



فصل چهارم

پخت کردن سرامیک‌ها

پخت سرامیک‌ها



ورودی پودمان با تصویری از بدنه‌های سرامیکی در حال پخت در داخل کوره و از فرایند پخت سرامیک‌ها آغاز شده است تا هنرجویان نسبت به فرایند پخت در داخل کوره داشته باشند.

صفحه ۸۳:



هنرجو با دقت در تصویر قطعه قبل و بعد از فرایند پخت در شکل ۱ با توجه به ذهنیت و آشنایی قبلی با بدنه خام سرامیکی و لمس استحکام کم آن می‌تواند به غیرقابل استفاده بودن آن قبل از انجام فرایند پخت اشاره کند. هدف از ارائه این مطلب این است که هنرجو به این موضوع پی ببرد که انجام مرحله پخت برای تمامی قطعات سرامیکی لازم و مهم است.

صفحه ۸۳ شکل ۱:

هدف از مطرح کردن سؤال درباره چگونگی افزایش استحکام بدنه سرامیکی در اثر فرایند پخت، ایجاد چالش ذهنی برای ورود به مبحث پخت و تغییرات اتفاق افتاده در این مرحله در ساختمان قطعه است تا هنرجو به این موضوع فکر کند که افزایش دما و حرارت در بدنه باعث نزدیک شدن ذرات تشکیل دهنده بدنه به همدیگر شده و با اتصال ذرات به همدیگر استحکام افزایش می‌یابد.

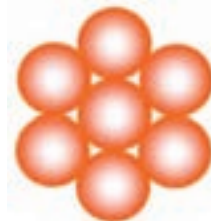
صفحه ۸۳ شکل ۳:

با مطرح شدن سؤال در زمینه تفاوت در ساختار بدنه خام و پخت شده و با دقت در شکل ۳ که ساختار بدنه سرامیکی را قبل و بعد از پخت نشان می‌دهد هنرجو به

نزدیک شدن ذرات به همدیگر و اتصال آنها و کاهش حجم باید دقت کند و به این مفهوم پی ببرد که متصل شدن ذرات به همدیگر استحکام بدنه را افزایش می‌دهد.



ب



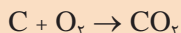
الف

شکل ۳

صفحه ۸۴:

در نکته صفحه ۸۴ به منظور کمک به درک هنرجویان در زمینه واکنش‌های اتفاق افتاده در بدنه در هنگام سوختن ترکیبات آلی و کربن موجود در بدنه سرامیکی در حضور اکسیژن کافی به واکنش اکسیداسیون کامل اشاره شده است.

واکنش زیر سوختن کربن در حضور اکسیژن کافی را نشان می‌دهد.



از سوختن کربن در حضور اکسیژن کافی گاز کربن‌دی‌اکسید و در سوختن آن با اکسیژن ناکافی کربن‌مونواکسید (CO) حاصل می‌شود که در نکته به این موضوع به صورت خلاصه اشاره شده است.

نکته



صفحه ۸۵:

بعد از مطرح شدن مبحث سوختن و خروج ترکیبات آلی، به عنوان یکی از تحولاتی که در بدنه سرامیکی هنگام پخت اتفاق می‌افتد ذهن هنرجو برای تفکر درباره علت و تأثیر این اتفاق در بدنه کشیده می‌شود تا به همفکری با سایر هنرجویان بپردازد.

اگر هنگام زینتر بدنه کربن یا مواد آلی به دلیل کمبود اکسیژن در محیط یا افزایش سریع دما باقی بماند این مواد آلی و کربن به عنوان عوامل احیاکننده عمل می‌کنند و باعث ایجاد عیوب می‌شوند.

گفت‌وگو کنید



دانش افزایی



عیب هسته سیاه در حقیقت همان کربن محبوس شده در بدنه و اکسید آهن دو ظرفیتی است. تأثیر هسته سیاه صرفاً باعث ایجاد رنگ تیره در فرآورده نمی‌شود بلکه باعث ایجاد تاول در سطح قطعه و زجاجی شدن بدنه می‌گردد. آهن اکسید دو ظرفیتی (FeO) در بدنه به صورت گداز‌آور عمل

می‌کند ولی آهن اکسید سه ظرفیتی (Fe_2O_3) در مقایسه با FeO یک اکسید دیر ذوب محسوب می‌شود.

در فراورده‌های دو پخت عیب هسته سیاه اغلب در پخت اول ایجاد می‌شود ولی ظاهر شدن آن در بدنه پس از پخت نهایی خواهد بود. لازم به ذکر است که این عیب در بدنه‌های نازک در مقایسه با فراورده‌های ضخیم بسیار کمتر است.

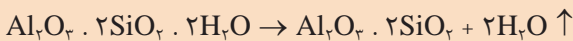
در مرحله اکسیداسیون در محصولات سرامیکی ریخته‌گری شده ممکن است عیبی مشابه هسته سیاه مشاهده شود که به صورت لکه‌های رنگی تیره در لبه‌ها و قسمت‌های برجسته ظاهر می‌شود. عامل اصلی این عیب تبلور روان‌سازهای حاوی سدیم است.

فعالیت کلاسی



صفحه ۸۵:

به منظور درک مفهوم تجزیه شدن برخی از ترکیبات در هنگام فرایند پخت چند نمونه از واکنش‌های تجزیه آورده شده است و از هنرجو خواسته شده است تا با تکمیل واکنش‌های تجزیه دید کلی در این زمینه به دست آورد. واکنش تجزیه چند ماده در زیر آمده است:



فکر کنید



صفحه ۸۶:

رعایت سرعت تغییرات دمایی در منحنی پخت:

پیچیدگی کنترل فرایند پخت به دلیل جابجایی محصولات و همچنین شار حرارتی زیادی است که در واحد زمان به محصول داده می‌شود. در این مرحله از تولید، طراحی منحنی حرارتی و تغییرات دمایی بسیار دارای اهمیت است. انتقال دما به قطعه در هر لحظه از زمان و کنترل آن از ابتدا تا انتهای حرارت‌دهی بدنه از اهمیت خاصی برخوردار است و باعث ایجاد استحکام مکانیکی، شفافیت و خروج ناخالصی‌ها از محصولات تولیدی می‌شود. متناسب نبودن دما در هر لحظه باعث معیوب شدن قطعات و اتلاف انرژی می‌شود. عدم کنترل شرایط حرارتی و افزایش بیش از حد دما نه تنها باعث اتلاف انرژی می‌شود، بلکه برای سردکردن محصولات تولیدی و کاهش دمای آن هم انرژی بیشتری مصرف

می‌شود. همچنین علاوه بر مراحل مختلف پخت، در صورتی که شکل‌دهی و مواد اولیه تحت کنترل نباشد عیوب مختلف در محصول می‌تواند ایجاد شود. در صورت وجود رطوبت زیاد در بدنه یا با توجه به وجود محدوده دمایی تغییرات پلی‌مورفیک در برخی بدنه‌ها لازم است در این دماها تغییرات دمایی کنترل شده باشد.

تحقیق کنید



صفحه ۸۷:

مطالب زیر به صورت کامل در در مورد تبدیلات فازی سیلیس و درصد تغییرات حجمی آن است که هنجار به صورت خلاصه می‌تواند نکات مهم را در تحقیق خود ارائه کند.

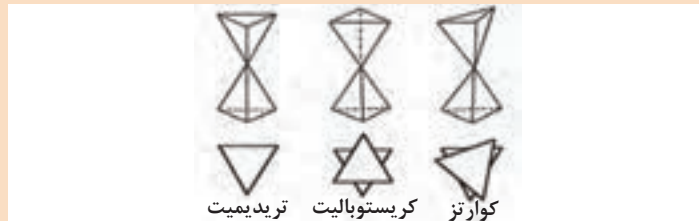
برای بررسی فازها و اشکال سیلیس^۱ یا پلی‌مورف‌های سیلیس ابتدا باید ساختمان آن بررسی شود. چهار وجهی‌های SiO_2 می‌توانند از طریق چهار رأس خود به یکدیگر متصل شده و به این ترتیب بار منفی یکدیگر را به طور کامل خنثی کنند. در این صورت هر اتم اکسیژن به دو چهار وجهی و مجاور تعلق داشته و در نتیجه هر چهار وجهی دارای یک اتم سیلیسیم و چهار نیمه اتم اکسیژن خواهد بود. به همین دلیل فرمول سیلیس به صورت SiO_2 نمایش داده می‌شود. سیلیس آزاد بلورین به چند شکل در طبیعت یافت می‌شود که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

- کوارتز^۲

- تریدمیت^۳

- کریستوبالیت^۴

هنگامی که دو چهار وجهی سیلیس به وسیله اتم مشترک رأس خود به یکدیگر متصل می‌شوند، قاعده مثلثی شکل چهار وجهی پایینی و قاعده مثلثی شکل چهار وجهی بالایی نسبت به هم می‌توانند سه وضعیت مختلف مطابق شکل‌های زیر داشته باشند.



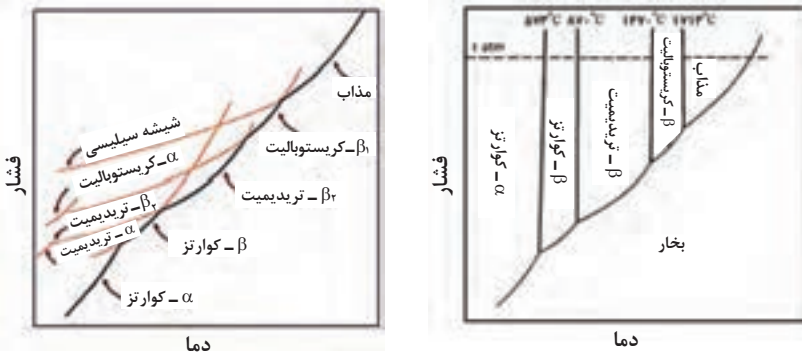
۱- Silica Phases & Forms

۲- Quartz

۳- Tridymite

۴- Cristobalite

در تردیمیت این دو قاعده کاملاً بر یکدیگر منطبق هستند در حالی که انطباق قاعده‌ها در کوارتز و کریستوبالیت دیده نمی‌شود. در کریستوبالیت یکی از قاعده‌ها نسبت به قاعدهٔ دیگر ۶۰ درجه گردش کرده است. به طور کلی در تردیمیت و کریستوبالیت اتصال چهار وجهی‌های مجاور به شکل مستقیم بوده و این اتصال‌ها حلقه‌هایی را متشکل از شش اتم سیلیسیم (به همراه اکسیژن‌های مربوطه) به وجود می‌آورند. در کوارتز اتصال چهار وجهی‌های مجاور مستقیم نبوده و به شکل مارپیچ است. به همین دلیل کوارتز دارای بیشترین تراکم در بین فازهای سیلیس است. وزن مخصوص کوارتز ۳/۶۵ (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، تردیمیت ۲/۲۸ (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و کریستوبالیت ۲/۳۲ (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. شیشه سیلیسی و یا شیشه کوارتز فاز دیگر سیلیس آزاد است. به طور کلی سیلیس آزاد دارای فازهای کوارتز، تردیمیت، کریستوبالیت و شیشه سیلیسی است.



منحنی تعادلی فازهای سیلیس

هر یک از فازها یا شکل‌های اصلی سیلیس خود دارای شکل‌های فرعی^۱ دیگری هستند. شکل‌های فرعی هر فاز بر حسب درجه حرارت خود معمولاً به ترتیب با حروف α و β مشخص می‌شوند. فاز کوارتز دارای دو شکل فرعی α و β ، فاز تردیمیت دارای سه شکل α ، β و β_1 و فاز کریستوبالیت دارای دو شکل فرعی α و β است. تفاوت بین اشکال مختلف فازهای سیلیس در زاویه پیوند سیلیسیم و اکسیژن است. به طور کلی در سیلیس، شکل‌های متعلق به درجه حرارت‌های پایین‌تر نظم کمتری دارند.

کوارتز، تردیمیت، کریستوبالیت و شیشهٔ سیلیسی چهار فاز پایدار سیلیس در شرایط تعادل هستند. کوارتز فاز پایدار در شرایط معمولی محیط است. فاز کوارتز تا درجه حرارت ۸۷۰ درجهٔ سلسیوس همچنان به صورت پایدار باقی‌مانده و سپس

۱- Forms

طبق منحنی تعادلی به تریدمیت تبدیل می‌شود. تریدمیت نیز به صورت پایدار بین درجه حرارت‌های ۸۷۰ تا ۱۴۷۰ درجه سلسیوس وجود داشته و پس از آن کریستوبالیت در درجه حرارت ۱۴۷۰ به وجود می‌آید و در نهایت کریستوبالیت در ۱۷۱۳ درجه سلسیوس ذوب شده و فاز سیلیس مایع ایجاد می‌شود.

تبدیلات مذکور در عمل و به خصوص در مقیاس تولید صنعتی به همان سادگی که دیاگرام فازی نشان می‌دهد به وقوع نمی‌پیوندد. تبدیل فازهای سیلیس در عمل بسیار به کندی صورت پذیرفته و اغلب مدت زمان بسیار زیادی را لازم دارند تا به تعادل برسند زیرا این عمل مستلزم شکسته شدن پیوند چهاروجهی‌ها و اتصال مجدد آنها به شکل جدید است. به عنوان مثال تبدیل کوارتز به تریدمیت به قدری آرام و کند است که عملاً بدون استفاده از کاتالیزورها امکان پذیر نیست. برای ایجاد فاز تریدمیت، ابتدا باید کوارتز تا درجه حرارت تشکیل کریستوبالیت یعنی بالاتر از ۱۴۷۰ و پایین‌تر از ۱۷۱۳ درجه سلسیوس سرد شود تا فاز تریدمیت ایجاد شود. در فرآورده‌های سرامیک فاز تریدمیت کمیاب بوده و معمولاً به اندازه فازهای کوارتز، کریستوبالیت و سیلیس مذاب مورد توجه نیست. در بین محصولات سرامیک فاز تریدمیت در بعضی از آجرهای نسوز وجود دارد. در هنگام سرد شدن، تبدیل فازها مشکل‌تر شده و به طور عملی در مقیاس صنعتی تقریباً امکان‌ناپذیر است. در این شرایط عملاً فازهای سیلیس مطابق منحنی تعادلی رفتار نکرده و در حالت غیرتعادلی فازهای نیمه پایدار^۱ ظاهر می‌شوند.

عملاً در هنگام سرد شدن، فاز سیلیس مایع به کریستوبالیت تبدیل نشده بلکه شیشه سیلیسی را به وجود می‌آورد، به همین ترتیب هنگامی که فاز پایدار کریستوبالیت β تا درجه حرارتی کمتر از ۱۴۷۰ درجه سلسیوس سرد می‌شود به تریدمیت تبدیل نشده و در درجه حرارت اتاق فاز نیمه پایدار کریستوبالیت α وجود خواهد داشت. تریدمیت نیز هنگام سرد شدن رفتاری مشابه کریستوبالیت را نشان می‌دهد، در هنگام سرد شدن، تریدمیت β به فاز کوارتز تبدیل نشده بلکه ابتدا فاز نیمه پایدار تریدمیت β و سپس فاز نیمه پایدار تریدمیت را در درجه حرارت اتاق به وجود می‌آورد.

دانش‌افزایی



نکات مهم در بررسی تحولات فازی سیلیس:

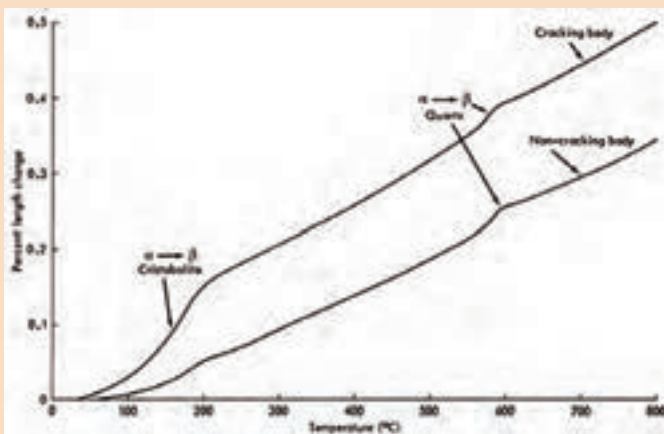
- در هنگام بررسی تحولات فازی سیلیس لازم است به نکات زیر توجه شود:
- ۱ دانه‌بندی و اندازه ذرات سیلیس در زمان مورد نیاز جهت انجام تبدیلات بسیار مؤثر است. به عنوان مثال تبدیلات در یک نمونه کوارتز ریزدانه سریع‌تر از نمونه کوارتز درشت دانه رخ می‌دهد.
 - ۲ وجود کاتالیزورهای مناسب باعث تسریع در تبدیلات فازها می‌شوند. در

تبدیل فاز کوارتز به کریستوبالیت، کلسیم و منیزیم اکسید، و در تبدیل فاز کوارتز به تریدیمیت علاوه بر اکسیدهای مذکور، اکسیدهای سدیم، پتاسیم، آهن و آلومینا کاتالیزورهای مناسبی هستند.

۲ تبدیل فازها به صورت تدریجی رخ می‌دهد. هنگامی که تبدیل شروع می‌شود مقدار کمی کریستوبالیت باعث می‌شود که مقدار بیشتری کوارتز به کریستوبالیت تبدیل شود. کریستوبالیت حاصل مجدداً به صورت محرک عمل کرده و سرعت و شدت تبدیل را بیشتر افزایش می‌دهد تا کوارتز کاملاً به کریستوبالیت تبدیل شود. بنابراین کریستوبالیت در این تبدیلات خود به صورت کاتالیزور عمل می‌کند به همین دلیل در عمل برای تبدیل کوارتز به کریستوبالیت مقداری کریستوبالیت به صورت مصنوعی در ابتدا به کوارتز اضافه می‌شود.

۴ زمان عامل بسیار مهمی در تبدیل فازها است، بنابراین عملاً می‌توان از طریق عدم ایجاد زمان کافی، از تبدیلات فازی جلوگیری کرد.

فاز کوارتز دارای دو شکل α و β است. وزن مخصوص کوارتز α برابر با $2/65$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و وزن مخصوص کوارتز β برابر با $2/6$ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. به‌طور کلی در کوارتز تبدیل اشکال α و β به یکدیگر در درجه حرارت‌هایی بین 55° تا 575° درجه سلسیوس به وقوع می‌پیوندد. ولی معمولاً برای این تبدیل به‌طور مشخص درجه حرارت 573° درجه سلسیوس قید می‌شود. اگر چه معمولاً این تغییر، تغییر ناگهانی در نظر گرفته می‌شود ولی در حقیقت تغییر شکل α به β در کوارتز از حدود 55° درجه سلسیوس آغاز شده و سپس سرعت آن افزایش می‌یابد تا اینکه در 573° درجه سلسیوس به‌طور تقریباً ناگهانی به نهایت شدت خود می‌رسد. شکل زیر منحنی انبساط تبدیل دو طرفه و قابل برگشت اشکال کوارتز را نشان می‌دهد.



همچنان که این منحنی نشان می‌دهد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به طور خلاصه تبدیل متقابل شکل α و β در کوارتز به طور نسبی ناگهانی نبوده است بلکه تقریباً به مرور شدت آن افزایش می‌یابد ولی این تبدیل در درجه حرارت مشخصی یعنی در 573°C درجهٔ سلسیوس انجام می‌شود. فاز سیلیس بی شکل یا آمورف تبدیل فازی ندارد و این تبدیلات در فازهای بلورین انجام می‌شود. بنابراین در لعاب‌ها که اساساً دارای ساختمان آمورف هستند، پس از ذوب و هنگام سرد شدن هیچ نوع تبدیل شکلی انجام نمی‌شود.

شکل ۴ صفحهٔ ۸۷:



تف جوشی یا زینتر

در مبحث زینتر یا تف جوشی هنرجو با تفکر در مثال عینی ارائه شده و طبق شکل ۴ در ابتدای مبحث، به اهمیت اعمال فشار، افزایش دما و اثرات این عوامل در تراکم بدنه توجه می‌کند. هنرجو لازم است اثر تک تک این دو عامل و اثر هم‌زمان آنها در افزایش استحکام و یکپارچگی بدنه را درک کند. همچنین چسبیدن قطعات یخ که به صورت فعالیت کارگاهی در صفحهٔ ۸۸ آمده است، می‌تواند مثالی دیگر برای بیان مفهوم زینتر باشد.

به‌طور کلی تف جوشی را می‌توان به دو دسته تف جوشی در حالت جامد و تف جوشی در حضور فاز مایع تقسیم‌بندی کرد که در شکل زیر نشان داده شده است.



(الف) تف جوشی در حضور فاز مایع (ب) تف جوشی در حالت جامد

هنگام انجام تفجوشی در فاز مایع، یک فاز مایع در کنار ذرات جامد قرار می‌گیرد. به طور معمول فاز مایع سرعت به هم پیوستن بین ذرات در هنگام تفجوشی را بالا می‌برد. همراه با ایجاد پیوند بین ذره‌ای تغییرات عمده‌ای در ساختار حفره و خواص فشاری مانند استحکام، چقرمگی، رسانایی، تراوایی مغناطیسی و مقاومت به خوردگی رخ می‌دهد. در زینترینگ در حضور فاز مایع، با افزایش دما، مواد گداز آور موجود در آمیز به تدریج ذوب می‌شوند و فاز مایع ایجاد می‌کنند. فاز مایع به محل‌های خالی بین ذرات نفوذ می‌کند و باعث پشدن تخلخل‌ها و اتصال بین ذرات آمیز می‌شود.

مزیت اصلی تفجوشی در فاز مایع، سرعت بالای این فرایند است. فاز مایع موجب افزایش سرعت نفوذ اتمی نسبت به تفجوشی در حالت جامد می‌شود. اثر موئینگی ناشی از ترشوندگی فاز مایع، منجر به چگالش سریع بدون نیاز به فشار خارجی می‌شود. همچنین فاز مایع اصطکاک بین دانه‌ای را کاهش می‌دهد و به آرایش مجدد ذرات جامد کمک می‌کند. علاوه بر این حل شدن لبه‌ها و گوشه‌های تیز ذرات در فاز مایع موجب بهبود قابلیت تراکم می‌گردد. اندازه ذرات در حین تفجوشی در فاز مایع قابل کنترل است، بنابراین تغییرات ریز ساختاری در جهت بهبود خواص، قابل دستیابی است.

نحوه انجام تفجوشی: از نظر اعمال یا عدم اعمال نیرو به یک قطعه جهت تولید قطعاتی با چگالی بالا می‌توان روش‌های تفجوشی را به دو نوع تقسیم کرد:

- ۱- تفجوشی بدون فشار:** در این روش که بسیار ارزان قیمت نیز می‌باشد، هیچ‌گونه فشار مکانیکی در حین تفجوشی به نمونه اعمال نمی‌شود. در این حالت تنها نیروی محرکه جهت کاهش حفرات همان کاهش انرژی سطحی است.
- ۲- تفجوشی تحت فشار:** در این حالت در حین تفجوشی به نمونه فشاری اعمال می‌شود، تا فشار اعمالی نیز به عنوان نیرو محرکه، فرایند چگالش را بهبود بخشد.

امروزه روش‌های غیرمرسومی نظیر تفجوشی به کمک امواج ماکروویو و تفجوشی به کمک جرقه پلاسمایی نیز وارد عرصه تفجوشی شده‌اند.

دانش افزایی



عوامل مؤثر در تفجوشی

عوامل مؤثر بر تفجوشی عبارت‌اند از:

- ۱- دما:** عامل اصلی انجام فرایند تفجوشی دماست، بالا رفتن دما موجب تسریع فرایندهای نفوذی می‌شود. اما از طرف دیگر هزینه تولید را نیز بالاتر خواهد برد. میزان فشردگی نمونه خام و همچنین مقدار و نحوه توزیع حفرات، در انتخاب بهترین دمای تفجوشی تأثیر بسزایی دارد.
- ۲- زمان:** زمان تفجوشی در ساختار نهایی تأثیر شدیدی دارد. کوتاه کردن

زمان تف‌جوشی در یک حد بهینه علاوه بر پایین آوردن هزینه‌های تولید، همان‌طور که در قسمت قبل نیز توضیح داده شد، از رشد دانه جلوگیری می‌کند و مانع از جدا شدن حفرات از مرز دانه‌ها می‌شود.

۳- چگالی خام: هرچه چگالی خام قطعات اولیه بالاتر باشد، تف‌جوشی نیز در دما و زمان کمتری منجر به ایجاد قطعاتی با بهترین چگالی نهایی می‌گردد. به طور کلی روش آماده‌سازی مواد اولیه و روش شکل‌دهی در رسیدن به یک چگالی خام بالا بسیار مؤثر است.

۴- همگنی ساختار خام اولیه: هرچه حفرات موجود در سیستم و همچنین افزودنی‌هایی که به عنوان کمک زینتر به سیستم افزوده می‌شوند به صورت یکنواخت‌تر در ساختار پراکنده شوند، نتایج بهتری حاصل خواهد شد. حضور آگلومرها می‌تواند یکنواختی سیستم را به شدت تحت تأثیر قرار داده و موجب به جا ماندن حفرات درشت در ساختار شود.

۵- اتمسفر تف‌جوشی: اتمسفر تف‌جوشی را از لحاظ فشار و ترکیب می‌توان مورد بررسی قرار داد. انتخاب مناسب اتمسفر کوره علاوه بر اینکه از انجام واکنش‌های شیمیایی نامطلوب جلوگیری می‌کند و در بعضی موارد موجب خروج بعضی ناخالصی‌ها از سیستم می‌شود، همچنین می‌تواند از لحاظ فشاری نیز فرایند تبخیر و چگالش را درحین تف‌جوشی تحت تأثیر مثبت قرار داده و موجب بهبود خواص قطعه نهایی شود. اما اتمسفرهای شامل گازهای غیرقابل حل نظیر نیتروژن (یا هوا)، آرگون و یا هلیوم می‌تواند با ایجاد فشار داخلی در حفرات و بالا بردن فشار درونی، از نیروی محرکه انقباض آن کم می‌کند و موجب عدم توانایی در رسیدن به چگالی بالا شود.

۶- ناخالصی: درصد مناسب ناخالصی برای جلوگیری از رشد دانه و همچنین جدایش حفرات از مرزدانه‌ها می‌تواند مفید باشد. برخی از ناخالصی‌ها از درشت شدن حفرات در مرحله آخر جلوگیری می‌کنند.

نیروی محرکه تف‌جوشی

همانند بسیاری از فرایندهای برگشت‌ناپذیر، تف‌جوشی نیز با کاهش انرژی آزاد سیستم همراه است. منابعی که باعث کاهش انرژی آزاد می‌شود را غالباً نیروی محرکه فرایند تف‌جوشی می‌نامند. سه نوع متفاوت از نیروهای محرکه عبارت‌اند از:

- تقعر سطحی

- فشار اعمالی

- واکنش شیمیایی



صفحه ۹۰:

هدف از طراحی این فعالیت کلاسی بررسی تک پخت یا چند پخت بودن بدنه‌های نشان داده شده در فعالیت توسط هنرجو و با راهنمایی هنرآموز محترم است.

در صنایع تولید کاشی، با توجه به نوع محصول تولیدی و تکنولوژی به کار گرفته شده، فرایند تک پخت، دو پخت و سه پخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ابتدا بدنه پخته شده و پس از لعاب‌زنی پخت دوم انجام می‌گیرد. در صنعت کاشی به منظور ایجاد تنوع و زیبایی بیشتر، در برخی از تولیدات با ایجاد نقوش بر روی کاشی دیواری به صورت چاپ بر روی کاشی، برای سومین بار پخت انجام می‌شود.

تولید کاشی کف به صورت تک پخت صورت می‌گیرد. همچنین آخرین تکنولوژی در تولید کاشی دیواری نیز، فرایند تک پخت است. در این فرایند، با توجه به نزدیک بودن درجه حرارت لازم جهت پخت بدنه و لعاب کلیه مراحل پخت در یک مرحله صورت می‌گیرد.

فرایند تولید کاشی دیوار هم به صورت تک پخت و هم دو پخت قابل انجام



است. در فرایند دو پخت به علت نیاز به حرارت بالا جهت پخت و نیاز لعاب به کار رفته در آن (موسوم به فریت) به درجه حرارت پایین، پخت بدنه و لعاب در دو مرحله و در کوره‌های جداگانه با درجه حرارت‌های مختلف انجام می‌شود.

آجرهای دیرگداز، گلوله‌های سرامیکی، فراورده‌های چینی بهداشتی و مقره‌های الکتریکی معمولاً تک پخت هستند.



در ظروف خانگی دکوری برای تثبیت رنگ‌هایی که برای تزئین در سطح محصولات لعاب‌دار به کار می‌روند پخت سوم انجام می‌شود.

گفت‌وگو کنید



صفحه ۹۱:

ابعاد ذرات تشکیل‌دهنده بدنه‌ها، پیچیدگی شکل و ضخامت محصولات، زمان و دمای مورد نیاز برای گرم شدن کوره عواملی است که هنرجویان می‌توانند در زمینه نکات مربوط به تنظیم برنامه عملیات حرارتی یا منحنی پخت به آنها اشاره کنند.



فعالیت کلاسی



صفحه ۹۲:

هنرجو مطابق فعالیت حل شده قادر خواهد بود به سؤالات پاسخ دهد.

۱ چند مرحله گرمایش در منحنی پخت وجود دارد؟

- با توجه به منحنی پخت سه مرحله گرمایش در منحنی وجود دارد.

۲ دمای پخت چند درجه سلسیوس است؟

- دمای پخت بیشترین دما در نظر گرفته می‌شود و طبق نمودار ۱۲۰۰ درجه سلسیوس است.

۳ مدت زمان ماندن در دمای پخت چقدر است؟

$$۱۶۵ - ۷۵ = ۹۰$$

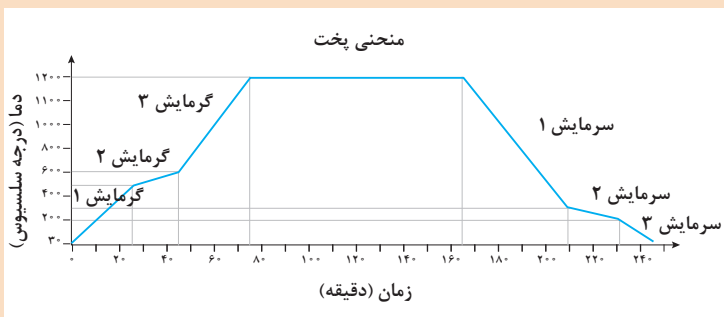
۴ چند مرحله سرمایش در منحنی پخت وجود دارد؟

- سه مرحله سرمایش وجود دارد.

۵ مراحل گرمایش و سرمایش را شماره‌گذاری و سرعت تغییرات دمایی را

در هر مرحله محاسبه کنید.

گرمایش ۱	$\frac{۵۰۰-۲۵}{۲۵-۰} = \frac{۴۷۵}{۲۵} = ۱۹$
گرمایش ۲	$\frac{۶۰۰-۵۰۰}{۴۵-۲۵} = \frac{۱۰۰}{۲۰} = ۵$
گرمایش ۳	$\frac{۱۲۰۰-۶۰۰}{۷۵-۴۵} = \frac{۶۰۰}{۳۰} = ۲۰$
سرمایش ۱	$\frac{۱۲۰۰-۳۰۰}{۲۱۰-۱۶۵} = \frac{۹۰۰}{۴۵} = ۲۰$
سرمایش ۲	$\frac{۳۰۰-۲۰۰}{۲۳۰-۲۱۰} = \frac{۱۰۰}{۲۰} = ۵$
سرمایش ۳	$\frac{۲۰۰-۲۵}{۲۵۰-۲۳۰} = \frac{۱۷۵}{۲۰} = ۸/۷۵$



صفحه ۹۶:

نوع کوره‌های نشان داده شده در فعالیت کلاسی با توجه به توضیحات ارائه شده در جدول آمده است. در این فعالیت کلاسی هنرجو بر اساس مطالب ارائه شده در معرفی انواع کوره می‌تواند جدول را تکمیل کند.

فعالیت کلاسی



کوره متناوب جعبه‌ای



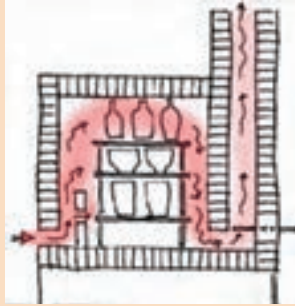
کوره متناوب کلاه‌دار



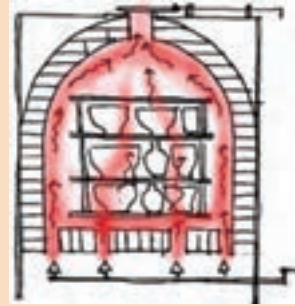
کوره متناوب واگنی (شاتل)



نوع کوره بر اساس جهت گردش هوا و محل مکش



کوره‌های با مکش عرضی یا افقی



کوره‌های با مکش فوقانی



کوره هوفمن و چگونگی پخت محصولات در آن

کوره هوفمن یا هوفمان (Hoffmann kiln) یکی از کوره‌های مورد استفاده در صنایع مختلف سرامیک است. این کوره در سال ۱۸۵۶ توسط فردی به همین نام ابداع شد و در حال حاضر در صنایع آجر، سفال و مواد دیرگداز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کوره در گروه کوره‌های پیوسته یا مداوم قرار دارد. در این کوره، محصولات ثابت و آتش متحرک است.

کوره هوفمن، تونل طولی است که به شکل حلقه یا بیضی ساخته می‌شود و با استفاده از دیواره‌ها یا تیغه‌هایی به اتاق‌هایی تقسیم می‌شود. اتاق‌های کوره هوفمن از کانال دریچه‌ها یا درهایی که در تیغه‌های جداکننده اتاق‌ها تعبیه شده است، با یکدیگر در ارتباط هستند. هر یک از اتاق‌ها نیز یک درب خروجی به بیرون دارند که برای بارگیری و تخلیه کوره مورد استفاده قرار می‌گیرند. به این درها خمیره یا قمیره می‌گویند.

در کوره هوفمن، محصولات قبل از آنکه مستقیماً توسط آتش پخته شوند، با حرارت سایر اتاق‌ها گرم می‌شوند که اصطلاحاً پیش‌گرمایش نامیده می‌شود. این حرارت همراه با گاز خروجی اتاق پخت و از طریق دریچه‌هایی که قبلاً تعبیه شده است حرکت می‌کند و به اتاق‌های مجاور وارد می‌شود و محصولات موجود در آنها را پیش‌گرم می‌کند. زمانی که در یک اتاق، عملیات پخت در جریان است، در اتاق مقابل (دورترین اتاق)، عملیات تخلیه و بارگیری در جریان است. این کار با استفاده از دری که اتاق به بیرون کوره دارد انجام می‌شود. ضمن بارگیری، هوای خنک نیز وارد کوره می‌شود که به وسیله آتش موجود در اتاق پخت و از طریق دریچه‌های تعبیه شده بین اتاق‌ها مکیده می‌شود؛ بنابراین هوا از اتاق‌هایی که عملیات پخت قبلاً در آنها صورت گرفته است حرکت می‌کند و باعث خنک شدن محصولات پخته شده می‌شود. به این ترتیب در حلقه کوره

هوفمن دو جریان هوا وجود دارد:

- هوایی که در نیم‌دایره اول، از اتاق پخت به سمت بیرون جریان دارد و اتاق‌های بعدی را پیش گرم می‌کند.

- هوایی که در نیم‌دایره مقابل، از بیرون به سمت اتاقک پخت جریان دارد و اتاق‌های قبلی را خنک می‌کند.

با اتمام عملیات پخت در اتاق پخت، در اتاق روبه‌روی حلقه هوفمن نیز عملیات بارگیری تمام می‌شود و درب آن به بیرون بسته می‌شود. در این مرحله، مشعل‌ها از سقف اتاق پخت به سقف اتاق بعدی منتقل می‌شوند و درب اتاق روبه‌روی این اتاق (اتاق پخت جدید) برای تخلیه و بارگیری گشوده خواهد شد.

کوره‌های هوفمن در چند مدل کوره حلقوی، کوره زیگ‌زاگ (zig-zag)، کوره بوکس (Bocks) و کوره هاریزن (Harrizon) ساخته می‌شود.

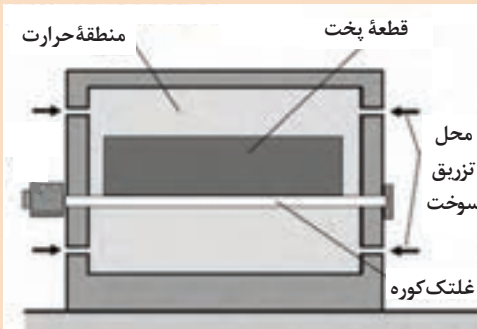
دانش افزایی



کوره‌های دارای بستر غلتکی:

کوره غلتکی تک بستر متداول‌ترین نوع کوره است که در تولید کاشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمان پخت در برخی از این کوره‌ها، کمتر از ۴۰ دقیقه است. در این کوره‌ها، کاشی از میان غلتک‌های کوره عبور کرده و حرارت مورد نیاز برای گرمایش آنها، از طریق مشعل‌هایی فراهم می‌شود که با گاز طبیعی کار می‌کنند. این مشعل‌ها در کناره‌های کوره کار گذاشته می‌شوند. مکانیزم‌های اصلی در انتقال حرارت در این کوره‌ها، همرفت و تابش است. این کوره‌ها غیر مافلی هستند یعنی مواد حاصل از احتراق با بدنه‌های در حال پخت در تماس هستند. به دلیل غیر مافلی بودن این کوره‌ها، بازده انتقال حرارت بالا می‌رود و بنابراین میزان انرژی مصرفی در این کوره‌ها، کاهش می‌یابد. کوره‌های با بستر غلتکی همچنین در برخی از موارد برای تولید سفال‌های پشت بام، لوله‌های رسی زجاجی، چینی بهداشتی و چینی مظروف،

نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل روبه‌رو سطح مقطع یک کوره با بستر غلتکی را نشان می‌دهد.



سطح مقطع یک کوره با بستر غلتکی

گفت‌وگو کنید



صفحه ۱۰۴:

کوره‌های دوار پیوسته و ناپیوسته از نظر ظرفیت تولید و ابعاد کوره با یکدیگر متفاوت هستند.

طبق مطالب ارائه شده در مورد کوره‌های دوار پیوسته و ناپیوسته ظرفیت تولید و ابعاد کوره در نوع پیوسته در مقایسه با نوع ناپیوسته بیشتر است.

بررسی



صفحه ۱۰۷:

برای تشخیص یکنواختی دما در جاهای مختلف کوره بهترین روش استفاده از مخروط زگر است. می‌توان از طریق کنترل کیفیت محصولات یکسان پخت شده در قسمت‌های مختلف کوره نیز این بررسی را انجام داد.

دانش افزایی



تنظیم دمای کوره با استفاده از مخروط زگر



ابتدا سه عدد مخروط زگر با توجه به دمای مورد نظر برای تنظیم کوره انتخاب می‌شود. به عنوان مثال برای دمای حدود ۱۱۹۰ درجه سلسیوس، مخروط‌های زگر ۳، ۴ و ۵ که به ترتیب معادل ۱۱۷۰، ۱۱۹۰ و ۱۲۰۵ درجه سلسیوس هستند انتخاب می‌شود.

مخروط‌ها را بر روی صفحه دیرگاز مناسب مانند آجر شاموتی می‌چسبانیم. می‌توان از ملات‌های آلومینایی یا شاموتی برای چسباندن استفاده کرد. باید دقت شود که دیرگدازی ملات و آجر مورد استفاده بیش از دمای مورد نظر باشد.

لازم است ترتیب چیدن مخروط‌ها از دمای پایین تا دمای بالا رعایت شود. مجموعه مخروط‌ها را در محلی که از طریق چشمی یا روزنه بازدید کوره قابل مشاهده باشد قرار دهید.

با افزایش دما و نزدیک شدن دمای کوره به دمای مورد نظر، ابتدا مخروط با

دمای معادل کمتر تغییر شکل می دهد و شروع به خم شدن می کند. با افزایش بیشتر دما و نزدیک شدن به مخروط میانی (مخروط شماره ۴)، مخروط شماره ۳ کاملاً ذوب می شود ولی مخروط شماره ۴ خم می شود. در این حالت دمای کوره به دمای موردنظر رسیده است. در صورت افزایش بیشتر دما، مخروط شماره ۵ نیز شروع به خم شدن می کند که در این صورت باید دما کاهش داده شود.

فعالیت کلاسی



صفحه ۱۰۹:

در این قسمت توضیحات تکمیلی در مورد عیوب ایجاد شده در بدنه های سرامیکی طبق جدول ۸ آمده است که هنرآموزان می توانند به منظور تکمیل اطلاعات موجود در کتاب کارگاهی خشک کردن و پختن سرامیک ها به هنرجویان ارائه کنند.

هسته سیاه (مغز سیاه)

عوامل مؤثر بر ایجاد و تشدید عیب مغز سیاه (black core)

۱- اتمسفر کوره:

در صورتی که به هر دلیل، اتمسفر کوره احیایی باشد؛ تغییر نسبت سوخت به هوا، بالا رفتن فشار سوخت تغییر عدد اکتان سوخت در مورد سوخت های گازی عیب مغز سیاه تشدید خواهد شد. (عدد اکتان نشان دهنده این است که چند CH_4 به هم چسبیده اند و نشانگر ارزش سوخت است و اینکه سوخت چه مقدار برای ایجاد انرژی به اکسیژن نیاز دارد).

۲- مکش اگزوز:

اگر فشار داخل کوره افزایش یابد، تنظیم مشعل ها ممکن است به هم بخورد که منجر به ایجاد اتمسفر احیایی در کوره شود و در نتیجه عیب مغز سیاه ایجاد می شود.

۳- مواد آلی سنگین موجود در بدنه:

بعضی از خاک ها محتوی مقداری مواد آلی سنگین هستند که این مواد آلی سنگین اولاً ممکن است دمای تجزیه و سوختن بالاتری داشته باشند و ثانیاً با توجه به اینکه در داخل بدنه هستند در هنگام سوختن، اگر اکسیژن به آنها نرسد، ممکن است به شکل دوده در آیند. در دماهای بالاتر سوختن دوده، داخل قطعه را احیایی می کند و در نتیجه داخل قطعه احیایی شده سیاه می شود.

اگر مواد آلی که عامل احیا کننده هستند منشاء بدنه داشته باشند یعنی در داخل خاک های بدنه موجود باشند، در صورت اکسید شدن اتمسفر کوره، ابتدا مواد آلی متعلق به سطح قطعه سوخته می شوند و سپس باید اکسیژن به داخل و مغز

قطعه نفوذ کند تا بتواند در مغز قطعه مواد آلی را بسوزاند. به همین جهت است که مغز سیاه در قشر میانی و ضخامت قطعه که اکسیژن نرسیده و احیا شده است دیده می‌شود.

کاشی‌های دیواری، استحکام کمتری از کاشی‌های کف دارند. اگر کاشی دیواری در محیط احیایی قرار بگیرد، دوده زدگی درونی قطعه، استحکام قطعه را بسیار کاهش می‌دهد. تقریباً استحکام کاشی‌های دیواری با عیب مغز سیاه به کمتر از حداقل قابل مصرف کاهش پیدا می‌کنند.

کربن، دوده و گرافیت از ترکندگی جلوگیری می‌کنند و باعث می‌شوند ذرات نتوانند با یکدیگر اتصال کافی داشته باشند و فاز مذابی که ایجاد می‌شود نمی‌تواند ذرات را خوب تر کند. در نتیجه پس از پخت، ذرات به خوبی به یکدیگر نچسبیده و استحکام ناکافی می‌شود.

۴- نفوذ پذیری قطعه یا بدنه (Permibility):

هر چه نفوذپذیری قطعه بیشتر باشد، اکسیژن به داخل قطعه می‌رسد، داخل قطعه بهتر اکسید می‌شود و احتمال بروز عیب مغز سیاه کمتر می‌شود.

۵- میزان کربنات‌های بدنه:

با افزایش میزان کربنات‌ها در بدنه، به دو علت عیب مغز سیاه کاهش می‌یابد اولاً حضور کربنات در بدنه، منجر به ایجاد تخلخل و افزایش نفوذپذیری می‌شود، در نتیجه عیب مغز سیاه کاهش می‌یابد. ثانیاً کربنات‌ها حین تجزیه، هنگام خروج CO_2 باعث می‌شوند که بقایای احتراق ناقص مثل CO از داخل قطعه به خارج رانده شود و از آنجایی که دمای تجزیه کربنات‌ها قبل از انسداد کامل تخلخل‌های باز آغاز می‌شود و هنوز راه خروج وجود دارد، تجزیه کربنات، باعث بادکردگی موضعی نمی‌شود.

۶- اثر فشار پرس:

هر چه فشار پرس بیشتر باشد، بدنه متراکم‌تر می‌شود و نفوذپذیری بدنه کمتر و عیب مغز سیاه افزایش می‌یابد. در این حالت در کاشی کف بادکردگی مشاهده می‌شود. اگر در بدنه آهن نباشد، بادکردگی و مغز سیاه ایجاد نمی‌شود. ولی در صورت وجود آهن در حدود $0/4$ الی $0/5$ درصد در بدنه‌های چینی، در کناره‌ها و داخل رنگ سیاه ایجاد می‌شود.

۷- بخار آب:

بخار آب اتمسفر کوره را احیایی می‌کند. چون خاصیت احیاکنندگی قوی‌تری از C و CO_2 دارد H_2O و H^+ وارد اتمسفر کوره شده و یونیزه می‌شود که باعث بروز مغز سیاه می‌شود.

H^+ که می‌تواند ناشی از یونیزه شدن بخار آب باشد که به صورت عامل احیاکننده بسیار قوی عمل کرده و باعث بروز عیب مغز سیاه می‌شود.

۸- لعاب و چاپ:

در صورتی که لعاب یا چاپ اعمالی بر روی لعاب زود ذوب باشد (زود ذوبی اکثراً در مورد چاپ رولعابی وجود دارد) به واسطه کاهش نفوذپذیری بدنه و انسداد زودرس تخلخل‌ها، عیب مغز سیاه و همچنین بادکردگی تشدید می‌شود. درصد مغز سیاه با نوع چاپ اعمالی تغییرپذیر خواهد بود.

۹- MnO_2 :

منگنز دی‌اکسید خاصیتی دارد که در کنار FeO ، آن را به Fe_2O_3 تبدیل می‌کند. یعنی MnO_2 با بالا رفتن دما، به Mn_2O_3 و MnO تبدیل و اکسایش خود را در اختیار بدنه قرار می‌دهد و از بروز مغز سیاه جلوگیری می‌کند. در صورت تمایل به افزودن منگنز دی‌اکسید به بدنه، مقدار ۲ درصد مناسب است. منگنز دی‌اکسید معروف ایران معدن سلفچگان قم است.

۱۰- دانه بندی:

هر چه بالمیل بیشتر کار کند و اندازه ذرات (Particle size) ریزتر شود، نفوذپذیری بدنه کمتر می‌شود و عیب black core بیشتر می‌شود. بنابراین، مصرف بیشتر خاک‌های ریزدانه در بدنه می‌تواند منجر به افزایش احتمال بروز عیب black core در محصول گردد.

۱۱- سیکل پخت در گرمایش:

در صورتی که سرعت افزایش دما در برنامه حرارتی پخت بالا باشد، فرصت سوختن مواد آلی بیشتر می‌شود و در برخی از موارد مدت زمان پیش پخت (در سیکل گرمایش) نیز بر بروز این عیب مؤثر است.

۱۲- پنتومتري:

گاهی در پرس قطعات، با وجود ثابت ماندن فشار پرس، یکنواختی فشردگی محصول به هم می‌خورد و بعضی نقاط متراکم‌تر و بعضی از قسمت‌های بدنه، تراکم کمتری دارند که در قسمت‌های متراکم‌تر، امکان ایجاد عیب مغز سیاه بیشتر است.

تاول زدن

عوامل ایجاد

- ۱ ایجاد گاز به علت وجود مواد تولیدکننده گاز در هنگام پخت
- ۲ عدم پخت (تکمیل شدن) کامل لعاب

- ۲ بدنه و یا لعاب در دمای بیش از اندازه پخت شده‌اند
- ۴ عدم تطابق کامل لعاب و بدنه

راه حل‌های پیشنهادی

- ۱ پخت آهسته‌تر یا نگه داشتن قطعه به مدت طولانی در دمای بالا
- ۲ کم کردن طول سیکل پخت یا زمان نگه داشتن در دمای بیشینه (دمای drop)
- ۳ تغییر ترکیب لعاب یا بدنه

بادکردگی

- ۱ انبساط بدنه ناشی از فشار حاصل از گازهای حبس شده در موضعی که به صورت ناقص ذوب شده‌اند که این انبساط می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد:
 - ۲ پخت در دمای بیش از حد لازم و یا پخت با عملیات نامنظم
 - ۳ کربن حبس شده در داخل بدنه زجاجی شده
 - ۴ بدنه دارای کمک ذوب بیش از اندازه
- ظاهر و وضعیت:** تشکیل حباب‌هایی در داخل بدنه در حین پخت

راه حل‌های پیشنهادی

- ۱ کاهش دمای پخت
- ۲ کاهش سرعت پخت (دما در فاصله زمانی طولانی‌تری افزایش داده شود).
- ۳ کاهش درصد کمک ذوب بدنه

دفرمگی

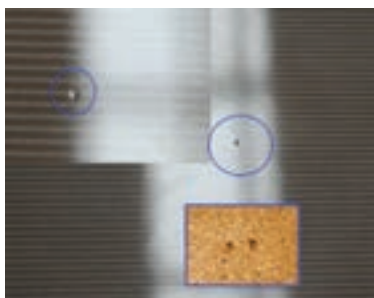
قطعات ممکن است حین فرایند تولید، از تقارن خود خارج و دچار تابیدگی شوند و یا اینکه در اثر افزایش زیاد درجه حرارت از یک طرف و یکنواخت نبودن حرارت از طرف دیگر، قطعه در حال پختن دچار دفرمگی شود.

ترک

اگر قطعات دارای درصد رطوبت بالا (بالاتر از ۵/۵٪) باشند، به سبب ایجاد بخار آب و ایجاد فشار کششی، دچار ترک می‌شوند. در سرعت حرارت‌دهی بالا و برحسب ضخامت قطعه، خطر ایجاد این نوع عیوب به شدت افزایش پیدا می‌کند. بنابراین بهتر است در قطعات ضخیم و دارای پیچیدگی سرعت حرارت‌دهی متعادل و آرام باشد. نمونه‌هایی از عیوب در تصاویر صفحه بعد آمده است که هنرآموزان گرمی برای درک بهتر هنرجویان می‌توانند همراه با مطالب کتاب دانش فنی تخصصی در کلاس به هنرجویان ارائه کنند.



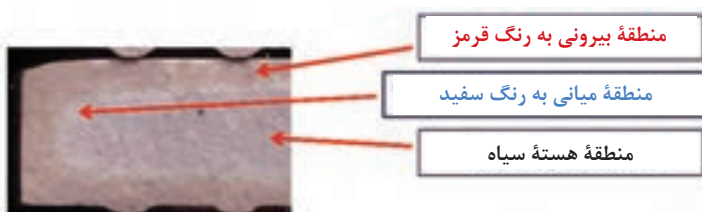
بادکردگی در کاشی



پین هول در کاشی



پین هول

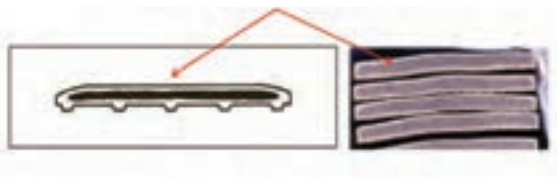


منطقه بیرونی به رنگ قرمز

منطقه میانی به رنگ سفید

منطقه هسته سیاه

منطقه تیره در داخل کاشی



بادکردگی و حباب



مغز سیاه

ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت پخت کردن سرامیک‌ها

<p>شرح کار:</p> <p>۱- آماده‌سازی کوره برای پخت ۲- پخت انواع بدنه سرامیکی با ترکیبات مختلف ۳- نظارت بر عملکرد کوره تا تکمیل برنامه پخت ۴- خارج کردن صحیح قطعات از کوره</p>			
<p>استاندارد عملکرد:</p> <p>انتخاب و به‌کارگیری کوره پخت سرامیک‌ها براساس جنس قطعه، نوع پخت، دمای پخت و منحنی پخت</p> <p>شاخص‌ها:</p> <p>تنظیم دمای کوره و زمان براساس منحنی پخت اطمینان از عملکرد صحیح کوره روشن کردن کوره و پخت بدنه‌های مختلف سرامیکی</p>			
<p>شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</p> <p>مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی ابزار و تجهیزات: کوره، دستکش نسوز، تجهیزات اطفای حریق، سیستم کنترل دما (ترموکوپل و پیرومتر)، لباس کار مناسب، عینک محافظ اشعه مادون قرمز</p>			
<p>معیار شایستگی:</p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی کوره برای پخت	۲	
۲	پخت انواع بدنه سرامیکی با ترکیبات مختلف	۲	
۳	نظارت بر عملکرد کوره تا تکمیل برنامه پخت	۲	
۴	خارج کردن صحیح قطعات از کوره	۱	
۵			
<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:</p> <p>دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب</p>			
<p>میانگین نمرات</p>			*

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

ردیف	مراحل کار	شرایط عملکرد (ابزار مواد، تجهیزات، زمان، مکان و...)	نتایج ممکن	استاندارد (شاخص‌ها/دآوری / نمره دهی)	نمره
۱	آماده‌سازی کوره برای پخت	مکان: کارگاه استاندارد زمان: مواد مصرفی: ابزار و تجهیزات: کوره	آماده‌سازی کوره بالاتر از انتظار	تنظیم صحیح و دقیق دمای کوره و زمان براساس منحنی پخت	۳
			آماده‌سازی کوره قابل قبول	تنظیم صحیح و دقیق دمای کوره و زمان	۲
			آماده‌سازی کوره غیر قابل قبول	عدم توانایی در تنظیم صحیح و دقیق دمای کوره و زمان	۱
۲	پخت انواع بسته‌های سرامیکی با ترکیبات مختلف	مکان: کارگاه استاندارد زمان: مواد مصرفی: ابزار و تجهیزات: کوره	پخت بالاتر از حد انتظار	پخت انواع بسته‌های سرامیکی براساس منحنی پخت	۳
			پخت قابل قبول	پخت انواع بسته‌های سرامیکی	۲
			پخت غیر قابل قبول	عدم توانایی در پخت انواع بسته‌های سرامیکی	۱
۳	نظارت بر عملکرد کوره تا تکمیل فرایند پخت	مکان: کارگاه استاندارد زمان: مواد مصرفی: ابزار و تجهیزات: کوره	کنترل فرایند پخت بالاتر از انتظار	توانایی کنترل عملکرد فرایند پخت براساس منحنی پخت تا تکمیل فرایند	۳
			کنترل فرایند پخت قابل قبول	توانایی نظارت و کنترل فرایند پخت	۲
			کنترل فرایند پخت غیر قابل قبول	عدم توانایی در نظارت و تکمیل فرایند پخت	۱
۴	خارج کردن صحیح قطعات از کوره	مکان: کارگاه استاندارد زمان: مواد مصرفی: ابزار و تجهیزات: کوره	خارج کردن صحیح قطعات از کوره بالاتر از حد انتظار	خارج کردن صحیح قطعات با در نظر گرفتن اصول ایمنی و سالم ماندن قطعات	۳
			خارج کردن صحیح قطعات از کوره قابل قبول	خارج کردن صحیح و سالم قطعات	۲
			خارج کردن قطعات از کوره غیر قابل قبول	عدم توانایی در خارج کردن صحیح و سالم قطعات	۱
۵		مکان: کارگاه استاندارد زمان: مواد مصرفی: ابزار و تجهیزات: کوره	بالاتر از انتظار		۳
			قابل قبول		۲
			غیر قابل قبول		۱
		ماسک ایمنی، دستکش، کلاه ایمنی، لباس کار، کفش ایمنی، بهداشت، توجهات مواد و تجهیزات (N۶۶) سطح ۱، مدیریت زیست‌محیطی و نگرش مناسب (N۴۱) سطح ۱، درستکاری و کسب حلال (N۷۳)	قابل قبول	رعایت همه موارد	۲
			غیر قابل قبول	عدم رعایت نکات ایمنی	۱
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)					
معیار شایستگی انجام کار: کسب حداقل نمره ۲ از مراحل ... و ... و ... کسب حداقل نمره ۲ از بخش‌های شایستگی غیرفنی، ایمنی و بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار					