

پودمان ۴

پخت کردن سرامیک‌ها



قطعات سرامیکی بعد از شکل‌دهی و خشک شدن، لازم است به بدنه‌ای سخت و مقاوم تبدیل شوند تا قابلیت استفاده و دوام کافی داشته باشند. از کوره‌های پخت برای دستیابی به این هدف استفاده می‌شود.

واحد یادگیری ۴

شایستگی پخت کردن سرامیک‌ها

هدف از این شایستگی کسب دانش و مهارت پخت بدنه‌های سرامیکی طبق برنامه‌ حرارتی مشخص و راه‌اندازی و کنترل کوره با رعایت نکات مربوطه است.

استاندارد عملکرد

پس از اتمام واحد یادگیری و کسب توانایی در درک فعل و انفعالات رخ داده در بدنه هنگام پخت، هنرجویان قادر به پخت قطعات سرامیکی طبق برنامه‌ حرارتی مشخص در کوره خواهند بود. همچنین توانایی کنترل و تنظیم کوره توسط هنرجویان از اهداف دیگر این پودمان است.

شکل ۱ قطعه سرامیکی را قبل و بعد از پخت نشان می‌دهد. آیا قطعه سرامیکی نشان داده شده قبل از فرایند حرارت‌دهی برای استفاده مناسب است؟ چگونه فرایند پخت قطعه سرامیکی به افزایش استحکام بدنه کمک می‌کند؟



بعد از پخت



قبل از پخت

شکل ۱- قطعه سرامیکی قبل و بعد از فرایند پخت

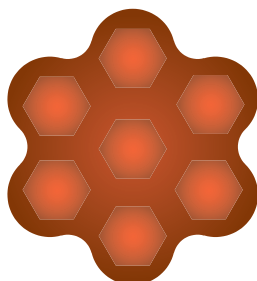
فرایند پخت

قطعات سرامیکی پس از خشک شدن، استحکام کمی دارند و با کمترین نیرو خرد می‌شوند یا با جذب مجدد آب به گل تبدیل شده و از بین می‌روند. برای افزایش استحکام بدنه باید فرایند پخت بر روی قطعات انجام شود. فرایند پخت سرامیک‌ها در کوره انجام می‌شود.

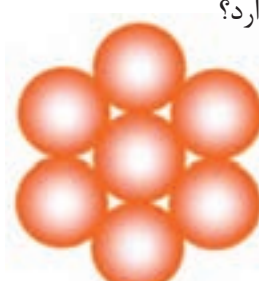


شکل ۲- بدنه‌های سرامیکی در حال پخت

شکل ۳ ساختار بدنه سرامیکی را قبل و بعد از پخت نشان می‌دهد. به نظر شما چه تفاوتی در ساختار بدنه خام و پخت‌شده وجود دارد؟



ب) ساختار بدنه پخت‌شده



الف) ساختار بدنه پخت‌نشده (خام)

شکل ۳

در اثر حرارت، ذرات آمیز به یکدیگر متصل می‌شوند و استحکام قطعه افزایش می‌یابد. در قطعه در حال پخت تغییرات مختلفی اتفاق می‌افتد. این تحولات عبارت‌اند از:



نمودار ۱

۱ خشک شدن کامل

قطعات سرامیکی در مرحله خشک شدن بیشتر رطوبت آزاد خود را از دست می‌دهند. قطعات خشک‌شده گرچه به ظاهر فاقد رطوبت هستند، ولی مقداری رطوبت در بین ذرات باقی مانده است که با افزایش دما در کوره از بدنه خارج می‌شود. در مرحله خشک شدن کامل در کوره، آب به صورت بخار از قطعه خارج می‌شود، بنابراین اگر سرعت افزایش دما بالا باشد، بخار حاصل می‌تواند موجب ایجاد ترک و شکستن قطعه شود.

۲ سوختن و خروج ناخالصی‌های آلی

با توجه به وجود مواد آلی مانند چسب‌ها و روان‌سازها در آمیز بدنه سرامیکی، لازم است این مواد هنگام پخت از بدنه خارج شوند. مواد آلی شامل ترکیبات حاوی کربن و هیدروژن هستند که با سوختن در حضور اکسیژن از بدنه خارج می‌شوند. خروج این مواد همراه با ایجاد تخلخل و کاهش استحکام بوده و باقی ماندن آنها در بدنه نیز باعث ایجاد عیوب رنگی می‌شود.

برای سوختن ترکیبات آلی و کربن موجود در بدنه سرامیکی باید اکسیژن کافی در کوره وجود داشته باشد تا واکنش‌های اکسیداسیون به صورت کامل انجام گیرد. از سوختن کربن در حضور اکسیژن کافی گاز کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود.

نکته



گفت و گو



خارج نشدن و اکسیداسیون ناقص ترکیبات آلی در بدنه چه تأثیری در بدنه پخت شده دارد؟ نظرات خود را در کلاس ارائه دهید.

۳ تجزیه شدن

حضور کربنات ها، سولفات ها و آب تبلور در مواد اولیه معدنی امری اجتناب ناپذیر است. این ترکیبات در محدوده دمایی ۴۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس تجزیه می گردند و کربن دی اکسید (CO_۲)، گوگرد دی اکسید (SO_۲) و آب (H_۲O) حاصل از تجزیه آنها از بدنه خارج می شود.

نکته

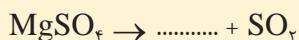
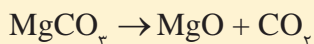


برخی از ترکیبات سولفاتی در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس تجزیه می شوند.

فعالیت کلاسی



طبق واکنش تجزیه کربنات منیزیم، واکنش تجزیه کلسیم کربنات و منیزیم سولفات را کامل کنید.



در هنگام پخت قطعات سرامیکی هریک از ترکیبات در محدوده درجه حرارت مشخصی تقریباً از بدنه خارج می شوند. براساس ترکیب آمیز، دمای خروج اجزای مختلف از بدنه بر اثر حرارت متفاوت است. در جدول زیر محدوده این دماها آمده است. دماهای بیان شده در آمیزهای مختلف می تواند متفاوت باشد.

جدول ۱- خروج اجزای مختلف از بدنه در دماهای مختلف

رطوبت

تا حدود ۲۰۰ درجه سلسیوس

کربن و ترکیبات آلی

برخی ترکیبات آلی ۲۰۰-۳۰۰ درجه سلسیوس

کربن تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس

کربنات، سولفات و آب تبلور

کربنات ها ۴۰۰-۱۰۰۰ درجه سلسیوس

سولفات ها بالای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس

آب تبلور بالای ۴۰۰ درجه سلسیوس

فکر کنید



رعایت سرعت تغییرات دمایی در مرحله گرمایش چه اهمیتی دارد و بالا بودن آن باعث ایجاد چه مشکلاتی در بدنه می‌شود؟

فعالیت
کارگاهی



کار عملی ۱: اندازه‌گیری کاهش وزنی حاصل از تجزیه کربنات‌ها در فرایند پخت مواد و ابزار: دولومیت معدنی، ترازو با دقت ۰/۱ گرم، بوتله دیرگداز، خشک‌کن و کوره آزمایشگاهی
شرح فعالیت:

- ۱ مقدار دولومیت معدنی را در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت خشک کنید.
- ۲ مقدار ۱۰۰ گرم از دولومیت خشک شده را با ترازو وزن کنید و درون بوتله دیرگداز بریزید.
- ۳ بوتله حاوی دولومیت را در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس به مدت زمان ۳ ساعت در کوره قرار دهید.
- ۴ پس از سرد شدن کوره، بوتله را از آن خارج کنید و دولومیت پخته شده را وزن کرده و یادداشت کنید.
- ۵ درصد کاهش وزن دولومیت را محاسبه کنید.

جدول ۲

درصد کاهش وزن دولومیت	وزن دولومیت	
	قبل از حرارت در کوره	بعد از حرارت در کوره

نکته



عامل کاهش وزن دولومیت پس از حرارت‌دهی در کوره، تجزیه منیزیم کربنات و کلسیم کربنات است.

نکات ایمنی
و بهداشتی



- ۱ بدون استفاده از دستکش و انبر، نمونه را از خشک‌کن و کوره خارج نکنید.
- ۲ دقت کنید تا در هنگام وزن کردن نمونه سرد باشد تا به ترازو آسیب نرسد.
- ۳ بدون هماهنگی با هنرآموز خود به کوره دست نزنید.

۴ تبدیلات ساختاری

مواد اولیه طی فرایند پخت دچار تغییرات زیادی در ساختار کریستالی خود می‌شوند که با عنوان تبدیلات ساختاری شناخته می‌شوند. معمولاً تبدیلات ساختاری با تغییرات حجمی همراه است و از این رو اطلاع از این تبدیلات برای تعیین منحنی پخت قطعات ضروری است. برای مثال، تبدیلات فازی سیلیس در دماهای ۲۸۰ - ۲۲۰ و ۵۷۳ درجه سلسیوس با تغییرات حجمی زیادی همراه

است و در منحنی پخت، سرعت آهسته‌تغییر دما در این دماها می‌تواند از ایجاد ترک در قطعه جلوگیری کند.

در مورد تبدیلات فازی سیلیس و درصد تغییرات حجمی آن تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید



۵ تَفجوشی (زینتر)

با توجه به شکل‌های زیر، با فشردن تکه‌های شکلات به همدیگر، یا حرارت دادن آنها قطعه شکلات یکپارچه و مستحکمی می‌توان تهیه کرد؟



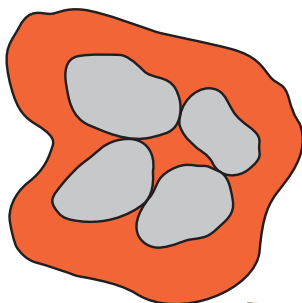
ب



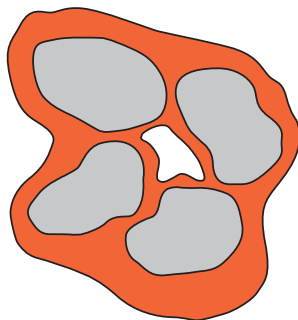
الف

شکل ۴

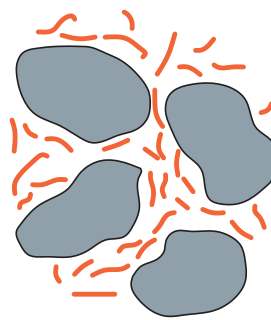
در فرایند پخت سرامیک‌ها عمل ذوب به صورت سطحی است. با افزایش درجه حرارت در کوره، ذرات تشکیل‌دهنده بدنه سرامیکی به همدیگر می‌چسبند تا استحکام قطعه با اتصال ذرات تشکیل‌دهنده آن به یکدیگر افزایش یابد و قطعه متراکم و یکپارچه‌ای حاصل شود. به اتصال و جوش خوردن ذرات سرامیکی به یکدیگر که طی فرایند پخت اتفاق می‌افتد، تَفجوشی (زینتر)^۱ می‌گویند. این فرایند با کاهش تخلخل همراه است و باعث انقباض و افزایش استحکام قطعه می‌شود. با افزایش دما، مواد گدازآور موجود در آمیز به تدریج ذوب می‌شوند و فاز مایع ایجاد می‌کنند. فاز مایع به محل‌های خالی بین ذرات نفوذ می‌کند و باعث پرشدن تخلخل‌ها و اتصال بین ذرات آمیز می‌شود.



ج) پر شدن تخلخل‌ها با فاز مایع



ب) ذوب شدن مواد گدازآور



الف) مخلوط پودر

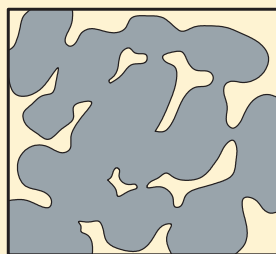
شکل ۵



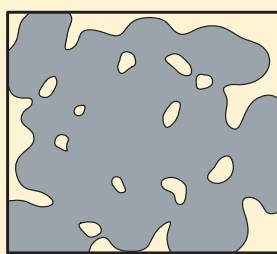
فرایند تفجوشی (زینتر) در دمایی کمتر از نقطه ذوب مواد انجام می‌شود.



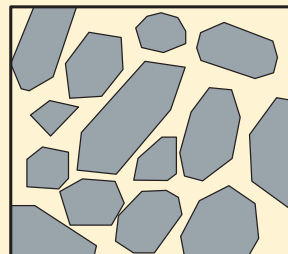
گاهی تفجوشی (زینتر) بدون تشکیل مذاب و حضور فاز مایع انجام می‌شود. با افزایش دما ذرات به یکدیگر نزدیک می‌شوند و به همدیگر جوش می‌خورند. سپس با افزایش بیشتر دما تخلخل‌ها کم می‌شود و تراکم آن افزایش می‌یابد.



ج) ایجاد اتصال بین ذرات



ب) کاهش حجم تخلخل



الف) نزدیک شدن ذرات به یکدیگر

شکل ۶



کار عملی ۲: درک مفهوم فرایند تفجوشی (زینتر) با استفاده از یخ مواد و ابزار: قالب یخ، ظرف مناسب برای قرار دادن در جایخی، یخچال
شرح فعالیت:

- ۱ با استفاده از قالب یخ قطعات کوچک یخ آماده کنید.
- ۲ تکه‌های کوچک یخ را از قالب درآورید و در ظرف مناسبی بریزید.
- ۳ اجازه دهید تا سطح قطعات یخ در دمای محیط کمی ذوب شوند.
- ۴ ظرف را در جایخی یخچال به مدت ۴ ساعت قرار دهید.
- ۵ ظرف را از یخچال خارج کنید.
- ۶ مشاهدات خود را با تفجوشی (زینتر) در فرایند پخت مقایسه کنید.

انواع پخت

بدنه‌های سرامیکی براساس تعداد دفعات ورود به کورهٔ پخت به انواع تک پخت یا چند پخت تقسیم می‌شوند. به عبارتی، بدنه‌های سرامیکی می‌توانند یک پخت یا چندپخت باشند. محصولات بدون لعاب مانند دیرگذاها، آجرهای ساختمانی و گلوله‌های سرامیکی فقط یک‌بار وارد کوره و پخت می‌شوند.



شکل ۷

محصولات لعاب‌دار ممکن است در چند مرحله وارد کوره شوند که بر اساس تعداد مراحل پخت، بدنه‌های سرامیکی تک پخت^۱، دوپخت یا سه پخت نامیده می‌شوند. در محصولات دوپخت که عموماً لعاب‌دار هستند، پخت اول یا «پخت بیسکویت» به منظور انجام واکنش‌های اولیه و تأمین استحکام انجام می‌شود؛ بنابراین به پخت بدنهٔ سرامیکی بدون اعمال لعاب و دکور، پخت بیسکویت گفته می‌شود. در این قطعات، بیسکویت پس از سرد شدن، لعاب خورده و دوباره پخت می‌شود که به آن پخت لعاب می‌گویند. در برخی محصولات مانند مقره‌های الکتریکی، کاشی‌ها و سرامیک‌های بهداشتی که دمای پخت بدنه و لعاب با یکدیگر همخوانی دارند، می‌توان لعاب را بر بدنهٔ خام اعمال کرد و به صورت تک پخت محصول نهایی لعاب‌دار را تولید کرد؛ به عبارتی بدنهٔ لعاب‌دار یک بار برای پخت وارد کوره می‌شود.



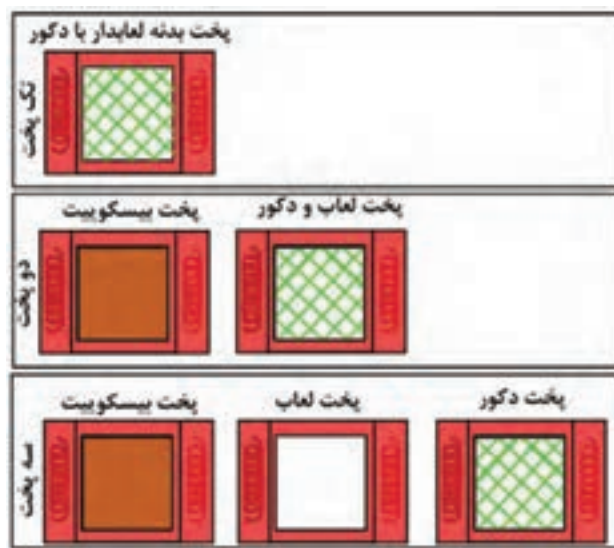
سرامیک بهداشتی



مقرهٔ الکتریکی

شکل ۸ - نمونه‌ای از محصولات تک پخت

در برخی از محصولات سرامیکی مانند کاشی و ظروف خانگی پس از پخت لعاب، دکور بر روی آنها اعمال می‌شود. برای تثبیت دکور بر روی بدنه، پخت سوم انجام می‌شود که به آن پخت دکور نیز می‌گویند. در شکل ۹ انواع پخت در بدنه‌های لعاب‌دار نشان داده شده است



شکل ۹ - انواع پخت در بدنه‌های لعاب‌دار

با کمک هنرآموز خود، تک‌پخت یا چندپخت بودن بدنه‌های سرامیکی نشان داده شده در شکل ۱۰ را مشخص کنید.

فعالیت کلاسی



شکل ۱۰

منحنی پخت

برای انجام فرایند پخت، با توجه به نوع محصول سرامیکی، منحنی پخت تعریف می‌شود که در آن دما، سرعت تغییرات دمایی و زمان ماندن قطعه در هر دما تعیین شده است. رعایت مراحل منحنی پخت سرامیک تأثیر زیادی در ظاهر و کیفیت بدنه نهایی پخت شده دارد.

- ۱ به بیشترین دما در منحنی پخت، دمای پخت می‌گویند.
- ۲ مدت زمانی را که قطعه در یک دمای مشخص باقی می‌ماند، زمان ماندن در آن دما می‌گویند.
- ۳ سرعت (نرخ) تغییرات دمایی بر حسب درجه سلسیوس بر دقیقه، شیب تغییرات دمایی در مراحل گرمایش و سرمایش قطعه است.

گفت و گو



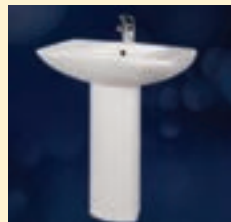
در تنظیم برنامه عملیات حرارتی یا منحنی پخت چه نکاتی باید در نظر گرفته شود؟ چرا منحنی پخت بدنه‌های نشان داده شده در شکل ۱۱ باید با هم متفاوت باشد؟



ظروف چینی



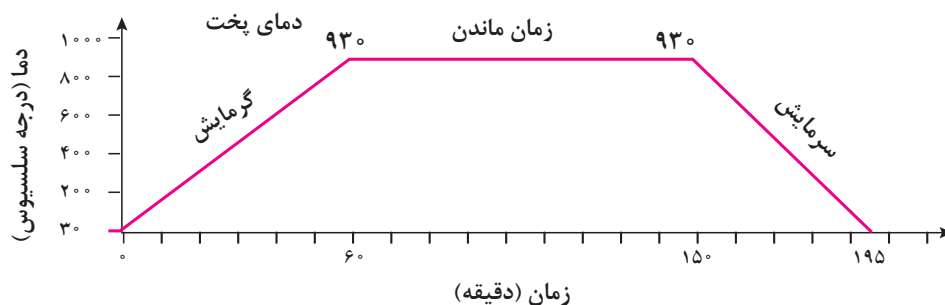
کاشی



چینی بهداشتی

شکل ۱۱

برای آشنایی بیشتر با منحنی پخت، به مثال حل شده زیر توجه کنید. منحنی پخت یک بدنه سرامیکی در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲ - منحنی پخت

۱ سرعت تغییرات دمایی را بر حسب درجه سلسیوس بر دقیقه در مرحله گرمایش محاسبه کنید.
 - سرعت تغییرات دمایی در مرحله گرمایش از محاسبه شیب نمودار از دمای ۳۰ تا ۹۳ درجه سلسیوس در مدت زمان ۶۰ دقیقه محاسبه می‌شود:

$$\text{نرخ تغییرات دمایی در گرمایش} = \frac{93^{\circ} - 3^{\circ}}{60 - 0} = 15 (^{\circ}\text{C} / \text{min})$$

۲ دمای پخت چقدر است؟

- طبق منحنی پخت، بیشترین دمایی که قطعه در آن قرار می‌گیرد، ۹۳ درجه سلسیوس است که دمای پخت این قطعه محسوب می‌شود.

۳ مدت زمان ماندن قطعه در دمای پخت چه میزان است؟

$$150 - 60 = 90$$

۴ سرعت (نرخ) تغییرات دمایی را در مرحله سرمایش محاسبه کنید.

- سرعت تغییرات دمایی در مرحله سرمایش از محاسبه شیب نمودار از دمای ۹۳ تا ۳ درجه سلسیوس در مدت زمان ۴۵ دقیقه (۱۹۵ - ۱۵۰ = ۴۵) محاسبه می‌شود:

$$\text{سرعت تغییرات دمایی در سرمایش} = \frac{93^{\circ} - 3^{\circ}}{195 - 150} = 2 (^{\circ}\text{C} / \text{min})$$

منحنی پخت براساس نوع و روش آماده‌سازی مواد اولیه، روش شکل‌دهی، حجم و شکل بدنه، نوع و امکانات کوره تعیین می‌شود.

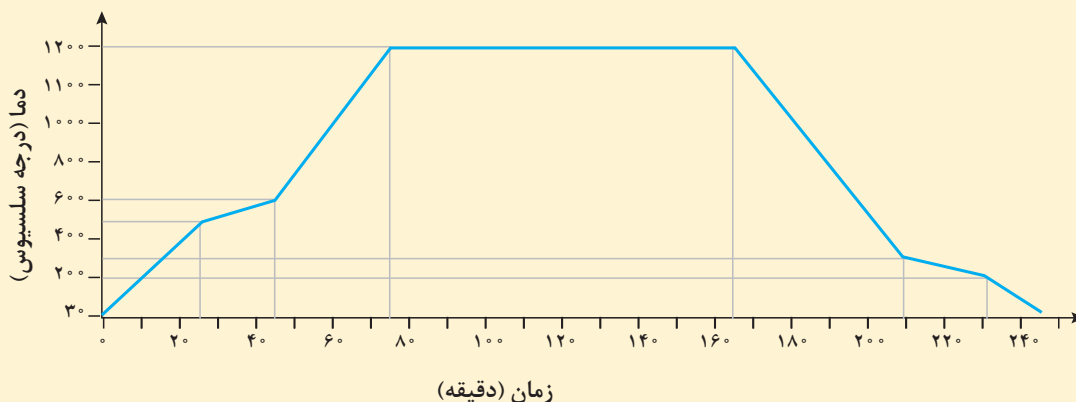
نکته



فعالیت کلاسی



با توجه به منحنی پخت نشان داده شده در نمودار ۳ به سؤالات زیر پاسخ دهید:



زمان (دقیقه)

نمودار ۳- منحنی پخت

- ۱ چند مرحله گرمایش در منحنی پخت وجود دارد؟
- ۲ دمای پخت چند درجه سلسیوس است؟
- ۳ مدت زمان ماندن در دمای پخت چقدر است؟
- ۴ چند مرحله سرمایش در منحنی پخت وجود دارد؟
- ۵ مراحل گرمایش، ماندن و سرمایش را شماره گذاری و سرعت تغییرات دمایی را در هر مرحله محاسبه کنید.

کار عملی ۳: پخت قطعه شاموتی مطابق منحنی پخت
مواد و ابزار: قطعات شاموتی ساخته شده مطابق با پودمان ۱، کولیس، ترازو، کوره، کروم اکسید یا ابزار نوک تیز، انبر و دستکش

شرح فعالیت:

- ۱ قطعات شاموتی ساخته شده در فعالیت کارگاهی ۲ پودمان ۱ را با استفاده از یک ابزار تیز یا کروم اکسید نشانه گذاری کنید.
- ۲ ابعاد قطعات را با استفاده از کولیس اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳ قطعات را وزن کنید و اعداد را یادداشت کنید.
- ۴ با راهنمایی هنرآموز خود قطعات را در کوره بچینید.
- ۵ در دمای ۱۲۵۰ درجه سلسیوس با برنامه مناسب پخت کنید.
- ۶ پس از سرد شدن کوره، نمونه ها را با احتیاط از کوره خارج کنید.
- ۷ ابعاد و وزن قطعات را دوباره اندازه گیری کنید و با قبل از پخت مقایسه کنید.

- ۱ بدون استفاده از دستکش نسوز و انبر نمونه را از کوره خارج نکنید.
- ۲ برای کار با کوره با هنرآموز خود هماهنگ کنید.

کار عملی ۴: پخت بدنه فلدسپاتی
مواد و ابزار: کائولن شسته شده، فلدسپات، ترازو، خشک کن، کوره آزمایشگاهی، الک مش ۶۰، هاون، قالب انقباض

شرح فعالیت:

- ۱ آمیزه های مطابق جدول ۳ آماده کنید.

فعالیت
کارگاهی



نکات ایمنی
و بهداشتی



فعالیت
کارگاهی



جدول ۳

شماره آمیز	فلدسپات (درصد وزنی)	کائولن (درصد وزنی)
(۱)	۱۵	۸۵
(۲)	۳۰	۷۰
(۳)	۶۰	۴۰

- ۲ فلدسپات و کائولن را با هاون به حالت پودر درآورید و از الک مش ۶۰ عبور دهید.
- ۳ پس از آماده‌سازی آمیزها طبق جدول ۱، با افزودن مقدار مناسب آب به آنها گل پلاستیک تهیه کنید.
- ۴ با هر آمیز، با استفاده از قالب انقباض نمونه انقباض بسازید.
- ۵ نمونه‌های انقباض را پس از خشک کردن، در دمای ۱۱۰۰ درجه سلسیوس پخت کنید.
- ۶ پس از سرد شدن نمونه‌ها، درصد جذب آب و درصد تخلخل آنها را به روش غوطه‌وری اندازه بگیرید و با هم مقایسه کنید.

جدول ۴

شماره آمیز	وزن خشک (گرم)	وزن اشباع (گرم)	وزن غوطه‌وری (گرم)	درصد جذب آب	درصد تخلخل
(۱)					
(۲)					
(۳)					

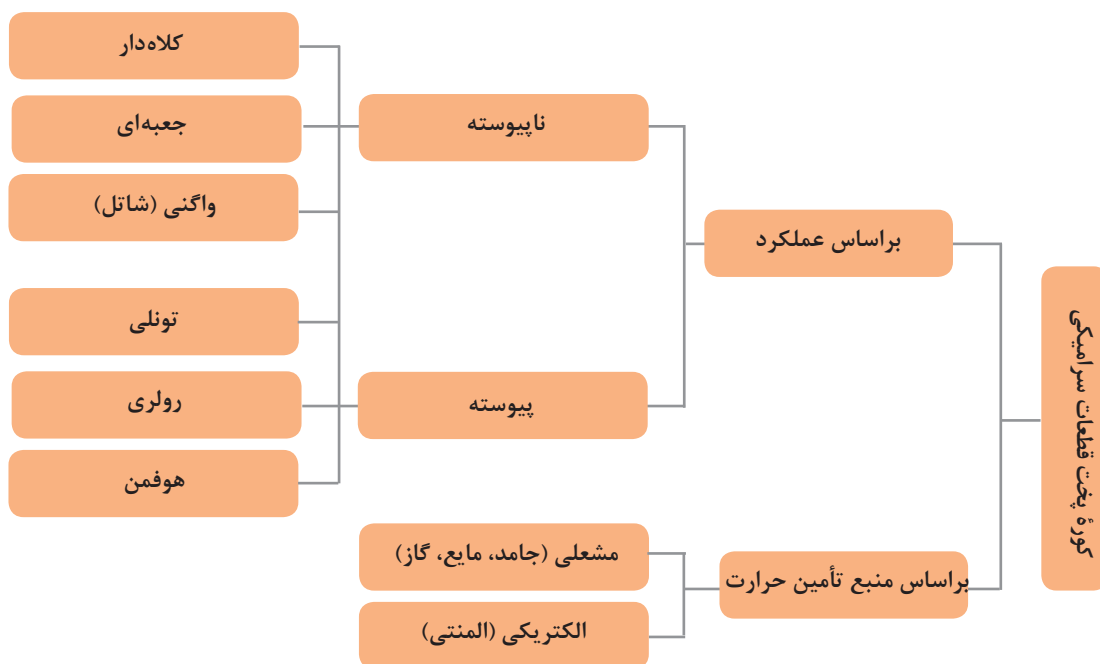
- ۱ بدون استفاده از دستکش نسوز و انبر نمونه را از خشک‌کن و کوره خارج نکنید.
- ۲ دقت کنید تا در هنگام وزن کردن، نمونه سرد باشد تا به ترازو آسیب نرسد.
- ۳ برای کار با کوره، با هنرآموز خود هماهنگ کنید.

نکات ایمنی
و بهداشتی



انواع کوره برای پخت قطعات سرامیکی

فرایند پخت سرامیک‌ها در کوره انجام می‌شود. کوره‌های پخت سرامیک در اندازه‌های مختلف وجود دارند و براساس معیارهای متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند.



نمودار ۴

کوره ناپیوسته یا متناوب

در کوره‌های ناپیوسته^۱ مراحل پخت برای فراورده‌ها به صورت کامل انجام می‌شود و پس از تخلیه محصول، مراحل پخت برای فراورده‌های بعدی دوباره تکرار می‌شود. مراحل کار این کوره‌ها به صورت زیر است:

- ۱ باز کردن در کوره؛
- ۲ چیدن فراورده‌ها در داخل کوره؛
- ۳ بستن در کوره؛
- ۴ روشن کردن کوره و اجرای برنامه پخت؛
- ۵ باز کردن در کوره پس از اتمام برنامه پخت و سرد شدن آن؛
- ۶ تخلیه فراورده‌های پخت شده از کوره.

انواع کوره‌های متناوب در جدول زیر به تفکیک آمده است:

جدول ۵

نوع کوره	توضیحات
متناوب واگنی (شاتل) ^۱	دارای واگن است که چیدمان فرآورده‌ها بر روی آن انجام می‌شود. واگن بر روی ریل‌ها حرکت کرده و به داخل کوره وارد و از آن خارج شود. در این کوره‌ها، کف واگن در واقع کف کوره را تشکیل می‌دهد.
متناوب کلاه دار ^۲	کف کوره ثابت است و دیواره و سقف کوره به صورت عمودی جابه‌جا می‌شود.
متناوب جعبه‌ای ^۳	کوره جعبه‌ای یا صندوقی معمولاً مکعبی یا شش ضلعی است. سیستم گرمایش آنها الکتریکی یا گازی است.

در شکل زیر چند نمونه کوره ناپیوسته نشان داده شده است. نوع هر کوره را در هر یک از آنها مشخص کنید.

فعالیت کلاسی



شکل ۱۲- انواع کوره‌های ناپیوسته

- ۱- Shuttle
- ۲- Top hat
- ۳- Box

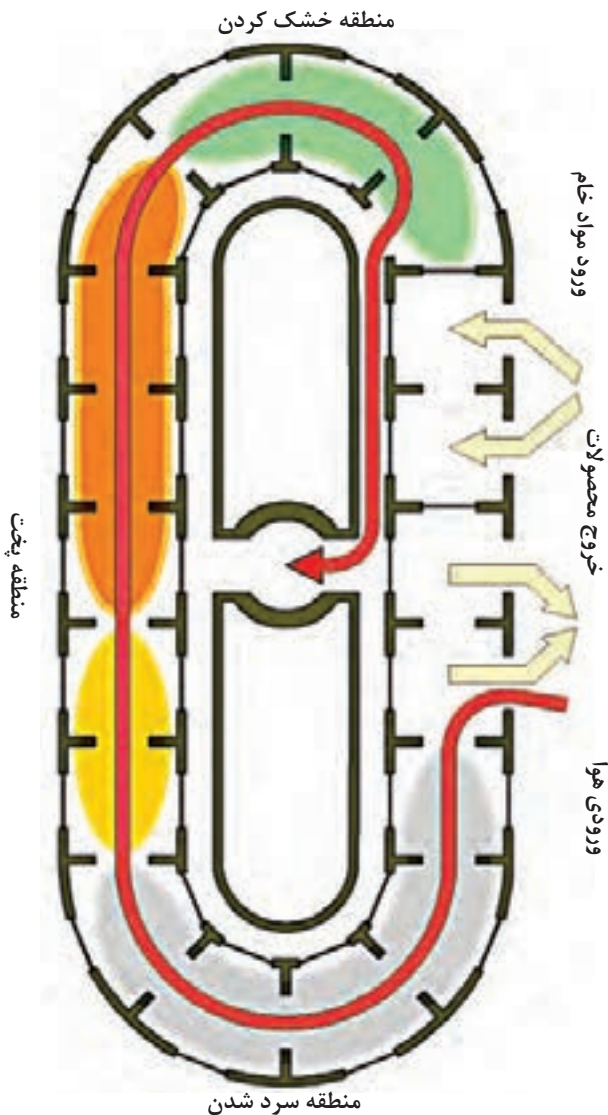
کوره پیوسته^۱

در کوره‌های پیوسته (مداوم)، چیدمان و پخت به صورت مداوم و پیوسته انجام می‌شود. این کوره‌ها ظرفیت تولید بالایی دارند. انواع کوره‌های پیوسته شامل کوره هوفمن، تونلی و رولری است.

۱ کوره هوفمن^۲: کوره هوفمن دارای تعدادی محفظه برای پخت است که کنار هم قرار دارند. در هر یک از محفظه‌های پخت دری برای بارگیری و تخلیه وجود دارد. در این کوره‌ها فرآورده‌ها ثابت است و حرارت از محفظه‌ای به محفظه دیگر منتقل می‌شود تا فرایند پخت در هریک از محفظه‌ها انجام شود. عمل تخلیه فرآورده‌های پخت شده و چیدمان فرآورده‌های خشک شده در محفظه‌ای که سرد می‌شود به صورت هم‌زمان انجام می‌گیرد.

در این نوع کوره‌ها، برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت و بازده بیشتر، هوای مورد نیاز برای احتراق مشعل‌ها از هوای داغ محفظه‌های دیگر که در حال سرد شدن هستند، تأمین می‌شود. کوره هوفمن برای پخت محصولات مانند آجر، سفال و دیرگداز مناسب است.

۲ کوره تونلی^۳: در کوره تونلی فرایند پخت محصولات هنگام عبور از داخل یک تونل داغ انجام می‌شود. این کوره‌ها به واگن‌هایی مجهز هستند که با حرکت بر روی ریل، وظیفه حمل فرآورده‌ها را در تونل برعهده دارند. در واقع، برخلاف نوع هوفمن، محصولات متحرک و منبع حرارتی ثابت است.



شکل ۱۳- کوره هوفمن

۱- Continuous Furnace

۲- Hoffmann Kiln

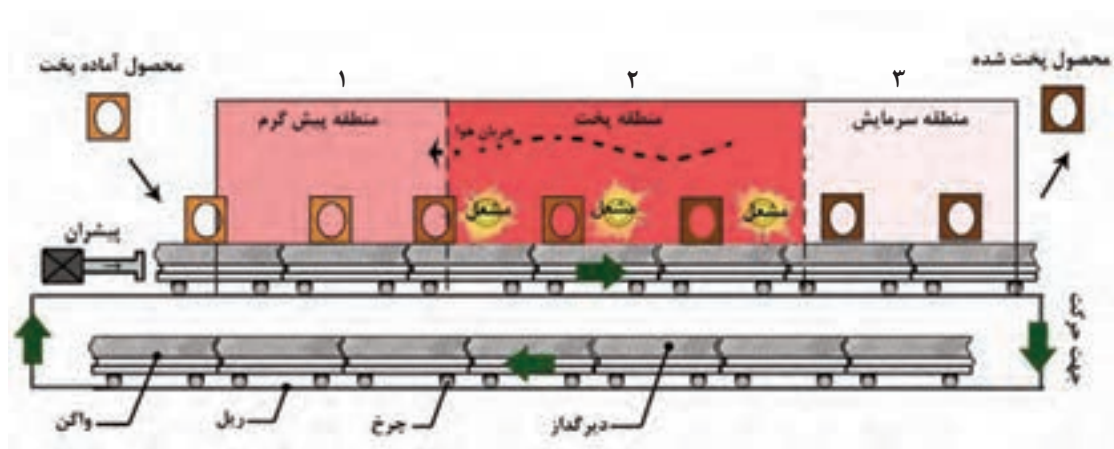
۳- Tunnel Kiln

کوره تونلی دارای سه بخش اصلی است:

۱ منطقه پیش گرم

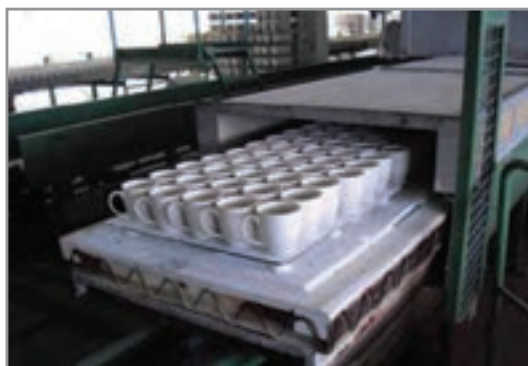
۲ منطقه پخت

۳ منطقه سرمایش



شکل ۱۴- قسمت‌های مختلف در کوره تونلی

در ساده‌ترین نوع کوره تونلی مشعل‌های منطقه پخت باعث گرم شدن هوای کوره می‌شوند و این هوا با حرکت به سمت ورودی تونل باعث پیش گرم شدن قطعات قبل از ورود به منطقه پخت می‌شود. در انتهای کوره با دمش هوا قطعات بر روی واگن‌های در حال خروج سرد می‌شوند. این کوره‌ها در ابعاد صنعتی ساخته می‌شوند و در صنایع آجر، سفال بام، مواد دیرگداز و انواع چینی به کار می‌روند.



شکل ۱۵- کوره تونلی

۳ **کوره رولری:** در کوره‌های رولری یا غلتکی، قطعات روی رولرهایی موازی چیده می‌شوند. رولرها با دوران هم‌زمان و یکنواخت، وظیفه انتقال قطعات را در داخل کوره انجام می‌دهند. این فرایند به صورت پیوسته و برای قطعات مختلف انجام می‌گیرد. بدنه‌های پخت شده پس از خروج از کوره، از روی رولرهای در حال چرخش جمع‌آوری می‌شوند.



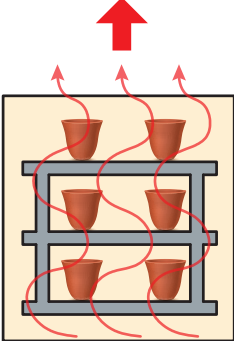
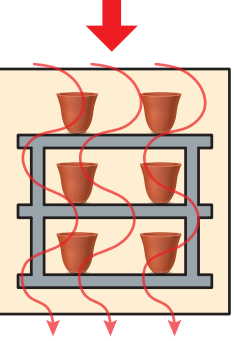
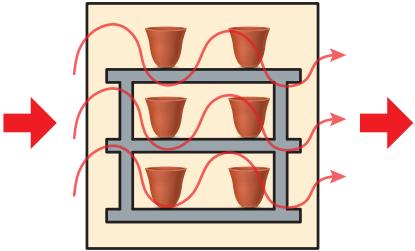
شکل ۱۶- کوره رولری

در کوره رولری هر منطقه شامل مشعل‌هایی در زیر و بالای رولرها است که دارای تجهیزات کنترل دستی یا خودکار برای کنترل شعله‌ها است. این کوره‌ها در صنعت کاشی و سرامیک‌های ساختمانی به صورت گسترده استفاده می‌شوند. کوره رولری مانند کوره تونلی دارای سه منطقه پیش گرم، منطقه پخت و منطقه سرمایش است.

گردش هوای داغ در کوره

گردش صحیح و یکنواخت هوای داغ در کوره و بین قطعات بر پخت یکنواخت قطعات بسیار مؤثر است. قطعات در مسیر جریان هوای داغ قرار می‌گیرند و پخت می‌شوند. بر اساس محل مکش هوای داغ، کوره‌ها به انواع فوقانی، تحتانی، عرضی و عرضی تقسیم می‌شوند.

جدول ۶

	<p>کوره‌های با مکش فوقانی</p> <p>در این کوره‌ها هواکش در سقف کوره قرار دارد و گازهای داغ حاصل از احتراق از قسمت بالای کوره به دودکش منتقل و خارج می‌شوند.</p>
	<p>کوره‌های با مکش تحتانی</p> <p>هواکش یا دریچه خروج گازهای حاصل از احتراق در کف کوره قرار دارد.</p>
	<p>کوره‌های با مکش عرضی یا افقی</p> <p>حرکت گازها به صورت افقی است. احتراق در یک طرف کوره و دریچه خروج گازها در طرف دیگر کوره است.</p>



ب) کوره با مکش تحتانی

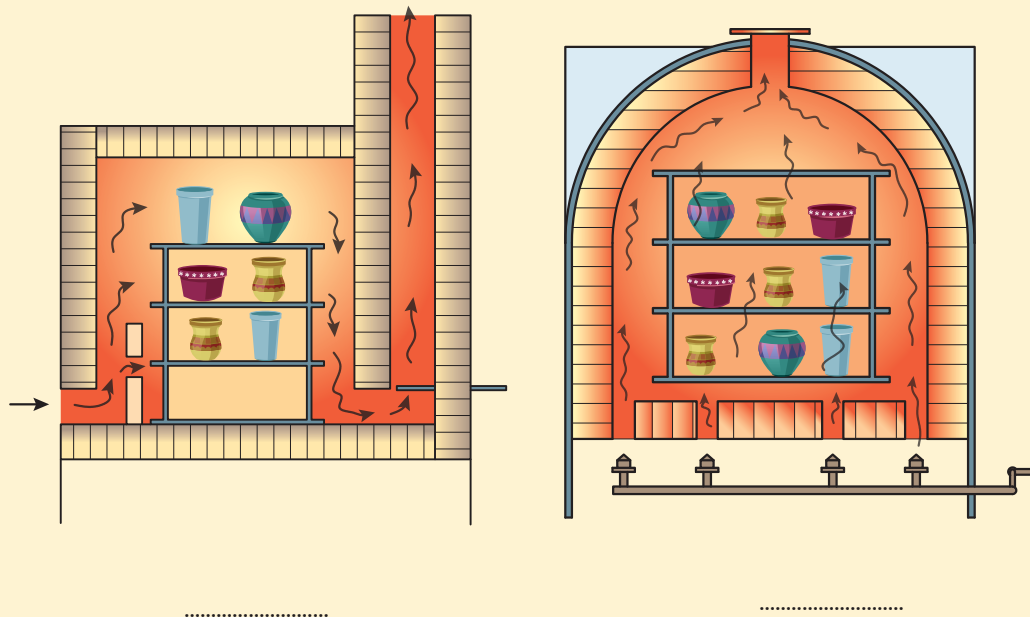


الف) کوره با مکش فوقانی

شکل ۱۷

نوع کوره‌های زیر را بر اساس جهت گردش هوا و محل مکش تعیین کنید.

فعالیت کلاسی



شکل ۱۸

انواع کوره بر اساس منبع تأمین حرارت

منبع تأمین کننده حرارت کوره‌ها می‌تواند متفاوت باشد.

<p>- کوره‌های با سوخت گاز بسیار رایج‌اند و در آنها از گاز طبیعی یا مایع استفاده می‌شود. هوا و گاز با نسبت مشخص ترکیب شده و وارد مشعل کوره می‌شوند. در این کوره‌ها برای تأمین هوا استفاده از دمنده لازم است.</p> <p>- در کوره‌های سوخت مایع از نفت، گازوئیل و مازوت استفاده می‌شود.</p> <p>- در کوره‌های با سوخت جامد از سوخت‌هایی مانند چوب، زغال سنگ و کک استفاده می‌شود.</p> <p>- این نوع کوره‌ها نیاز به کنترل زیاد دارند.</p>	<p>مشعلی (جامد، مایع یا گاز)</p>
<p>ساده‌ترین نوع کوره از لحاظ منبع حرارتی، کوره الکتریکی است. در این کوره‌ها از مقاومت الکتریکی المنت‌ها برای افزایش دمای آنها و ایجاد گرما استفاده می‌شود.</p>	<p>الکتریکی (المنتی)</p>

کار عملی ۵: بررسی کوره‌های موجود در کارگاه هنرستان

مواد و ابزار: کوره‌های موجود در کارگاه، وسیله اندازه‌گیری طول، خودکار، کاغذ

شرح فعالیت:

نوع کوره‌های موجود در کارگاه خود را از نظر منبع تأمین حرارت، عملکرد، مشخصات فنی و ابعاد بررسی

کنید و در یک جدول به هنرآموز خود ارائه دهید.

فعالیت
کارگاهی



انواع کوره‌ها برای پخت و فراوری مواد معدنی

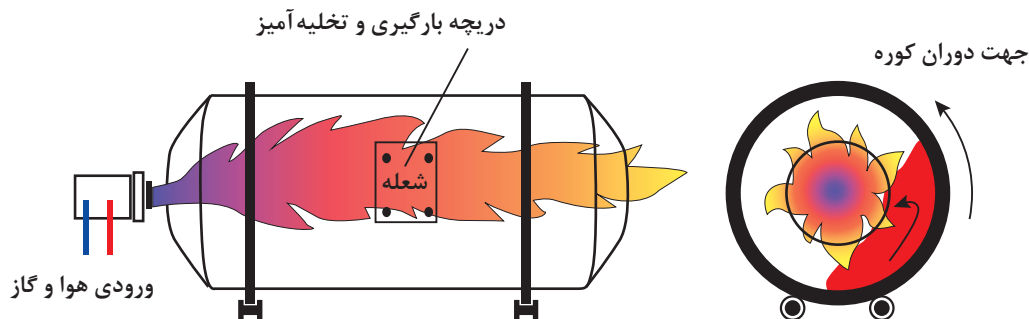
برخی از کوره‌ها برای پخت و فراوری مواد معدنی و تولید محصولات بی‌شکل مانند سیمان و فریت‌سازی به کار می‌روند. مهم‌ترین این نوع کوره‌ها، کوره دوار است که در انواع پیوسته و ناپیوسته استفاده می‌شود. کوره دوار، محفظه‌ای استوانه‌ای شکل است که معمولاً بر روی غلتک‌های بزرگی در حال دوران است.



نمودار ۵

- کوره دوار ناپیوسته

کوره دوار ناپیوسته، دارای دریچه‌ای برای پرکردن و تخلیه آمیز است. این کوره به صورت افقی است و شعله از یک سوی آن وارد و از سوی دیگر آن خارج می‌شود. مواد با حرکت دورانی کوره، به حرکت در می‌آیند تا فرایند پخت آنها به صورت یکنواخت انجام گیرد. از این نوع کوره برای تهیه فریت شیشه نیز استفاده می‌شود.



شکل ۱۹- کوره دوار ناپیوسته



شکل ۲۰- مجموعه کوره دوار ناپیوسته

کوره دوار پیوسته

کوره دوار پیوسته، استوانه‌ای طولی و شیب‌دار است که مواد از یک سو وارد آن می‌شود و در جهت شیب کوره حرکت می‌کند تا از سوی دیگر آن تخلیه شود. معمولاً مشعل در قسمت تخلیه کوره تعبیه می‌شود. این نوع کوره برای تولید سیمان و گچ زیاد استفاده می‌شود.



شکل ۲۱- کوره دوار

فرایند کلسینه کردن دولومیت و تولید منیزیت کلسینه شده و ددبرن^۱ نیز در کوره‌های پیوسته انجام می‌گیرد. ددبرن فرایند پخت منیزیت در دمای ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سلسیوس است که به آن سیاه‌سوزی نیز گفته می‌شود.

بیشتر بدانید



کوره‌های دوار پیوسته و ناپیوسته را از نظر ظرفیت تولید و ابعاد کوره با یکدیگر مقایسه کنید.

گفت و گو



اتم‌سفر کوره

محیط داخل کوره که محصولات سرامیکی در آن پخت می‌شوند، می‌تواند اکسیدی یا احیایی باشد. اگر محیط کوره از اکسیژن غنی باشد، اتم‌سفر کوره اکسیدی خواهد بود؛ در غیر این صورت، اتم‌سفر کوره احیایی است. اتم‌سفر احیایی از نظر اقتصادی مناسب نیست، چرا که نشان‌دهنده سوختن ناقص و هدر رفتن سوخت است. یکی از نشانه‌های اتم‌سفر احیایی مشاهده رنگ شعله از دریچه بازدید کوره است. اتم‌سفر کوره تأثیر مستقیم بر رنگ بدنه و لعاب دارد. برای مثال، اکسید آهن در اتم‌سفر احیایی خاکستری یا سیاه رنگ است، ولی در اتم‌سفر اکسیدی قهوه‌ای می‌شود. خاک رس حاوی مقداری اکسید آهن است که اگر در اتم‌سفر اکسیدی پخت شود، رنگی روشن و اگر در اتم‌سفر احیایی پخت شود، رنگی تیره خواهد داشت. رنگ تیره به دلیل تبدیل شدن مقداری از اکسید آهن به آهن فلزی است.

۱- Dead burn

چنانچه برای تغییر رنگ بدنه و لعاب به اتمسفر احیایی نیاز باشد، بهتر است از دمایی حدود ۲۰۰ درجه سلسیوس کمتر از دمای پخت، میزان هوای ورودی به مشعل ها را کاهش داد. ولی نباید این دما کمتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس باشد تا مانع از خروج گازها از بدنه نشود. اتمسفر اکسیدی برای سوختن مواد آلی و خارج کردن آنها از بدنه مفید است.

نکته



برای پخت سرامیک های اکسیدی از اتمسفر اکسیدی یا خنثی استفاده می شود تا از کاهش کیفیت محصول نهایی جلوگیری شود؛ در حالی که برای پخت سرامیک های غیراکسیدی مانند سیلیکون کاربیدی (SiC) باید از اتمسفر احیایی استفاده کرد.

بیشتر بدانید



فعالیت
کارگاهی



کار عملی ۶: اثر اتمسفر بر روی رنگ نمونه

مواد و ابزار: بوتۀ دیرگداز ۲ عدد، درپوش بوتۀ یک عدد، خاک رس قرمز، خاک آزه، کوره، ترازو
شرح فعالیت:

- ۱ متناسب با حجم بوتۀ، مقدار مساوی از خاک آره را با خاک رس قرمز مخلوط کنید و داخل یکی از بوتۀها بریزید و درپوش آن را بگذارید.
- ۲ متناسب با حجم بوتۀ دوم، خاک رس قرمز در داخل آن بریزید.
- ۳ بوتۀها را داخل کوره قرار دهید.
- ۴ نمونه ها را در دمای ۹۵۰ درجه سلسیوس به مدت زمان یک ساعت پخت کنید.
- ۵ پس از سرد شدن کوره، بوتۀها را از کوره خارج کنید و تفاوت رنگ نمونه ها را بررسی کنید.

نکات ایمنی
و بهداشتی



- ۱ بدون استفاده از دستکش و انبر، نمونه را از کوره خارج نکنید.
- ۲ دقت کنید تا در هنگام وزن کردن، نمونه سرد باشد تا به ترازو آسیب نرسد.
- ۳ کار با کوره با هماهنگی هنرآموز انجام گیرد.

بیشتر بدانید



کوره هایی که برای پخت تحت اتمسفرهایی مانند نیتروژن و هیدروژن ساخته می شوند، از نوع مافلی هستند. در این کوره ها از جداره هایی استفاده می شود که از ورود هوا و اتمسفر حاصل از احتراق به محفظۀ پخت جلوگیری می شود و فقط حرارت شعله به صورت غیرمستقیم و از طریق تابش به قطعات می رسد.

کوره بانی

بر اساس نوع و ظرفیت هر کوره، در راه اندازی و کنترل کوره، باید نکات فنی مربوط به آن رعایت شود تا محصولات سرامیکی بی عیب ساخته شوند.

کوره بان^۱ شخصی است که وظیفه نظارت بر چیدمان قطعات در کوره، راه اندازی کوره و نظارت بر عملکرد آن تا تکمیل برنامه پخت و در نهایت خارج کردن قطعات از کوره را بر عهده دارد. فرایند پخت در کوره فارغ از تجهیزات کنترلی آن به نظارت پیوسته و دقیق کوره بان نیاز دارد. یک کوره بان باید به موارد زیر دقت داشته باشد و مرتب موارد مهم را یادداشت کند:

- زمان راه اندازی و اتمام برنامه پخت
- دمای کوره و انطباق آن با برنامه پخت
- تعمیرات و تغییرات اعمال شده در کوره
- تعداد و نوع محصولات پخت شده در کوره
- الگوی چیدمان قطعات و مبلمان در کوره
- شرایط سوخت و میزان مصرف آن

کوره ها درجه کوچکی برای بازرسی از شرایط کوره را دارند. کوره بان علاوه بر تجهیزات کنترل دمایی مانند ترموکوپل و مخروط زگر، می تواند بر اساس رنگ، محدوده دمایی داخل کوره را تشخیص دهد. هرچه رنگ داخل کوره روشن تر باشد، دمای آن بیشتر است. در جدول ۷ رنگ کوره بر اساس دما و شماره مخروط زگر آمده است.

جدول ۷

رنگ کوره	دما (درجه سلسیوس)	شماره مخروط زگر
قرمز تیره	۶۵۰-۷۵۰	۰۱۵
قرمز آلبالویی	۷۵۰-۸۱۵	۰۱۳
نارنجی	۸۱۵-۹۰۰	۱۰
زرد	۹۰۰-۱۰۹۰	۰۱
زرد روشن	۱۰۹۰-۱۳۱۵	۱۳
سفید	۱۳۱۵-۱۵۴۰	۱۹

پس از تکمیل فرایند پخت و پیش از تخلیه کوره، کوره بان باید به شرایط پخت محصولات در قسمت های مختلف کوره دقت کند تا از پخت یکنواخت محصولات در کل فضای کوره مطمئن شود. ممکن است برخی قسمت های کوره دمای بالاتری داشته باشد یا بالعکس برخی قسمت ها دمای کمتری داشته باشد. لذا اطلاع

از مکان‌های دما بالا و دما پایین کوره برای اصلاح چیدمان قطعات یا تعمیر کوره پیش از انجام پخت بعدی ضروری است. معمولاً کوره‌بان‌ها پس از اطلاع از جاهای داغ و سرد کوره، قطعات را برحسب نوع و دمای پخت دسته‌بندی می‌کنند و محصولات با دمای پخت بالا را در نقاط دما بالا و قطعات با دمای پخت کمتر را در نقاط دما پایین کوره قرار می‌دهند.

پس از تکمیل برنامه پخت، سرمایه‌ش قطعات باید به آرامی انجام گیرد تا قطعات ترک نخورند. همچنین باید از تخلیه کوره در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس اجتناب کرد تا از تخریب دیرگدازهای کوره و قطعات در آن جلوگیری شود.

نکته



پرسش



یک کوره‌بان برای تشخیص یکنواختی دما در قسمت‌های مختلف کوره از چه روش‌هایی می‌تواند استفاده کند؟

عیوب ناشی از پخت در سرامیک‌ها

شاید مشاهده کرده باشید که گاهی در تهیه و پخت کیک به صورت دلخواه و سالم نیست و ممکن است عیوبی مانند تغییر شکل، ترک یا سوختگی در آن ایجاد شود. به نظر شما این مشکلات ناشی از چه دلایلی می‌تواند باشد؟



شکل ۲۲

در برخی از محصولات سرامیکی عیوبی مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از دلایل متفاوتی باشد. رعایت نکردن اصول در آماده‌سازی مواد اولیه (مثلاً وجود ناخالصی و ناهمگنی در مواد اولیه) یا در مرحله شکل‌دهی و خشک کردن می‌تواند باعث ایجاد عیب در محصول سرامیکی شود. گاهی عیوب مشاهده شده می‌تواند مربوط به مرحله پخت سرامیک باشد.

در تهیه محصولات سرامیکی پس از پخت ممکن است در قطعه عیوبی مانند ترک، تغییر شکل و تابیدگی مشاهده شود که عوامل مختلفی باعث بروز این عیوب می‌شوند.



عیب بادکردگی^۱



عیب هسته سیاه^۲



عیب تاول زدن^۳



عیب ترک^۵



تابیدگی و تغییر شکل^۴

شکل ۲۳

-
- ۱- Black Core
 - ۲- Blisting
 - ۳- Bloating
 - ۴- Deformation
 - ۵- Crack



در جدول زیر عیوب قابل مشاهده در محصولات سرامیکی بیان شده است. با توجه به دلایل ارائه شده برای هر نوع عیب، با راهنمایی هنرآموز خود جدول را کامل کنید.

جدول ۸

توضیحات	نوع عیب
در هنگام پخت لازم است کربن و برخی ترکیبات تجزیه گردند و از بدنه خارج شوند. ولی ممکن است به سبب کمبود اکسیژن در محیط کوره یا افزایش سریع دمای کوره در هنگام پخت بدنه : - کربن به صورت ناقص بسوزد و در بدنه باقی بماند. - آهن به صورت ناقص اکسید شود و آهن اکسید دو ظرفیتی (FeO) به جای Fe_2O_3 تشکیل شود.	دلیل
- ظاهر شدن رگه‌های سیاه یا خاکستری رنگ در بدنه - بروز حباب در سطح - کاهش استحکام قطعه	اثر آن در قطعه
.....	راه حل
حرارت‌دهی زیاد قطعه یا حرارت‌دهی با سرعت خیلی بالا	دلیل
.....	اثر آن در قطعه
.....	راه حل
این عیب به دلیل تفجوشی (زینتر شدن) بدنه قبل از تجزیه و خروج گازها از داخل بدنه است.	دلیل
.....	اثر آن در قطعه
.....	راه حل
- یکنواخت نبودن حرارت در کوره باعث انقباض متفاوت در دو طرف قطعه می‌شود. - چیدمان نادرست و غیر اصولی بدنه‌ها در داخل کوره - انقباض پخت در قطعات مدور و توخالی مانند فنجان	دلیل
چیدن قطعات در کف کوره باعث انقباض کمتر قسمت پایین قطعه نسبت به قسمت بالایی قطعه می‌شود و یکنواخت نبودن انقباض باعث تغییر شکل و تاب برداشتن قطعه می‌شود.	اثر آن در قطعه
چیدن قطعات خام بر روی صفحه‌ای از جنس خود قطعه، باعث می‌شود که همراه با سطح زیرین خود منقبض و منبسط شود. استفاده از دیسک یا کاست‌های سرامیکی بر روی فنجان یا کاسه قرار دادن ظروف دهانه گشاد مانند فنجان و کاسه دو به دو روبه‌روی هم	راه حل
وجود تنش در داخل بدنه : - در اثر سرعت حرارت‌دهی بالا - تبدیلات ساختاری - درصد رطوبت بالای قطعه (بالتر از ۵/۵ درصد)	دلیل
ایجاد شوک حرارتی در قطعه و در صورتی که قطعه نتواند شوک را تحمل کند، ترک و شکست در آن ایجاد می‌شود.	اثر آن در قطعه
.....	راه حل



تمام عیوب مشاهده شده در قطعه پس از پخت مربوط به مرحله پخت نیست و ممکن است مربوط به مراحل آماده‌سازی آمیز، شکل‌دهی یا خشک کردن باشد که در مرحله پخت آشکار می‌شود.

اصول ایمنی در کار با کوره

ایمنی در کوره‌های آزمایشگاهی

- ۱ کوره‌های آزمایشگاهی باید تا حد امکان بالاتر از سطح زمین باشند تا در صورت آب‌گرفتگی کارگاه، کوره ایمن باشد.
- ۲ میز کوره آزمایشگاهی مستحکم و تراز باشد.
- ۳ در کوره در زمان روشن بودن باز نشود.
- ۴ از تجهیزات ایمنی مانند دستکش نسوز و انبر برای تخلیه کوره استفاده شود.
- ۵ از دست زدن به المنت کوره اجتناب شود.



شکل ۲۴

ایمنی در کوره های صنعتی

- ۱ از بالا رفتن و قدم گذاشتن بر سقف کوره اجتناب شود.
- ۲ به محیط داخل کوره خیره نشوید.
- ۳ تجهیزات کنترل حریق مانند کیپسول‌ها در اطراف کوره مرتب کنترل و بازرسی شوند.
- ۴ از تخلیه کوره در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس اجتناب شود.

ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت پخت کردن سرامیک ها

<p>شرح کار:</p> <p>۱- آماده سازی 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>پخت انواع بدنه های سرامیکی براساس منحنی پخت شاخص ها: تنظیم دمای کوره و زمان براساس منحنی پخت اطمینان از عملکرد صحیح کوره روشن کردن کوره و پخت بدنه های مختلف سرامیکی</p>																																			
<p>شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات: 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> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ردیف</th> <th>مرحله کار</th> <th>حداقل نمره قبولی از ۳</th> <th>نمره هنرجو</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>۱</td> <td>آماده سازی کوره برای پخت</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۲</td> <td>پخت انواع بدنه سرامیکی با ترکیبات مختلف</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۳</td> <td>نظارت بر عملکرد کوره تا تکمیل برنامه پخت</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۴</td> <td>خارج کردن صحیح قطعات از کوره</td> <td>۱</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۵</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب</p> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>میانگین نمرات</p> </td> <td></td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>				ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو	۱	آماده سازی 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>شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب</p>				<p>میانگین نمرات</p>			*
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو																																
۱	آماده سازی 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>شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب</p>																																			
<p>میانگین نمرات</p>			*																																
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.</p>																																			

