوره وجود دارد که بر اساس نیاز تولید و نوع شیشه انتخاب می شوند. پرکاربرد ترین این کوره ها عبارتند از: ریجنراتوری، ریکوپراتوری، الکتریکی، اکسی فیول ها[6] و کوره های سوخت ترکیبی.در ادامه هریک از این کوره ها را معرفی کرده و به علت کاربرد بیشتر کوره های ریجنراتوری و ریکوپراتوری در صنعت شیشه، ضمن ذکر انواع این کوره ها، به بررسی محصولات و نوع مواد خام مصرفی آن ها نیز می پردازیم.[۳]

1- refractories superstructure
2- container glass
3- float glass
4- recuperative furnaces
5- regenerative furnaces
6- oxy-fuel fired

۲- کوره های ریجنراتوری

در کوره های ریجنراتوری دو اطاقک [1] ریجنراتور جهت جذب حرارت از گازهای حاصل از احتراق[2] وجود دارند. یکی از اطاقک ها به وسیله این گاز ها حرارت داده می شوند در حالیکه دیگری در حال انتقال حرارت به هوای احتراق است. هوای گرم شده

www.SID.ir

Archive of SID

حین بالا آمدن برای احتراق، در گذر احتراق با سوخت برخورد می کند و شعله در بالای سطح شیشه و در محوطه فضای زیر سقف مخزن ذوب، تشکیل می شود. این هوای گرم از طریق گذر مقابل از میان شبکه بازیابی پایین رفته و از راه شیر تعویض دوره، به سمت دودکش تخلیه روانه می شود. بر حسب وضعیت خاص کوره، هر ۲۰ یا ۳۰ دقیقه مسیر هوای احتراق و گازهای داغ حاصل از احتراق عوض می شوند. یعنی این بار هوای احتراق از میان شبکه مقابل که حالا توسط گازهای حاصل از احتراق داغ شده است، بالا آمده و شعله به سمت مقابل مخزن ذوب تغییر جهت می دهد. با این عملکرد گرمای خروجی در شبکه بازیابی ذخیره شده و امکان راندمان بیشتر و دماب بالاتر شعله را میسر می سازد و هوای احتراق تا دمای ۱۴۲۶ درجه سانتیگراد قابل گرم شدن است. هزینه ساخت این کوره ها به علت هزینه بالای ساخت و نگهداری سازه های نسوز و همچنین سیستم برگشتی ریجنراتور بیشتر از انواع دیگر کوره است. این هزینه بالا استفاده از این نوع کوره ها را فقط برای ظرفیت های بالای تولیدی (بیشتر از ۱۰۰ تن در روز) محدود می کند. استفاده از کوره های ریجنراتوری برای تولید شیشه های مظروف و تخت رایج است. در صورت به کار گیری بهترین ساختار و ایزوله سازی، کوره های ریجنراتوری مدرن بازده حرارتی در حدود ۴۰٪ دارند. اتلاف حرارتی از طریق گازهای حاصل از احتراق ۳۰٪ و از طریق ساختمان کوره نیز ۳۰٪ می باشد.

این کوره ها به دو نوع پشت گذر[3] و پهلوگذر[4] تقسیم می شوند. در هر دو ترکیب بندی ذوب کننده ظرفیتی بزرگتر از $۲۲۸m^2$ دارد. [۳]

۲-۱- کوره های پشت گذر

در کوره های پشت گذر اطاقک های ریجنراتور یک دیوار رایج را به اشتراک می گذارند. در این ترکیب بندی اتلاف حرارت کمتر و بازدهی حرارتی بیشتر است. این کوره دو گذردارد که کنار به کنار یکدیگر روی دیوار پشتی کوره قرار گرفته اند و ریجنراتوردر پشت کوره قرار دارد. بسته به سایز کوره هر گذر با ۲ تا ۴ برنر مشعل مجهز شده است. شعله از ابتدای یکی از پورت ها به داخل کوره حرکت می کند، ۱۸۰ درجه می چرخد و از پورت دیگر خارج می شود. این روند باعث تولید مسیری به شکل U افقی برای شعله و گازهای ناشی از احتراق میشود. در نتیجه زمان اقامت بالای گازهای حاصل از احتراق در کوره باعث مصرف موثرتر انرژی می شود.

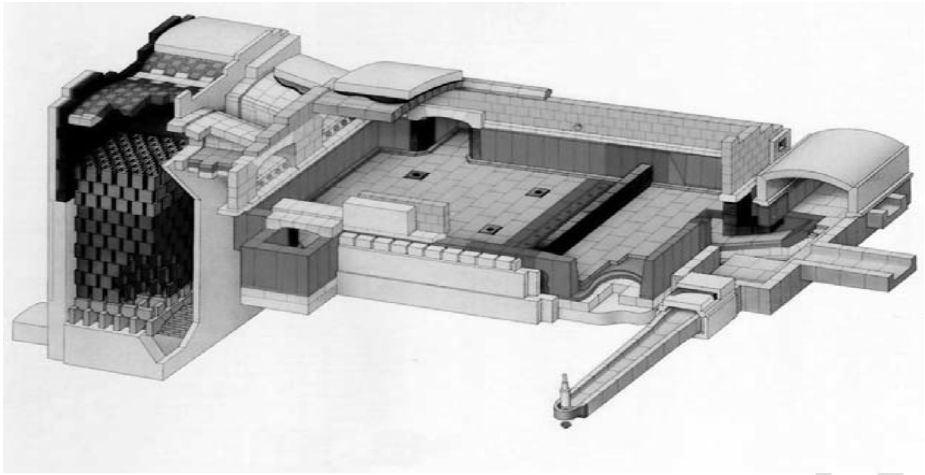
مواد خام از طریق یک یا دو باریزگاه[5] وارد کوره می شوند. این باریزگاه هادر دیواره کناری کوره و چسبیده به دیوار پشتی قرار گرفته اند.

1- Chamber
2- waste gas
3- end-fired regenerative furnaces
4- cross-fired regenerative furnaces
5- doghouse

کوره های بزرگ این نوع سطح مذابی در حدود ۱۵۰ متر مربع دارند و این اندازه در کوره های کوچکتر تا ۲۰ متر مربع نیز قابل کاهش است. در شکل ۱ این کوره نشان داده شده است.[۳]

www.SID.ir

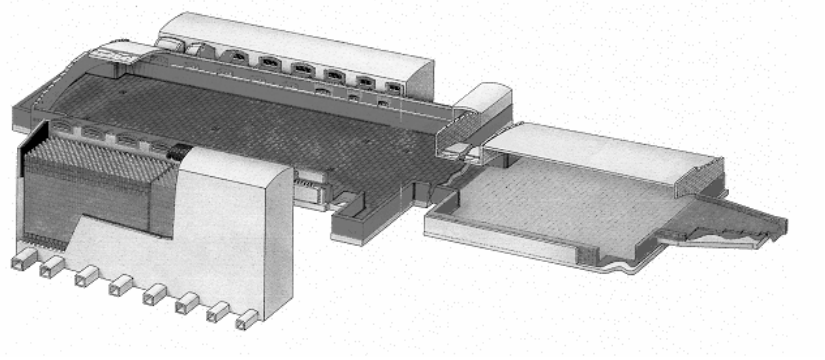
Archive of SID



شکل (۱)- کوره ریجنراتوری پشت گذر [۳]

۲-۲- کوره های پهلو گذر

گذرهای برنر در طرفین کوره و در راستای دیواره کناری قرار دارند که معمولا کل طول را پوشش می دهند. تعداد گذرها بسته با سایز کوره بین ۳ تا ۵ می باشد و هر گذر نیز با ۲ تا ۴ برنر مجهز می شود.شعله از یک سمت کوره به سمت دیگر حرکت میکند و گازهای حاصل از احتراق دقیقا خلاف جهت ورودی شعله خارج می شوند. ماکزیمم طول شعله با توجه به عرض کوره تعیین می شود.دو اطاقک ریجنراتور در کنار کوره و در انتهای گذر ها قرار گرفته اند و در اغلب موارد در امتداد مخزن ذوب می باشند. در این نوع کوره امکان استفاده از چندین گذر در اطاقک های ریجنراتور وجود دارد و به منظور کنترل نسبت هوا و گاز در گذر ها، به تعداد آن ها باید محفظه ریجنراتور یکسانی وجود داشته باشد. باررریزگاه در دیواره پشتی کوره قرار میگیرد و بار (batch) از بالای آن شارژ می شود. در این نوع کوره ها به علت تعداد گذر های بیشتر و سطح دیواره ریجنراتور بزرگ تر، اتلاف حرارتی نسبت به کوره های پشت گذر بیشتر است. همچنین به علت پوشش وسیع تر شعله در سطح ذوب و به ازای آن کنترل گرمای مناسب در طول کوره، نرخ ذوب بالاتر و شرایط ذوب پایدارتر است.این کوره ها در اندازه های کمتر از ۷۰ متر مربع به ندرت استفاده می شوند. در شکل ۲ این نوع کوره نشان داده شده است.[۴]



شکل(۲)- کوره ریجنراتوری پهلو گذر

۲-۳- مقایسه کوره های ریجنراتوری پشت گذر و پهلو گذر

کوره ریجنراتوری پشت گذر انتخابی عاقلانه تر برای ابعاد کوچک است و معمولا منحصر به تولید ظروف شیشه ای است. به دلیل تماس طولانی تر با شیشه، معمولا کوره های پشت گذر در مقایسه با کوره های پهلو گذر در ابتدای عمر از راندمان

www.SID.ir

Archive of SID

سوخت بیشتری برخوردار است. در اواسط عمر کوره مصرف آن بیشتر و معمولا در انتهای عمر، متوسط مصرف سوخت در طول دوره کارکرد مساوی می شود..کوره های پهلوگذر یا پشت گذر هرکدام طرفداران خود را دارند. اغلب احساس می شود که اگر بتوان کوره پهلو گذر داشت، هرگز از یک کوره پشت گذر استفاده نخواهد شد. به هر حال از آن جا که ساخت کوره پشت گذر ارزان تر از کوره پهلو گذر است، استفاده از کوره های پهلو گذر در ابعاد کوچک غیر اقتصادی است و توصیه نمی شود.در ظرفیت های بالای ۸۰ تن در روز استفاده از کوره پهلو گذر مطلوب تر است. یک مخزن پهلو گذر با دوام تر است و بیشتر عمر خواهد کرد و فرسودگی بیشتری را تحمل خواهد نمود. اگرچه عملکرد آن می تواند نامرتب تر باشد ولی در عین حال می توان به کیفیت مناسب شیشه دست یافت. سطح مقطع شبکه بازیابی کوره های پهلو گذر بزرگ تر است که باعث می شود احتراق آن از لحاظ تنظیم خیلی کم بحرانی باشد. کوره های پشت گذر دوره کارکرد را با میزان مصرف سوخت بر تن کمتری، به اندازه ۱۰۰۰ فوت مکعب گاز کمتر بر هر تن، نسبت به کوره های پهلو گذر آغاز می کنند ولی هرچه بیشتر از عمر آن ها سپری می شود این مصرف سوخت بیشتر می شود. به نحوی که در اواسط دوره کارکرد مصرف گاز به نمونه های پهلو گذر رسیده و در انتهای عمرشان نیز به دلیل سرعت بیشتر خوردگی نسبت به کوره پهلو گذر، به متوسط بالاتری از مصرف سوخت می رسد.طول عمر کوره های پشت گذر کوتاه تر بوده و کشش شیشه از آن ها نمی تواند به اندازه پهلو گذر باشد. هزینه کوره بر مجموع تناژ کشیده شده بالاتر است که البته با ابعاد کوره متناسب است به شکلی که هرچه ابعاد کوره بزرگ تر باشد این هزینه کاهش می یابد.[۱]از لحاظ تئوری کوره های پشت گذر دارای روزنه های سرد کمتری در مخزن ذوب است، فقط دو گذر احتراق در مقایسه با ۶، ۸، ۱۰ و یا بیشتر در کوره های پهلو گذر، که این مورد باعث افزایش بازده حرارتی تا ۱۰٪ بیشتر از کوره های پهلو

گذر می شود.

جدول(۱) –مقایسهکاربردیانواعکورههایریجنراتوری

کاربرد	پشتگذر	پهلوگذر
مزایا	انعطافپذیریبالا قیمتساختکمترنسبتبهکورههپهلوگذر مصرفانرژیکمترنسبتبهکورههپهلوگذر	قابلیتاستفادهبرایظرفیتهایبیشتراز ۵۰۰ تندرروز
نوعشیشه	شیشهآهک - کربناتسدیم[1]	شیشهآهک - کربناتسدیم
محصولات	شیشهمظروف[2]	شیشهمظروف شیشههایتخت
ظرفیتذوب	۴۵۰ - ۲۰تندرروز	۸۰۰ – ۲۰۰ تندرروز

1- soda-lime glass

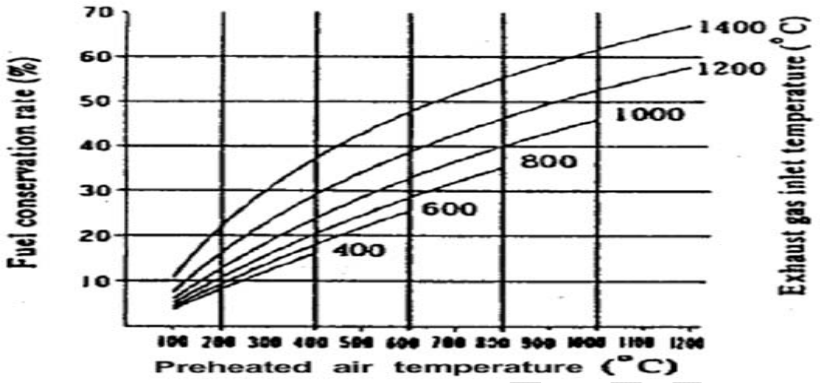
2- containerS

۳-کوره های ریکوپراتوری

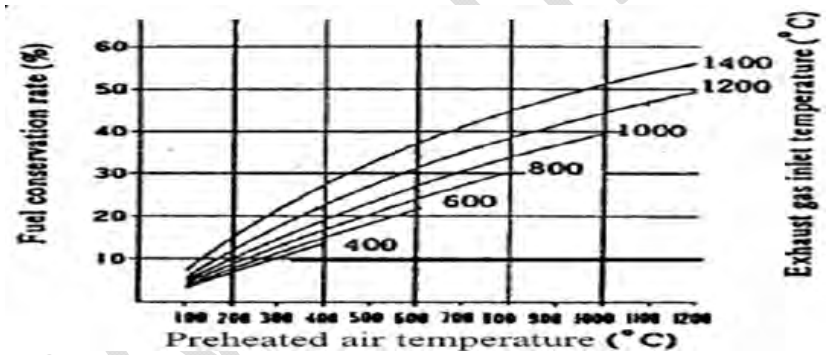
www.SID.ir

Archive of SID

در این کوره ها هوای سرد به طور غیر مستیم به وسیله جریان مداوم گازهای داغ حاصل از احتراق در یک مبدل گرمایی فلزی حرارت می بیند. این مبدل گرمایی ریکوپراتور نام دارد. ریکوپراتورها برای انتقال حرارت از گازهای حاصل از احتراق به هوای احتراق به کار می روند. اغلب ریکوپراتور های صنعت شیشه از فولاد ساخته شده اند که می تواند تا دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد به هوای احتراق انتقال دهد. نمودارهای زیر رابطه بین میزان دمای گازهای حاصل از احتراق ورودی، هوای پیش گرم شده وصرفهجوییدرمصرف را نشان می دهد. به عنوان مثال وقتی هوای احتراق برای نفت سنگین تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد به وسیله مبدل گرمایی با دمای ورودی ۸۰۰ درجه سانتیگراد، پیش گرم می شود؛ تادرمصرف سوخت حدود ۲۰٪ صرفهجویی شود.



مودار ۱- صرفه جویی در مصرف سوخت زمانیکه نفت استفاده می شود.[۳]



نمودار۲- صرفهجویی در مصرفسوختزمانیکهگاز طبیعیاستفادهمیشود. [۳]

اغلب ریکوپراتورهای صنعت شیشه بر دو نوع دو پوسته ای [۱] و همرفتی یا قفس لوله ای [۲] می باشند.

1- double shell recuperator

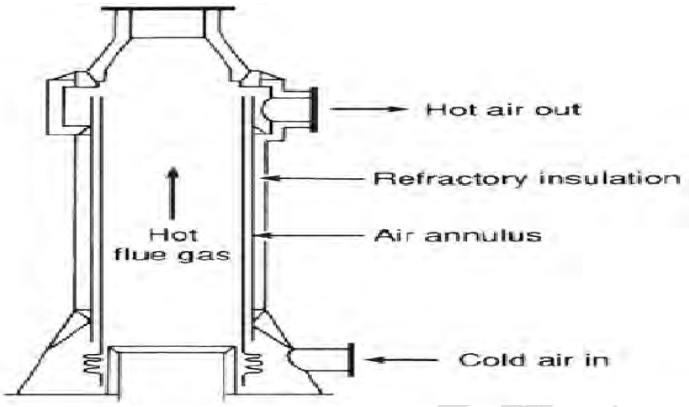
2- tube cage recuperator

۳-۱ کورههای ریکوپراتور دو پوسته ای

www.SID.ir

Archive of SID

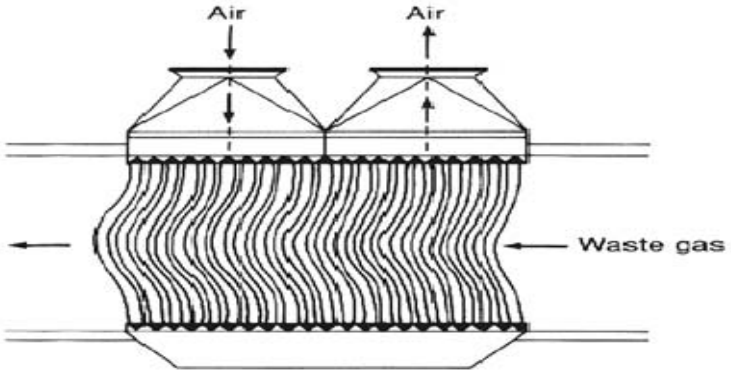
این ریکوپراتور از دو لوله فولادی هم مرکز با مقاومت دمایی بالا ساخته شده اند. گازهای داغ حاصل از احتراق از داخل لوله درونی و هوای احتراق از مسیر حلقوی بین دو لوله عبور می کنند. هوای احتراق می تواند به صورت موازی یا خلاف جهت گازهای حاصل از احتراق حرکت کند. این ریکوپراتورها به صورت تکی و جفت می توانند استفاده شوند و قادر به گرم کردن هوای احتراق تا محدوده دمایی ۶۵۰- ۴۵۰ درجه سانتیگراد می باشند. اساس کار این ریکوپراتورهای به تشعشع از گازهای داغ حاصل از احتراق وابسته است. برای کوره های کوچک با ظرفیت ذوب ۵۰ تن در روز استفاده از این ریکوپراتورها پیشنهاد می شود. در شکل ۳ این ریکوپراتور نشان داده شده است.[۴]



شکل (۳)- ریکوپراتور تشعشعی دو پوسته ای

۳-۲ ریکوپراتورهای همرفتی

این ریکوپراتورها از تعداد زیادی لوله های فولادی با قطرهای کوچک تشکیل شده اند که داخل محیط دایره ای یک لوله خارجی با قطر بزرگ، به صورت حلقه ای قرار دارند. لوله خارجی نیز از فولاد ساخته شده است که به وسیله آجرهای نسوز آستر شده است. گازهای حاصل از احتراق از داخل لوله بزرگ خارجی جریان می یابند و هوای احتراق از داخل لوله های داخلی می گذرد. لوله های هوا از بالا آزاد و از پایین به نحوی به مواد نسوز محکم شده اند که می توانند انبساط یابند. این نوع ریکوپراتور قادر به گرم کردن هوای احتراق تا دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد می باشد و معمولا برای کوره های بزرگتر که نیاز به مقدار هوای احتراق بیشتری دارند، به کار می رود. ریکوپراتورهای همرفتی از مزایایی چون فراهم کردن دمای بیشتر برای هوای احتراق و مواجهه با مشکلات کمتر در صورت میعان مواد فرار شیشه روی لوله ها، در مقایسه با ریکوپراتورهای دو پوسته ای برخوردار می باشند. در شکل ۴ این ریکوپراتور نشان داده شده است.[۳]

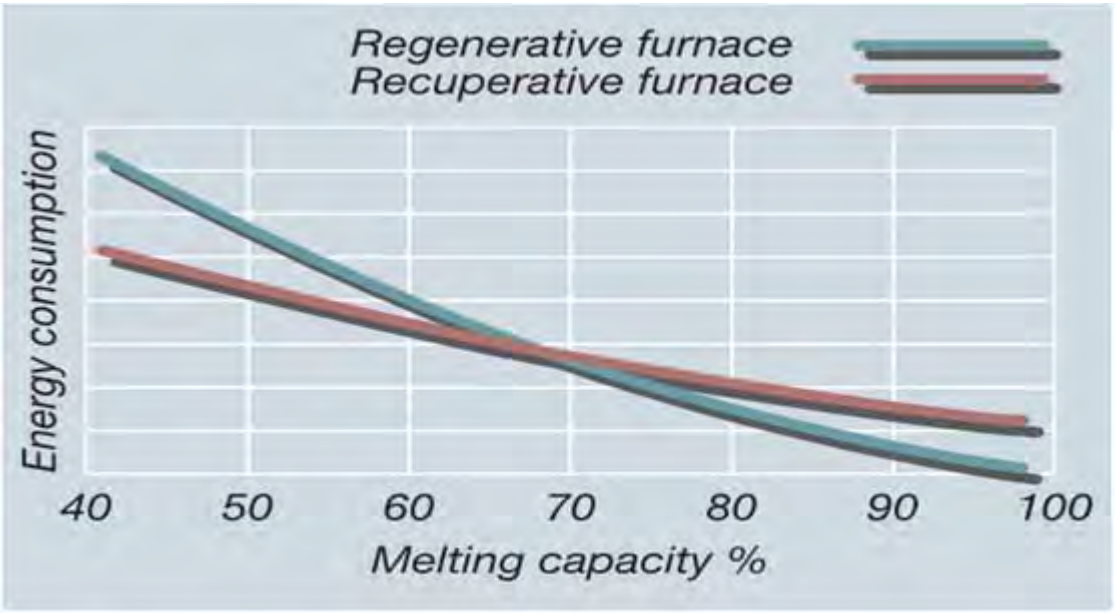


شکل (۴)- ریکوپراتورهمرفتی

www.SID.ir

Archive of SID

در نمودار زیر مصرف انرژی کوره های ریکوپراتوری و ریجنراتوری نسبت به ظرفیت ذوب در کشش های جزیی نشان داده شده است. همانطور که از نمودار نیز پیداست کوره های ریکوپراتوری معمولا برای ظرفیت های پایین که انعطاف پذیری بالای عملیات مورد نیاز است، مصرف انرژی پایین تری دارند و استفاده از آن ها مقرون به صرفه است. این کوره ها نیزمانند همتای ریجنراتوری خود به دو نوع پشت گذر و پهلو گذر تقسیم می شوند. [۳]



نمودار ۳- مقایسه مصرف سوخت کوره های ریجنراتوری و ریکوپراتوری

۳-۳-کورههایپشت گذر

در کوره های ریکوپراتوری پشت گذر چندین روش برای جاگذاری برنرها و رکوپراتور وجود دارد. در یکی از این روش ها، برنرها در دیواره پشتی کوره قرار دارند و گذر گازهای حاصل از احتراق دقیقا بالای آن ها در همان دیواره قرار دارد. شعله از برنر خارج شده و در امتداد کوره حرکت کرده، می چرخد و به سمت خروجی گاز درست در بالای برنرها می رود. مسیر شعله به شکل U عمودی می باشد. این روش به عنوان پرسود ترین و در نتیجه پر کاربرد ترین روش طراحی کوره های ریکوپراتوری پشت گذر، شناخته می شود.باراریزگاه در دیواره کناری چسبیده به دیواره پشتی قرار دارد. این نوع کوره برای ظرفیت های ذوب کم تا ۳۵ تن در روز استفاده می شود.

۳-۴کورههایپهلوگذر

درکورههایریکوپراتوریپهلوگذر،برنرهادرهردودیوارهکناریقرارمیگیرندوازهردوطرفبهشیشهحرارتمیدهندکهباعثکنترلبهترودماپایدار ترنسبتبهکورههایپشتگذرمیشود. برایکنترلدمادرکورههایبزرگتر،میتوانطولکورهرابهناحیههایمختلفکنترلدماتقسیمکرد. گازهایحاصلازاحتراقبهمقارندیوارهپشتیوبهوسیلهیکیادوگذرخروجیکهدردیوارهپشتییاکناریقرارمیگیرند،خارجمیشوند. کورهمیتواندبایکیادوباراریزگاه

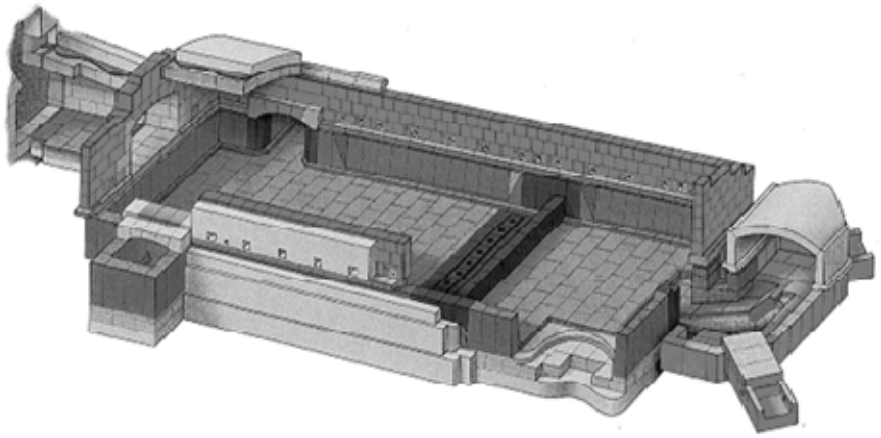
www.SID.ir

Archive of SID

طراحیشودکهمیتوانندرویدیوارهپشتیمخزنیادیوارهکناریمجاوردیوارهپشتیقرارگیرند.
درکششهایبالامصرفانرژیویژهایننوعکورههاازنمونههایریجنراتوریبیشتراستواستفادهازآنمقرونبهصرفهنیستولیدرکششهایپایین،مصرفا نرژیکمترازنمونههایریجنراتوریمیشودومعمولااستفادهازآنبرکورههایریجنراتوریارجحیتدارد. درشکل ۵ اینکورهنشانادادهشدهاست.

کاربرد	پشتگذر	پهلوگذر
نوعشیشه	شیشههایکریستالیبدونسرب[1] شیشههایبوروسیلیکاتینرم[2] چسبشیشه[3] شیشهآهک-کربناتسدیم	شیشهآهک-کربناتسدیم شیشههایبوروسیلیکاتینرم[7] فایبرگلاس آجرهایشیشه شیشههای
محصولات	روشنایی[4] فایبرگلاس آجرهایشیشه[5] شیشهمظروف[6]	شیشهمظروف
ظرفیتذوب	حداکثرتا ۳۵ تندرروز	۲۰-۳۵۰ تندرروز

جدول(۲) –مقایسهکاربردیانواعکورههایریکوپراتوری



شکل (۵)- کورهریکوپراتوری

1- lead-free crystal glass
2- soft borosilicate C glass
3- water glass
4- lighting ware
5- glass bricks
6- containers
7- soft borosilicate C glass

۴- کوره های الکتریکی

www.SID.ir

Archive of SID

این کوره ها جهت تولید شیشه های آلوده کننده و همراه با مواد فرار مانند کریستال سربی[1]، شیشه های اُپال [2] و همچنین برای شیشه های با مواد افزودنی بالا استفاده می شوند. عموما کوره های الکتریکی شیشه هایی بسیار همگن و با کیفیت بسیار بالا تولید می کنند.اگرچه در این کوره ها انتشارات کوره کاهش یافته و بازدهی حرارتی بسیار بالاست ولی استفاده گسترده از آن ها به علت ملاحظات هزینه و تکنیک عملیات محدود است. بر اساس تجربه عملیاتی امکان استفاده از کوره های الکتریکی برای عملیات پیوسته به سه محدوده کشش تقسیم می شود:

۱- برای کشش های کمتر از ۷۵ تن در روز عملی است.
۲- برای کشش های بین ۷۵ تا ۱۰۰ تن در روز در برخی شرایط عملی است.
۳- برای کشش های بیشتر از ۱۵۰ تن در روز غیر عملی است.

دیگر فاکتور تعیین کننده برای امکان استفاده از کوره های الکتریکی، تفاوت قیمت بین کوره های سوخت فسیلی و الکتریکی است. در اکثر کشورها الکتریسیته گرانتر از سوخت های فسیلی می باشد که این عامل استفاده از کوره های الکتریکی را محدود می کند.کوره های الکتریکی از نظر بازده دمایی دو تا چهار مرتبه بهتر از کوره های سوخت فسیلی می باشند و در کشش های بین ۱۵ تا ۱۰۰ تن در روز، اتلاف حرارتی کمتر آن ها فاکتور تعیین کننده در انتخاب نوع کوره است.در هر صورت جایگزینی کوره های سوخت فسیلی با کوره های الکتریکی باعث حذف آلاینده هایی چون اکسید سولفور، اکسیدهای نیتروژن و کربن دی اکسید می شود و همچنین انتشار مواد فرار در آنها کمتر است.این کوره ها معمولا از یک سمت باز می باشند و انتشارات گازی و گرمای ذوب باعث حرکت هوا می شوند. جهت خروج گرد و غبار، گاز و حرارت بدون وارد شدن به محیط کار نیاز به سیستم های تهویه ویژه می باشد.اگرچه کوره های الکتریکی هزینه ساخت کمتری نسبت به کوره های سوخت فسیلی دارند ولی از نظر هزینه عملیاتی و عمر کوره استفاده از آنها مقرون به صرفه نیست. زیرا این کوره ها هر ۲ تا ۶ سال نیاز به بازسازی و تعمیر دارند در حالیکه این رقم برای کوره های سوخت فسیلی ۵ تا ۱۴ سال می باشد. در جدول زیر مزایا و معایب کوره های الکتریکی آورده شده است.[۳]

جدول۳- مزایاومعایبکورههایالکتریکی

مزایا	افزایشنرخذوبنسبتبهسطحکوره کاهشانتشاراتبهبیروناز کوره افزایشبازدهیانرژی قیمتپایینترمواداولیهدربرخیموارد کیفیتوهمگنیبهترمحصولات
معایب	هزینهبالایعملیات عدمامکاناستفادهبرایکورههایباکششبالابهعلتمحدودیتهایتکنیکیواقتصادی عوارضزیستمحیطیناشیازتولیدالکتریسیته

1- lead crystal

2- opal glasses

۵-کوره های اکسی فیول

www.SID.ir

Archive of SID

این کوره ها بسیار شبیه کوره های سنتی سوخت فسیلی می باشند. در تکنولوژی اکسی فیول اکسیژن خالص جایگزین هوای احتراق می شود. این جایگزینی باعث کاهش انرژی مورد نیاز ورودی می شود. زیرا از طرفی با حذف ۷۹٪ درصد نیتروژن هوا از سیستم، نیازی به گرمایش آن نیست و از طرف دیگر بیش از ۷۰٪ محصولات داغ خروجی حاصل از احتراق کاهش می یابند. اگرچه حجم گاز های خروجی کاهش می یابند ولی استفاده از سیستم بازیافت حرارتی همچنان امکان پذیر می باشد. کوره های اکسی فیول یکی از بهترین انواع کوره از نظر بازدهی حرارتی و همچنین از نظر ملاحظات اقتصادی برای کاهش اکسیدهای نیتروژن می باشند. در واقع این کوره ها باعث کاهش اکسیدهای نیتروژن با هزینه پایین می شوند.بسته به نوع برنر و سرعت آتش زنی، برنر می تواند برای انواع مختلف طول شعله تنظیم شود که روی سرعت شعله تاثیر می گذارد در نتیجه سرعت شعله در کوره های اکسی فیول می تواند کمتر از کوره های سنتی سوخت فسیلی باشد. از آنجاییکه در کوره های اکسی فیول، سازه های فولادی و آجری نسوز برای ریجنراتورها و ساختارهای گذری حذف می شوند، هزینه ساخت و نگهداری کوره های آنها نسبت به کوره های سنتی سوخت فسیلی کمتر است. به علاوه با حذف ریجنراتور فضای بیشتری برای تجهیزات بازیافت حرارت موجود است. انواع مختلفی از این تجهیزات بازیافت مانند بویلرهای حرارت از دست رفته، ریکوپراتورها یا ریفرمرهای گاز می توانند با این نوع کوره استفاده شوند. از دیگر مزایای این کوره ، می توان به موارد زیر اشاره داشت:[۳]

۱- کاهش ترکیبات آلاینده که سازگار با قوانین زیست محیطی است.
۲- اندازه کوره قابل افزایش است که افزایش تولید را به همراه دارد.
۳- به علت بهبود عملیات ذوب، کیفیت شیشه تولیدی نسبت به کوره های سنتی سوخت فسیلی بیشتر است.

برخی معایب این سیستم نیز به شرح زیر می باشد:

۱- نیازمندی به اصلاح ساختار کوره و فرایندهای ذوب و تصفیه
۲- خوردگی بیشتر آجرهای نسوز سوپراستراکچرها که البته بستگی به ترکیب شیشه، طراحی کوره و نوع فرایند دارد.
۳- هزینه عملیاتی بیشتر نسبت به کوره های هوا-گاز

البته با کاهش هزینه ساخت، افزایش ظرفیت تولید و افزایش کیفیت محصولات، که از مزایای این سیستم بود، این هزینه عملیاتی بیشتر تعدیل می شود.

۶- کوره های سوخت ترکیبی

کوره های سوخت فسیلی با تقویت الکتریکی و کوره های الکتریکی با پشتیبانی سوخت های فسیلی دو نوع این کوره ها می باشند که البته مورد اول رایج تر است. در تقویت الکتریکی کوره های سوخت فسیلی الکترودهایی در زیر تانک ذوب قرار می گیرند. عبور جریان از این الکترودها باعث افزایش انتقال حرارت به کوره می شود که می تواند ۲ تا ۲۰ درصد انرژی ورودی باشد. در واقع تقویت الکتریکی باعث افزایش کشش کوره می شود بدون آنکه نیازی به افزایش اندازه کوره باشد. ابزار تقویت الکتریکی در حالیکه کوره تحت عملیات است می توانند به سیستم اضافه شوند و با هر دو نوع کوره پشت گذر و پهلو گذر قابل استفاده هستند.[۳]

۷-نتیجه گیری

www.SID.ir

Archive of SID

برای گسترش تکنولوژی ذوب شیشه که با نیازهایی در قرن ۲۱ روبروست، مکانیزم های پایه ذوب شیشه به روش سنتی باید به کلی درک شوند. در حال حاضر کوره های مداوم در اندازه های بزرگ برای ذوب، تصفیه و همگن سازی انواع شیشه های آهک-کربنات سدیم، کریستال سربی، کریستال و بوروسیلیکات استفاده می شوند. روش سنتی انتقال حرارت به کوره جهت ذوب شیشه، سوزاندن سوخت های فسیلی می باشد.کوره های ریکوپراتوری و ریجنراتوری با این سیستم کار می کنند. کوره های اکسی فیول نیز همانند این کوره ها می باشند با این تفاوت که به جای استفاده از هوای سوخت از اکسیژن خالص استفاده می کنند. استفاده از اکسیژن خالص به جای هوای سوخت باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش کیفیت محصولات پایانی می شود. کوره های الکتریکی از دیگر انواع کوره های صنعت شیشه می باشد که از الکتریسیته جهت تامین انرژی مورد نیاز خود استفاده می کند. این کوره شیشه ای همگن با کیفیت بالا تولید می کند و همچنین انتشار آلاینده های زیست محیطی را کاهش می دهد. انتخاب نوع کوره و روش استفاده شده برای ذوب شیشه بستگی به ظرفیت مورد نیاز، فرمولاسیون شیشه، قیمت سوخت، زیرساخت های موجود و ملاحظات زیست محیطی دارد.

www.Koureh.ir

۸- مراجع

www.SID.ir

Archive of SID

[1] the handbook of glass manufacture (by: Fay V. Tooley 1984)

[2] Output of seminar on energy conservation in iron and steel industry - Sponsored by United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and Ministry of International Trade and Industry (MITI), Japan

[3] A Project of the Glass Manufacturing Industry CouncilUnder contract #DE-FC36-021D14315 to the U.S. Department of Energy–Industrial-October 2004

[4] Glass Melting TechnologyPerfect Solutions for the Glass Industry www.sorg.de

www.Koureh.ir

www.SID.ir