بسم الله الرحمن الرحیم

شکل دادن و پخت سرامیک‌ها

رشتهٔ سرامیک

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۵۱۸

۶۶۶ سرپولکی، حسین
ش ۶۸۴ س شکل دادن و پخت سرامیک‌ها/ مؤلف: حسین سرپولکی. ــ [ویرایش دوم]/ بازسازی و
۱۳۹۵ تجدیدنظر: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ سرامیک. ــ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
۱۳۴ ص.: مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۵۱۸)
متون درسی رشتهٔ سرامیک، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ سرامیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. سرامیک. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ سرامیک. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۹۵

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خـود را دربـارهٔ محتوای این کتاب بـه نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **info@tvoccd.sch.ir**

وب‌گاه (وب سایت) **www.tvoccd.sch.ir**

این کتاب بنا به پیشنهاد هنرآموزان رشتهٔ سرامیک سراسر کشور و تصویب کمیسیون تخصصی، توسط مؤلف محترم در تابستان ۱۳۸۵ مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت.

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **شکل دادن و پخت سرامیک‌ها ـ ۴۷۳/۶**

مؤلف : حسین سرپولکی

اعضای کمیسیون تخصصی : **حسین قصاعی، جمشید علی محمدی، رحیم شکری، حسن خوشبخت، مریم ابراهیمی، نادر پناهی کل‌تپه و محمود سالاریه**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا : **صغریٰ عابدی**

طراح جلد : **مریم کیوان**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

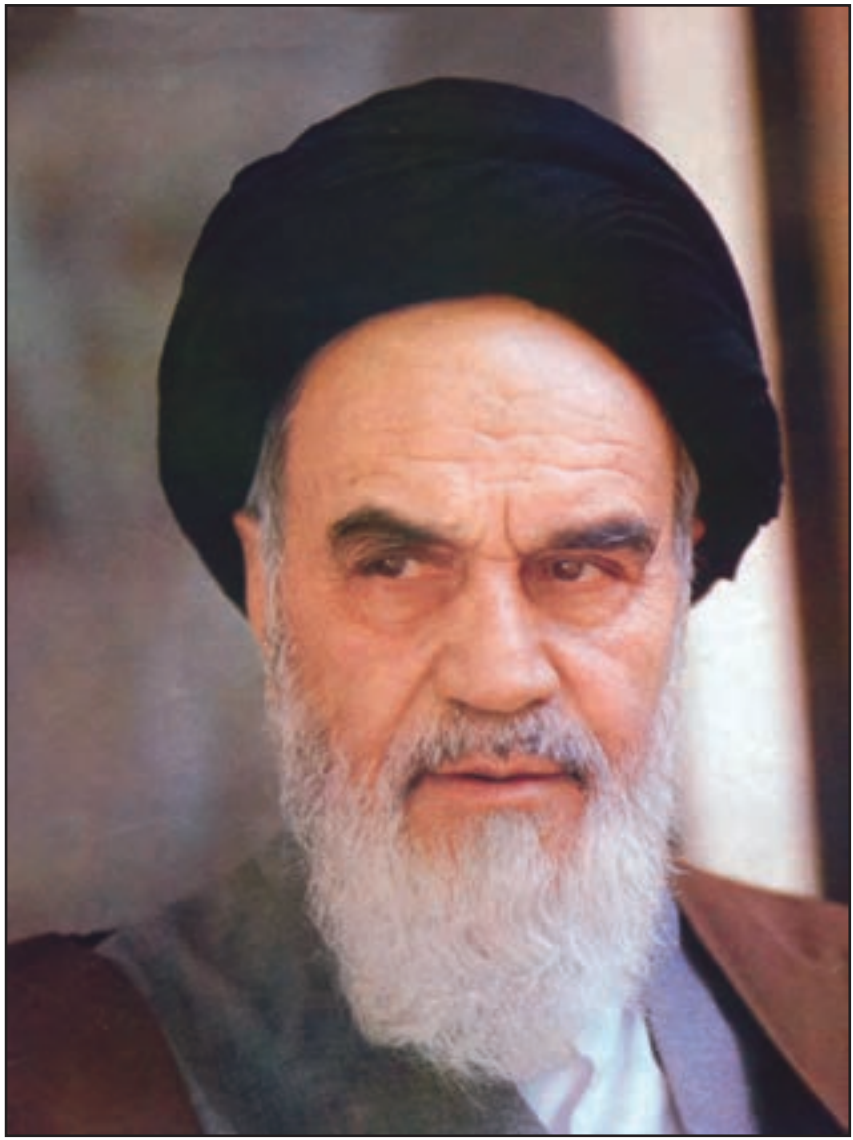
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار : **۱۳۹۵**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۶-۰۹۲۵-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-0925-6



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست مندرجات

مقدمه ۱

فصل اوّل : شکل‌دهی پلاستیک ۴

تنوع و تقسیم‌بندی روش‌های شکل دادن ۵

شکل دادن در صنعت سرامیک ۶

شکل‌دهی پلاستیک ۹

الف) شکل‌دهی پلاستیک دستی ۹

۱ــ شکل‌دهی با دست ۹

۲ــ شکل‌دهی با دست و قالب ۱۰

۳ــ شکل‌دهی با چرخ کوزه‌گری ۱۲

روش کار با چرخ کوزه‌گری ۱۳

ــ ساخت استوانهٔ توپر ۱۳

ــ ساخت استوانهٔ توخالی ۱۳

ــ اجرای طرح ۱۵

ــ پرداخت کردن ۱۷

اندازه‌گیری پلاستیسیته ۱۸

ب) شکل‌دهی پلاستیک دستگاهی ۲۰

۱ــ شکل دادن و پیش شکل دادن به روش اکستروژن ۲۵

تنوع محصولات در روش اکستروژن ۲۸

اعمال خلأ و مزایای آن ۲۸

تهیه و آماده‌سازی گل ۲۸
الف ــ تهیهٔ گل به کمک مخلوط کن ۲۸
ب ــ تهیهٔ گل به وسیلهٔ فیلتر پرس ۲۸
عیوب اکستروژن و راه‌های برطرف کردن آن‌ها ۳۰
ــ تَرَک S شکل ۳۰
ــ لایه‌لایه شدن ۳۱
ــ لایه‌لایه شدن در مقطع گل ۳۲
ــ لایه‌لایه شدن در امتداد طول ستون گل (روی سطح جداره) ۳۳
ــ تَرَک شمعدانی (ستاره‌ای) ۳۳
۲ــ شکل دادن با دستگاه جیگر ۳۴
۳ــ شکل دادن با دستگاه جولی ۳۷
۴ــ شکل دادن با دستگاه‌های گَردان (رولر) ۳۸
شکل دادن بشقاب و دیس به کمک رولر ۳۹
شکل دادن به فنجان و ظروف گود با دستگاه رولر ۴۲
۵ــ شکل دادن با ماشین‌های تمام اتوماتیک ۴۳
درصد آب در حین شکل دادن ۴۳
۶ــ شکل دادن به روش تراش (خراطی) ۴۵
۷ــ پرس پلاستیک ۴۶
عیوب روش‌های شکل دادن پلاستیک دستگاهی و شیوه‌های برطرف کردن آن‌ها ۴۹
بهترین روش تولید محصولات متقارن ۵۰
پرسش‌های فصل اوّل ۵۱

فصل دوم : شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی ۵۲
مقدمه ۵۲
انواع ریخته‌گری دوغابی ۵۳
مروری بر روان‌سازی ۵۶
ویژگی‌های دوغاب روان‌سازی شده ۵۹

تشکیل جداره ۶۲
۱ــ جذب آب دوغاب به‌وسیلهٔ قالب گچی ۶۲
۲ــ تعویض یونی ۶۲
ویژگی‌های دوغاب برگشتی ۶۶
گچ و قالب‌های گچی ۶۶
کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مختلف سرامیک ۶۷
مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی ۶۸
پرسش‌های فصل دوم ۶۹

فصل سوم : شکل دادن به روش پِرِس ۷۰
شکل دادن به روش پرس ۷۰
شکل‌دهی به روش کوبیدن ۷۷
پرسش‌های فصل سوم ۷۸

فصل چهارم : شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری ۷۹
مقدمه ۷۹
شیشه ۸۰
شکل‌دهی ظروف شیشه‌ای ۸۱
شکل دادن شیشه‌های جام (تخت) ۸۶
عملیات حرارتی شیشه ۸۹
دیرگداز (نسوز) ۸۹
مزایای ذوب و ریخته‌گری ۹۰
معایب ذوب و ریخته‌گری ۹۰
پرسش‌های فصل چهارم ۹۲

فصل پنجم : خشک کردن سرامیک‌ها ۹۳
مقدمه ۹۳

عوامل مؤثر برخشک شدن سرامیک‌ها ۹۵
انواع آب در ساخت سرامیک ۹۶
مکانیسم انتقال و خروج آب از قطعه حین خشک شدن ۹۸
مکانیسم انتقال حرارت ۹۹
انواع خشک‌کن‌ها در صنعت سرامیک ۱۰۳
مکانیسم خشک‌کن‌ها ۱۰۴
بررسی قطعات در حین فرآیند خشک شدن ۱۰۷
عیوب قطعه حین خشک شدن ۱۰۹
پرسش‌های فصل پنجم ۱۱۱

فصل ششم : پخت سرامیک‌ها ۱۱۲
مقدمه ۱۱۳
بررسی تأثیر حرارت بر قطعهٔ در حال پخت ۱۱۳
بررسی تغییرات حجمی قطعه در حین پخت ۱۱۶
بررسی عیوب قطعه در مرحلهٔ پخت ۱۱۷
انواع کوره‌های پخت صنایع سرامیک ۱۱۹
سوخت کوره‌ها ۱۲۴
پرسش‌های فصل ششم ۱۲۹
واژه‌نامه ۱۳۰

منابع و مآخذ ۱۳۴
منابع فارسی ۱۳۴
منابع خارجی ۱۳۴

پیشگفتار

سفالگری

سفالگری پیشرفته از مظاهر شهرنشینی در تمدن کهن به‌شمار می‌رود، این صنعت از ابتدایی‌ترین شکل خود، یعنی ساخت ظروف از گل خام، تا نوع پیشرفته‌اش، یعنی کار بر روی چرخ سفالگری و کوره‌پز کردن مصنوعات، تحولی را طی نموده که با رشد فکری و تسلط فنی انسان‌های سازندهٔ آن همراه بوده است.

قدمت ابتدایی‌ترین نمونه ظروف گلین در بین النهرین به ۸۰۰۰ سال قبل از میلاد برمی‌گردد که در کشورهای کنونی ایران و سوریه یافت شده‌اند.

این نوع ظروف ابتدایی را، در آفتاب خشک می‌کردند. در هزارهٔ پنجم پیش از میلاد با ظروفی روبه‌رو هستیم که بر روی چرخ سفالگری به‌طور حرفه‌ای و دقیق ساخته شده‌اند. این چرخ‌ها با پا به حرکت درمی‌آمدند.

بیش‌تر ظروف مکشوفه از حفاری‌های بین‌النهرین دارای نقوش زیبای هندسی و یا نقش جانوران در قالب اشکال هندسی زیبا می‌باشند.

کودکان همواره قسمت مهمی از زندگی بشر را تشکیل می‌داده‌اند و بازی نقشی مهم در جهان کودکان ایفا می‌کرده است. بدین لحاظ که در میان مصنوعات هنرمندان قدیم به اسباب‌بازی‌هایی برمی‌خوریم که از جنس‌های مختلف از جمله سفال برای سرگرمی کودکان ساخته شده‌اند.

نوشته‌ای که در سنگ محراب امام‌زاده یحیی ورامین در نزدیکی تهران هست، افتخار ساختن محراب را به سه کس یعنی سفالساز، طراح نقشه و خوش‌نویس می‌دهد. از لحاظ تاریخی دوره اسلامی به سه بخش تقسیم می‌گردد :

سفالگری دوره اولیه اسلامی از ابتدای ورود اسلام تا آغاز سده یازده میلادی یا پنجم هجری

سفالگری دوره میانه اسلامی شامل پادشاهی سلجوقیان و مغول‌ها

سفالگری دوره متأخر اسلامی از زمان صفویه تا به امروز

سفالگری دوره اولیه اسلامی

در دوره اولیه اسلام، سفال‌ساز افتاده و متواضع ایرانی در همان زمینه پارت‌ها و ساسانیان کار می‌کرد. ظرف‌های آن دوران، بی‌لعاب بود و در قالب‌های فشاری آن را آراسته کرده، تزیین می‌داده و یا ظرف‌هایی از لعاب آبی یا فیروزه‌ای می‌ساخت. این‌گونه قالب‌های فشاری از خاک رس، بی‌لعاب ساخته می‌شد و پیش از پختن آن را برای آرایش ظرف، کنده‌کاری می‌کردند.

در دوره اولیه سفالگری ظرف‌های چینی که از چین آورده شد سبب تشویق و تحریک ایرانیان در توسعه صنعت سفال‌سازی شد. ثعالبی و بیرونی دو نفر از مورخین مشهور درباره انواع سفال‌هایی که از چین آورده شد شرحی نگاشته و مرغوبیت آن را ستوده‌اند.

محمدبن‌الحسین می‌نویسد که فرماندار خراسان در سال ۱۰۵۹ میلادی بیست تکه ظروف چینی از کشور چین دریافت کرد و آن را به بارگاه خلیفه بغداد فرستاد و سفال سازان داخلی را تشویق به ساختن سفال‌هایی شبیه به آن کرد. در حقیقت در اثر تشویق فرمانداران و حکام محلی، نوآوری‌ها و اختراعات زیادی در فن بدل چینی‌سازی و تقلید چینی‌های دوره تانگ در ایران به‌وجود آمد.
با دوره‌های میانه و متأخر اسلامی در کتب دیگر آشنا خواهید شد.

مقدمه

ساخت سرامیک‌ها، هنری کهن و در عین حال، علمی نوین به‌شمار می‌رود. با نگاهی به تاریخچه‌ی ساخت سرامیک‌ها، درمی‌یابیم که این رشته در نیمه‌ی دوم قرن بیستم پیشرفت بسیاری کرده است، زیرا به دلیل به‌دست آوردن قابلیت‌های جدید در سرامیک‌سازی، این صنعت از مراحل مختلف فراوری برخوردار گردیده است.

امکان تهیه‌ی مواد خالص‌تر، دست‌یابی به دماهای بالا، افزایش سرعت پخت و سرعت تولید، نمونه‌ای از این قابلیت‌ها هستند ؛ هم‌چنین، تکامل سریع دستگاه‌ها و تکنولوژی مورد نیاز در این صنعت، نقش به‌سزایی در این پیشرفت داشته است.

تاریخچه‌ی ساخت سرامیک، بسیار جالب و درخور توجه است. ساخت قطعات با دست بیش از ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح آغاز شده است. قطعاً اولین دستگاه‌های مورداستفاده در شکل دادن، چرخ کوزه‌گری بوده است که مربوط به ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح است و روش‌های دیگر شکل دادن به قرون اخیر مربوط می‌شود. برای نمونه در اوایل عهد مسیح در سرزمین چین پیشرفت مهمی در سرامیک‌سازی پدیدار آمد و آن عبارت بود از : «تهیه‌ی قطعات پرسلان (چینی) با درخشش بالا.»

در اروپا در سال ۱۷۰۸ میلادی، شیمی‌دانی به نام «فردریچ بوتگر»[۱] توانست با حرارت دادن مخلوطی از کائولین و مواد زودگداز، بدنه‌ای مستحکم و سفید به‌دست آورد.

بعدها بر روی روش‌های مختلف شکل دادن، هم‌چنین روش‌های پخت و تزیین قطعات، پیشرفت‌های تازه‌ای به‌دست آمد.

دست‌یابی بشر به قدرت بخار در قرن ۱۹، حرکت تولید سرامیک‌ها را به سمت ماشینی شدن سرعت بخشید و سپس با استفاده از تحولات علمی قرن حاضر، به‌خصوص اشعه‌ی X ، میکروسکوپ‌های الکترونی و نظایر آن امروزه شاهد پیشرفت‌های شگرفی در ساخت و تولید انبوه سرامیک‌های نوین هستیم. هم‌اکنون کاربرد کامپیوتر نیز در کنترل تولید و طراحی‌های صنعتی، نویددهنده‌ی پیشرفت در آینده است.

به‌طورکلی فرآیند ساخت سرامیک‌ها مراحل متعدی از آماده‌سازی، شکل دادن، خشک‌کردن و پخت را در پی دارد و هر مرحله دارای شرایط خاص خود است و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. در این کتاب به منظور ارائه‌ی یک تصویر مناسب از مراحل ساخت سرامیک‌ها، اصول شکل‌دادن، خشک کردن و پخت سرامیک‌ها آمده و شایان ذکر است که به دلیل اهمیت آماده‌سازی این بخش در یک کتاب مستقل تدوین شده است.

۱ــ Fredrich Bottger

الف ــ سرامیک‌های سنتی

پودر آلومینای خالص

پودرهای گرانوله

سوپاپ و واشر آلومینای

دیسک آلومینای

قطعات سرامیکی پمپ

قطعات ویژه

مفصل و استخوان مصنوعی

بلبرینگ و رینگ سرامیکی

ابزار سرامیکی

پوشش‌های گرافیتی

قطعات سرامیکی ساعت

گلوله‌های سایشی

ب ــ سرامیک‌های پیشرفته

هدف کلی کتاب

آشنایی با اصول ساخت و تولید سرامیک‌ها و سیرتحوّل آن‌ها در سه بخش شکل‌دادن، خشک‌کردن و پخت سرامیک‌ها.

فصل اوّل

شکل‌دهی پلاستیک

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ انواع روش‌های شکل‌دهی پلاستیک را نام ببرد.

۲ــ ساختمان، تاریخچه و کاربرد چرخ کوزه‌گری را شرح دهد.

۳ــ شکل دادن با چرخ کوزه‌گری را بیان کند.

۴ــ کاربرد روش اکستروژن را برای هواگیری و همگن‌سازی توضیح دهد.

۵ــ کاربرد اکستروژن را در ساخت لوله، میله و آجر با شکل‌های خاص بیان کند.

۶ــ روش ریخته‌گری دوغابی را با اکستروژن ــ از نظر اقتصادی ــ مقایسه کند.

۷ــ کاربرد اکستروژن را برای پیش شکل دادن بیان نماید.

۸ــ تهیه گل با فیلتر پرس را شرح دهد و نحوه‌ی کار آن را بیان کند.

۹ــ علت و نحوه‌ی انبار کردن استوانه‌های خروجی از اکسترودر را شرح دهد.

۱۰ــ عیوب اکستروژن و روش‌های رفع آن را شرح دهد.

۱۱ــ کاربرد و نحوه‌ی کار را در روش جیگر بیان کند.

۱۲ــ کاربرد و نحوه‌ی کار را در روش جولی توضیح دهد.

۱۳ــ نحوه کار دستگاه رولر (گردان) را بیان کند.

۱۴ــ دستگاه گردان را با روش‌های جیگرــ جولی مقایسه کند. (بدون ذکر ارقام)

۱۵ــ کاربرد و نحوه‌ی کار را در روش تراش (خراطی) بیان کند.

۱۶ــ روش شکل‌دادن پرس پلاستیک را شرح دهد.

۱۷ــ عیوب روش‌های شکل‌دهی پلاستیک دستگاهی را نام‌برده و شیوه‌های برطرف کردن آن‌ها را بیان کند.

۱۸ــ مناسب‌ترین روش شکل دادن بشقاب، مقره، گلدان و کاسه را نام ببرد.

کلیات

فرآیند تولید سرامیک‌ها را پس از انتخاب مواد اولیه‌ی مناسب، می‌توان به شش مرحله تقسیم‌بندی کرد :

۱ــ آماده‌سازی مواد اولیه،

۲ــ شکل دادن،

۳ــ خشک کردن،

۴ــ پخت، (که می‌تواند شامل پخت نهایی درقطعات تک پخت یا پخت بیسکویت در محصولات لعابدار باشد).

۵ــ لعاب‌کاری،

۶ــ پخت لعاب و دکور.

حال که با مواد اولیه‌ی صنعت سرامیک و روش‌های آماده‌سازی آن‌ها آشنا شده‌اید، لازم است روش‌های شکل دادن سرامیک‌ها را نیز فراگیرید. به همین منظور در این کتاب تقسیم‌بندی‌ها و روش‌های متنوع شکل دادن تشریح می‌شود.

تنوع و تقسیم‌بندی روش‌های شکل دادن

اصولاً هر ماده خصوصیاتی دارد که براساس آن‌ها، می‌توان روش مناسب شکل دادن آن ماده را یافت. در واقع بهترین روش شکل دادن هر ماده، ساده‌ترین راهی است که بتوان آن ماده را به بهترین وجه شکل داد ؛ برای مثال فلزات، قابلیت چکش‌خواری خوبی دارند. چنان‌که، ورق‌های فلزی را می‌توان به راحتی با چکش شکل داد و یا یک قطعه‌ی فلزی، بدون گسستن، تغییرشکل می‌یابد.

چوب به راحتی بریده می‌شود. حتماً تا به حال با اره، قطعه چوبی را بریده و شکل داده‌اید. پس به کمک ابزار می‌توان قطعات بزرگ و کوچک چوبی را نیز، به شکل دل‌خواه درآورد.

مواد آلی مثل لاستیک و پلاستیک نیز نقطه‌ی ذوب پایینی دارند و با حرارت کم به‌صورت خمیر درمی‌آیند و به راحتی شکل می‌یابند. بر این اساس می‌توان گفت روش‌های شکل دادن متنوعی در ساخت و تولید لوازم مورد نیاز وجود دارد و این روش‌ها بر پایه‌ی خواص آن مواد بنا شده است. شکل دادن مصنوعات، روش‌های متنوعی دارد و لازم است تقسیم‌بندی به‌گونه‌ای صحیح عمل شود. این تقسیم‌بندی‌ها نیز مبتنی‌بر خواص شناخته شده‌ی مواد است.

شکل دادن در صنعت سرامیک

مواد اولیه‌ی سرامیک‌ها در مقایسه با فلزات، نقطه‌ی ذوب بالایی دارند. به همین دلیل، روش ذوب و ریخته‌گری، که متداول‌ترین روش ساخت شیشه و محصولات شیشه‌ای است و در ساخت بیش‌تر مصنوعات فلزی نیز کاربرد دارد، دیگر در سرامیک‌ها کمتر به‌کار گرفته می‌شود، زیرا مواد اولیه‌ی سرامیکی دارای خواص مختلفی هستند که بر پایه‌ی آن‌ها برای شکل دادن از روش‌های متنوعی استفاده شده است ؛ برای مثال، قابلیت شکل دادن مخلوط رس با آب، به میزان آب آن بستگی دارد. با ۵۰ درصد آب، دوغابی تهیه می‌شود که به راحتی و با فشار لازم بتوان کلیه‌ی گوشه‌های یک قالب را پر کرد. هنگامی که میزان آب دوغاب را کم کنیم تا به گل تبدیل شود، فشار لازم برای شکل‌دهی و تبدیل به محصول افزایش می‌یابد، هم‌چنین برای تبدیل آن به پودر مرطوب این فشار لازم به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

روش‌های شکل دادن سرامیک‌ها، عموماً برحسب درصد آب تقسیم‌بندی می‌گردد. اگر درصد آب یک آمیز به حدی باشد که مخلوط حاصل به‌صورت دوغاب درآید، با انتقال دوغاب به قالب گچی می‌توان شکل دل‌خواه را ایجاد کرد. این روش را «ریخته‌گری دوغابی» می‌نامند. در این روش، درصد آب بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است که مقدار دقیق آن به جنس مواد اولیه بستگی دارد. حال در مقادیر کم‌تر آب (۱۸ تا ۲۲ درصد) یک توده‌ی گل پلاستیک به‌دست می‌آید. شکل‌دهی این مخلوط را «شکل دادن پلاستیک» نامیده‌اند. پرس پودرهای مرطوب را نیز می‌توان با کم‌ترین مقدار رطوبت (۴ تا ۹ درصد) ایجاد کرد. در جدول ۱ــ۱ میزان آب مورد نیاز پنج روش شکل‌دادن سرامیک‌ها را مشاهده می‌کنید که عبارت‌اند از :

۱ــ شکل‌دهی پلاستیک،

۲ــ ریخته‌گری دوغابی،

۳ــ شکل دهی با پرس،

۴ــ شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری،

(در ساخت بعضی از فرآورده‌های سرامیکی، لازم است از روش ذوب و ریخته‌گری استفاده شود ؛ مثلاً شیشه را ابتدا ذوب می‌کنند سپس شکل می‌دهند. معدودی از دیرگدازها نیز، با این روش شکل داده می‌شوند.)

۵ــ روش‌های پیشرفته‌ی شکل‌دادن سرامیک‌های مدرن.

جدول ۱ــ۱ــ محدوده‌ی درصد آب در روش‌های مختلف شکل‌دهی سرامیک‌ها

درصد آب برمبنای تر	حالت فیزیکی آمیز	روش شکل‌دهی
۵۰ ــ ۲۵ (عموماً ۳۵)	دوغاب	ریخته‌گری دوغابی
۲۲ ــ ۱۸ (عموماً ۲۰)	گل پلاستیک	شکل‌دهی پلاستیک
۱۲ ــ ۸	پودر مرطوب	پرس پلاستیک
۹ ــ ۴	پودر مرطوب	پرس نیمه خشک
۴ ــ ۰	پودر خشک	پرس خشک

در توضیح سه روش اولیه، باید گفت که راه‌های مختلفی برای تقسیم‌بندی آن‌ها وجود دارد. یک نوع تقسیم‌بندی، براساس میزان آب مصرفی است. روش دیگر، مبتنی بر میزان ماده‌ی جامد تعریف شده است. هم‌چنین ممکن است تقسیم‌بندی بر مبنای قدمت تاریخی آن‌ها باشد، یا این که پلاستیسیته‌ی آمیزِ موردنظر، اساس این تقسیم‌بندی قرار گیرد.

در کتاب حاضر، مبنای تقسیم‌بندی، «قدمت تاریخی روش‌های شکل‌دهی پلاستیک» درنظر گرفته شده است و به ترتیب، شکل‌دهی پلاستیک، ریخته‌گری دوغابی و سرانجام، شکل دادن به روش پرس پودر، در فصل‌های بعدی بیان خواهد شد.

هم‌چنین شکل‌دهی فرآورده‌های شیشه‌ای، جداگانه، در فصل چهارم و تحت عنوان شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری، در پی خواهد آمد.

طبیعی است که به لحاظ رشد تکنولوژی و پیشرفت روش‌های دستگاهی، هر یک از فصل‌ها دارای انواع مختلفی از روش‌های نوین‌اند که در جای خود توضیح داده خواهد شد.

در نهایت، می‌توان تقسیم‌بندی روش‌های شکل دادن سرامیک‌ها را به این صورت نشان داد :

روش‌های شکل‌دهی سرامیک‌ها
الف ــ پلاستیک
۱ــ شکل دادن دستی
۱ــ۱ــ شکل‌دهی با دست
۱ــ با دست
۲ــ با دست و قالب
۲ــ۱ــ شکل‌دهی با چرخ کوزه‌گری
۲ــ دستگاهی
۱ــ۲ــ اکستروژن
۲ــ۲ــ جیگر
۳ــ۲ــ جولی
۴ــ۲ــ رولر
۵ــ۲ــ ماشین‌های تمام اتوماتیک
۶ــ ۲ــ تراش (خراطی)
۷ــ۲ــ پرس پلاستیک
ب ــ ریخته‌گری دوغابی
۱ــ توخالی
۲ــ توپر
ج ــ پرس
۱ــ نیمه‌خشک
۲ــ خشک
۳ــ ایزواستاتیک
۱ــ سرد
۲ــ گرم
د ــ ذوب و ریخته‌گری
هـ ــ روش‌های پیشرفته (شکل دادن سرامیک‌های مُدرن)

شکل‌دهی پلاستیک

در این روش، از توده‌ی گل پلاستیک در ساخت فرآورده‌ها استفاده می‌شود. بنابراین مواد اولیه‌ی مورد مصرف، باید دارای پلاستیسیته‌ی مناسبی برای شکل‌دهی باشد. پس باید گفت شکل‌دهی سرامیک‌ها به روش پلاستیک، به پلاستیسیته‌ی رس وابسته است، اما باید توجه داشت که شکل‌دهی پلاستیک سرامیک‌ها به روش پلاستیک، یک روش واحد محسوب نمی‌شود، بلکه شامل مجموعه‌ای از روش‌های شکل‌دهی است که در همه‌ی آن‌ها، گل پلاستیک شکل داده می‌شود. در ضمن باید توجه داشت که امروزه با افزودن چسب‌ها (پلی‌وینیل الکل و ...) به مواد غیرپلاستیک، مخلوطی به‌دست می‌آید که خواص شکل‌پذیری آن مشابه گل پلاستیک است و آن را با روش‌های پلاستیک شکل می‌دهند.

روش‌های شکل‌دهی پلاستیک را می‌توان به دو بخش کلی شکل‌دهی پلاستیک «دستی» و «دستگاهی» تقسیم‌بندی کرد :

الف) شکل‌دهی پلاستیک دستی

۱ــ شکل‌دهی با دست: این روش، قدیمی‌ترین روش شکل دادن به‌شمار می‌آید که در آن نقش دست کارگر ماهر در شکل دادن، اهمیت خاصی دارد. انواع روش‌های شکل‌دهی دستی عبارت‌اند از : فتیله سازی، مسطح سازی، (جعبه‌سازی) و کار با دست

در روش فتیله‌سازی، یک قطعه گل را بین دو کف دست به‌صورت فتیله درمی‌آورند، سپس اجزای آن را طوری روی هم می‌چینند تا شکل موردنظر به‌دست آید و در صورت تمایل می‌توانند درزهای بین رشته‌ها را صاف کنند تا محصول یک‌پارچه‌ای به‌دست آید و سرانجام، به‌منظور تزیین، کنده‌کاری‌هایی بر روی سطح ظرف ایجاد کنند.

در شکل ۱ــ۱ تصویر کوزه‌ای را مشاهده می‌کنید که به این روش ساخته شده است.

شکل ۱ــ۱ــ کوزه‌ی دست‌ساز با روش فتیله سازی

در روش مسطح‌سازی عموماً یک توده گل توسط وردنه به‌صورت تخت درمی‌آید و به‌وسیله ابزار برش در ابعاد مختلف بریده می‌شود. سپس با متصل ساختن صفحات بریده شده قطعه‌ی موردنظر ساخته می‌شود. محصولات متعددی نیز می‌توانند، بسته به مهارت فرد، توسط انگشتان دست و دیگر ابزارهای ابتدایی شکل داده شوند.

امروزه استفاده‌ی احتمالی از روش‌های شکل‌دهی با دست، صرفاً جنبه‌ی هنری دارد و در مقیاس تولید کارگاهی فاقد صرفه‌ی اقتصادی است.

۲ــ شکل‌دهی با دست و قالب : در این روش که از قالب نیز استفاده می‌شود، امکان ساخت محصولاتی با شکل‌های غیرمتقارن فراهم می‌آید. اساساً دلایل استفاده از قالب عبارت است از :

۱ــ سرعت تولید بالاتر، نسبت به شکل دادن با دست ،

۲ــ امکان استفاده از دست‌های غیرهنرمند (عدم اتکا به کارگر ماهر)،

۳ــ تکرار تولید قطعات با ابعاد و نقش‌های یکسان،

۴ــ تسهیل در ساخت قطعات بزرگ.

به‌نظر برخی، قالب‌های اولیه به‌صورت گچی و یا از جنس سبد بوده ولی بعدها آن را از جنس چوب ساخته‌اند، ولی امروزه از انواع قالب‌های گچی استفاده می‌شود. در کارگاه‌های سنتی اطراف تهران، همدان، قم، میبد و ... برای ساخت گلدان‌های بزرگ، از قالب گچی استفاده می‌شود. گل آماده را به دیواره‌ی داخلی قالب گچی می‌چسبانند سپس با دست سطح آن را صاف می‌کنند تا یک لایه با ضخامت یکسان ایجاد شود. در واقع، قالب گچی سطح بیرونی گلدان را دربر می‌گیرد.

اگر قالب گچی فرورفتگی یا برجستگی داشته باشد سطح گلدان نیز برجستگی و فرورفتگی خواهد داشت.

پس از مدتی، مقداری از آب گل به‌وسیله‌ی قالب گچی جذب و در نتیجه باعث انقباض محصول می‌شود و قطعه، به راحتی از قالب جدا می‌گردد. با پایان گرفتن مرحله‌ی شکل‌دهی، محصول آماده‌ی خشک شدن و پخت می‌شود.

از قالب چوبی، بیش‌تر برای شکل دادن آجرهای ساختمانی به روش سنتی استفاده می‌شود. امروزه حتی بعضی از انواع دیرگدازها نیز، به این روش تولید می‌شوند. قالب چوبی گاه دارای چند شبکه است. گل از پیش آماده شده را کارگرِ خشت‌زن، درون قالب قرار می‌دهد و به‌وسیله‌ی تیغه‌ای گل اضافی گرفته می‌شود. با برداشتن قالب، خشت‌های ساخته شده، روی زمین باقی می‌مانند. در برخی موارد برای تخلیه، قالب‌ها را برمی‌گردانند. گل مورد نیاز خشت‌زنی، باید

سفت‌تر از هنگامی باشد که قالب گچی به‌کار گرفته می‌شود. چون اولاً، قالب چوبی جذب آب ندارد ؛ ثانیاً، بلافاصله باید تخلیه شود. پس شکل گل باید حفظ شود. به عبارت دیگر، محصول نباید پس از برداشتن قالب، شکل خود را از دست بدهد.

از سوی دیگر، در کار با قالب گچی به دلیل جذب آب به‌وسیله‌ی گچ، درصد آب گل می‌تواند بیش‌تر درنظر گرفته شود تا هنگام یک دست کردن آن در قالب گچی، خشک و شکننده نشود.

خشت‌زنی در برخی شهرها و مناطق ایران مرسوم است. یک گروه سه نفره با همکاری یک‌دیگر می‌توانند روزانه تا دو هزار قالب آجر را شکل دهند.

امروزه به‌وسیله‌ی اکسترودر حلزونی، به قطر ۴۰ سانتی‌متر، می‌توان در هر ساعت به‌طور متوسط ده‌هزار آجر ساختمانی استاندارد تولید کرد.

به هرحال، روش دست و قالب در مقایسه با روش‌های دستگاهی روش کندی محسوب می‌شود، اما به دلیل عدم نیاز به تکنولوژی و سرمایه‌گذاری، هنوز کاربرد درخور توجهی دارد.

گلدان‌های بزرگ و نقش برجسته، کاشی، آجر و قطعات نامتقارنی که در ساخت محراب‌ها و ستون‌های مساجد به کار می‌رود و حتی تابلوهای بعضی از اماکن به‌روش دست و قالب تهیه می‌شود. در شکل ۲ــ۱ چند نمونه کاشی برجسته نشان داده شده است.

شکل ۲ــ۱ــ کاشی‌ها با نقش برجسته که به روش دست و قالب تهیه شده است.

۳ــ شکل‌دهی با چرخ کوزه‌گری : همان‌گونه که گفته شد استفاده از چرخ کوزه‌گری به حدود ۵۰۰۰ سال پیش باز می‌گردد. درباره‌ی مخترعان این دستگاه، بین مورخین اختلاف نظر وجود دارد، اما مراکز معروف تمدن بشری یعنی ایران، مصر، چین و یونان از قدیمی‌ترین استفاده‌کنندگان آن بوده‌اند.

چون در این روش، شکل دادن همراه با چرخش انجام می‌گیرد، باید توجه داشت که فقط ظروف متقارن و دارای مقطع دایره‌ای را می‌توان با چرخ‌کاری تولید کرد.

چرخ‌های اولیه، با دست حرکت می‌کردند، اما بعدها این کار با پا انجام گرفت و امروزه به‌وسیله‌ی موتورهای الکتریکی کار می‌کنند. در چرخ‌های پایی «تصویر الف» که هنوز رایج است، صفحه‌ی بزرگی با نام لنگر وجود دارد که با پا به حرکت درمی‌آید. این صفحه به‌وسیله‌ی میله‌ای به صفحه‌ی دوار فوقانی سرچرخ متصل است. توده‌ی گل، بر روی این صفحه قرار می‌گیرد و هنگام چرخش، با دستان استادکار شکل می‌یابد.

(الف)

(ج)

(ب)

شکل ۳ــ۱ــ چرخ کوزه‌گری پایی (الف و ب) و برقی (ج)

در چرخ‌های کوزه‌گری الکتریکی، چرخش سرچرخ به‌وسیله‌ی یک موتور الکتریکی تأمین می‌شود. گفتنی است که برخی از روش‌های دستگاهی، از تکامل چرخ کوزه‌گری به‌وجود آمده‌اند.

روش کار با چرخ کوزه‌گری

با قراردادن توده‌ی گل آماده‌ی کار (دارای پلاستیسیته‌ی مطلوب)، بر روی سرچرخ، عمل شکل دادن آغاز می‌گردد. چرخ‌کاری را می‌توان به مراحل کلی زیر تقسیم‌بندی کرد :

ــ **ساخت استوانه‌ی توپر:** در مرحله‌ی اول، سعی می‌شود توده‌ی گل به مرکز صفحه‌ی سرچرخ هدایت گردد.

برای این منظور، با نرمی دست، از کنار گل به آن فشار داده می‌شود و هم‌زمان با دست دیگر، از بالا، گل تحت فشار قرار می‌گیرد. چون چرخ در حال گردش است، فشار هم‌زمان دو دست در جهت عمود بر یک‌دیگر، گل را به‌صورت استوانه‌ای درمی‌آورد و اگر با دقّت عمل شود، استوانه توپر می‌شود و در مرکز چرخ قرار می‌گیرد.

ــ **ساخت استوانه‌ی توخالی :** در این مرحله، هنگام چرخش استوانه‌ی ساخته شده در مرحله‌ی قبل، دو کف دست را دور گل حلقه می‌کنند و انگشتان شست هر دو دست را در مرکز گل فرو می‌برند تا یک حفره ساخته شود. در ادامه‌ی کار با انگشتان دو دست، می‌توان دیواره‌ی استوانه‌ی ساخته شده را از داخل و خارج تحت فشار قرار داد (شکل ۵ــ۱) و به تدریج دست‌ها را به بالا یا

شکل ۴ــ۱ــ گل در مرکز چرخ قرار داده می‌شود.

شکل ۵ــ۱ــ ساخت استوانه‌ی توبر

پایین حرکت داد. هم‌چنین می‌توان ضخامت دیواره و قطر دهانه‌ی گل را کم و زیاد کرد. در واقع با این حرکت‌ها می‌توان یک استوانه‌ی توخالی با ابعاد مناسب تهیه کرد. این استوانه از نظر اندازه باید با نمونه‌ای که قرار است شکل داده شود، تناسب داشته باشد (شکل‌های ۷ــ۱ و ۸ــ۱).

شکل ۶ــ۱ــ برای ساخت استوانه‌ی توخالی انگشتان شست درون گل فرو برده می‌شود.

شکل ۷ــ۱ــ ساخت استوانه‌ی توخالی

شکل ۸ــ۱ــ شروع اجرای طرح بدنه

ــ اجرای طرح : حال با انگشتان دست، طرح مورد نظر پیاده می‌شود. برای مثال، اگر دو انگشت سبابه، بدنه‌ی استوانه را به بیرون بکشند، این قسمت از استوانه به‌صورت «برآمده» شکل می‌گیرد ؛ یا اگر دست به تدریج به بیرون و سپس به داخل کشیده شود قطعه، شبیه تنه‌ی کوزه، شکل می‌گیرد (شکل ۹ــ۱ تا ۱۲ــ۱).

شکل ۹ــ۱ــ جمع کردن دهانه‌ی کوزه

شکل ۱۰ــ۱ــ تنظیم ابعاد دهانه

شکل ۱۱ــ۱ــ بالا کشیدن دهانه‌ی کوزه

شکل ۱۲ــ۱ــ محصول نهایی

بعد از اجرای طرح، به‌وسیله‌ی سیم نازک، قطعه را از روی سرچرخ جدا می‌کنند و آن را از پایه‌ی قطعه عبور می‌دهند، سپس محصول از سرچرخ بریده می‌شود. بعد آن را در هوای آزاد قرار می‌دهند تا کمی خشک شود و استحکام نسبی پیدا کند (شکل ۱۳ــ۱).

شکل ۱۳ــ۱ــ جدا کردن محصول به‌وسیله‌ی سیم نازک از سرچرخ

ــ **پرداخت کردن**: در آخرین مرحله، قطعه‌ی نیمه مرطوب، به‌صورت وارونه، بر روی چرخ قرار داده می‌شود ؛ سپس با ابزار تراش مخصوص محل قرارگیری روی سطح، سطح آن صاف و از ضخامت آن کاسته می‌شود تا به اندازه‌ی دل‌خواه برسد. ضمن این که ضخامت ته قطعه نیز تنظیم می‌گردد.

با دقت در مراحل چهارگانه‌ی ذکر شده، درمی‌یابید که در اجرای هر مرحله، مهارت و تجربه‌ی فرد، نقش اصلی را به‌عهده دارد و کسانی که حداقل یک بار چرخ‌کاری کرده باشند، اهمیت این مهارت را بهتر درمی‌یابند.

پس از این، با جزئیات اجرایی مراحل شکل دادن با چرخ کوزه‌گری، در دروس کارگاهی و همراه با کار عملی، آشنا خواهید شد.

پلاستیسیته چیست و چگونه ارزیابی می‌شود؟

گفته شد که گل چرخ‌کاری، باید پیش‌تر آماده شود. این آماده‌سازی چگونه انجام می‌شود؟ چه راه‌هایی برای تشخیص «رسیدن گِل مناسب برای شکل‌دهی با چرخ کوزه‌گری» وجود دارد؟

برای پاسخ به این پرسش‌ها ابتدا، لازم است پلاستیسیته را تعریف کنیم :

اگر در صورت اعمال نیرو به قطعه‌ای (با یک توده‌ی گل)، آن قطعه بدون گسیختگی و تَرَک، تغییر شکل یابد و پس از حذف نیرو، تغییر شکل پایدار بماند، این خاصیت، پلاستیسیته نام دارد.

هر چه پلاستیسیته‌ی گل بیش‌تر باشد، شکل‌پذیری آن راحت‌تر انجام می‌گیرد و احتمال بروز تَرَک نیز کم‌تر می‌گردد.

چرخ‌کاران سنتی، ترجیح می‌دهند گِل موردنظر را خود تهیه کنند تا از رفتار و خواص آن اطلاع کافی داشته باشند. گاه گل را ده‌ها روز نگه می‌دارند. این عمل را خواباندن گل (کهنگی : Ageing) می‌نامند. خواباندن گل، پلاستیسیته را به نحو چشم‌گیری افزایش می‌دهد. می‌دانید که کار با گلِ غیرآماده بسیار مشکل است.

ورز دادن نیز، باعث بهبود خواص شکل‌پذیری گل می‌شود ؛ بنابراین، قبل از آغاز مرحله‌ی شکل دادن، لازم است گل را به‌خوبی ورز بدهیم. این کار با دست یا دستگاه انجام می‌شود.

اندازه‌گیری پلاستیسیته

پلاستیسیته را مستقیماً نمی‌توان اندازه‌گیری کرد، اما روش‌های مقایسه‌ای وجود دارد که برمبنای آن پلاستیسیته‌ی دو خاک نسبت به یک‌دیگر مقایسه می‌شوند ؛ برای مثال، پلاستیسیته‌ی بیش‌تر، باعث می‌شود استحکام خشک، انقباض تر به خشک و افزایش آب کارپذیری بیش‌تر گردد.

چرخ‌کاران سنتی، برای ارزیابی پلاستیسیته‌ی گل، بیش‌تر از روش‌های تجربی استفاده می‌کنند ؛ نمونه‌ای از آن، به این شرح است :

توده‌ی گل را در دست ورز می‌دهند و آن را بین دو دست به‌صورت یک رشته (فتیله) درمی‌آورند ؛ به‌گونه‌ای که ضخامت فتیله به یک‌سانتی‌متر و طول آن به حدود ۲۰ سانتی‌متر برسد. سپس مطابق شکل ۱۴ــ۱، دو سر آن را روی هم می‌گذارند و فشار می‌دهند. اگر در محل قوس ترک یا گسیختگی مشاهده نشود، این گل دارای پلاستیسیته‌ی کافی برای چرخ‌کاری است.

شکل ۱۴ــ۱ــ پلاستیسیته‌ی مناسب

شکل ۱۵ــ۱ــ پلاستیسیته‌ی نامناسب

فتیله‌ی گل برای آزمایش پلاستیسیته به این شکل درمی‌آید.

مقایسه‌ی این دو، نشان می‌دهد که اگر چه این روش از کارآیی خوبی برخوردار است دقت کافی به همراه ندارد. امروزه به کمک روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری پلاستیسیته، می‌توان درصد رطوبت حالت مطلوب شکل دادن را به‌طور دقیق تعیین کرد.

با توجه به آن‌چه گذشت، تنوع شکل‌های محصولاتی که با چرخ کوزه‌گری تولید می‌شوند، بیش‌تر از دیگر روش‌های پلاستیک است ؛ بنابراین، ساخت محصولات هنری با این روش به‌خوبی امکان‌پذیر است، اما روش چرخ‌کاری محدودیت‌هایی نیز دارد. برای مثال، به نیروی ماهر نیازمند است و یا سرعت تولید آن در مقایسه با روش‌های دستگاهی پایین است. با این روش ظروفی ساخته می‌شوند که مقطع دایره داشته باشند. هم‌چنین در این روش، امکان تولید قطعات کاملاً هم‌اندازه، کم است. در ضمن روشی است که فقط بر پایه‌ی مواد پلاستیک بنا نهاده شده است.

با همه‌ی محدودیت‌هایی که در روش چرخ‌کاری مطرح شد، این روش هنوز در تولید قطعات و ظروف سنتی سرامیک جایگاه خاصی دارد، زیرا مزایای مهمی نسبت به دیگر روش‌ها دارد، که از آن جمله است : ارزان بودن روش و بی‌نیازی از سرمایه‌گذاری کلان.

توجه: روش‌های دیگری به نام ریکه، آتربرگ و روش دستگاهی ففر کورن و نظایر آن وجود دارد که برای اندازه‌گیری پلاستیسیته استفاده می‌گردد.

ب) شکل‌دهی پلاستیک دستگاهی

تا به حال با شیوه‌های شکل دادن پلاستیک دستی محصولات سرامیکی آشنا شده اید. شکل‌دهی پلاستیک دستگاهی سرامیک‌ها، هم‌زمان با رشد تکنولوژی تنوع یافته است. در واقع، ماشین‌آلات به‌منظور افزایش سرعت تولید و هم‌چنین امکان تولید قطعات هم‌اندازه به خدمت گرفته شده‌اند. ضمن این که به موازات افزایش کارآیی دستگاه‌ها نقش استادکار در تولید کاهش یافته است. تا جایی که بعضی از محصولات به صورت کاملاً اتوماتیک شکل داده می‌شوند. به خصوص که در این حالت، تولید محصولات افزایش چشم‌گیری پیدا کرده و قیمت تمام شده به حداقل ممکن رسیده است. دلایل یادشده ایجاب می‌کند از چگونگی تولید با روش‌های دستگاهی شکل دادن، اطلاعات کافی کسب شود. در این قسمت به تفصیل با شیوه‌های متنوع شکل دادن پلاستیک دستگاهی سرامیک‌ها آشنا خواهید شد.

اکستروژن : اکستروژن، روشی مؤثر و کارآمد، در شکل دادن نیمه پیوسته و پیوسته‌ی سرامیک‌ها به‌شمار می‌رود و از تجهیزات نسبتاً ساده‌ای برخوردار است. اکستروژن نوعی روش شکل‌دهی است که در فرآیند تراکم‌سازی[1] (Consolidationg) نیز کاربرد دارد.

بعضی فرآورده‌های پلاستیکی و مواد آلی، شبیه لوله‌های پلیکا و شلنگ‌های لاستیکی نیز، به روش اکستروژن شکل داده می‌شوند. این روش سال‌ها در ساخت بسیاری از محصولات سنتی سرامیک‌ها به‌کار گرفته شده است و اخیراً نیز در تولید سرامیک‌های پیشرفته مانند کاربید سیلیسیم، نیترید سیلیسیم و سرامیک‌های اکسیدی چون آلومینا کاربرد دارد.

همان‌طورکه می‌دانید، این مواد دارای پلاستیسیته‌ی کافی برای شکل‌دهی نیستند ؛ بنابراین، آن‌ها را با چسب‌ها مخلوط می‌کنند. در واقع این مواد، پلاستیسیته‌ی مخلوط را تأمین می‌کنند.

از روش اکستروژن، علاوه بر لوله و استوانه‌ی توپر و نظایر آن، در ساخت صفحات، لایه‌های نازک و قطعات مشبک و لانه‌زنبوری نیز می‌توان استفاده نمود. (شکل ۱۶ــ۱)ضمناً روش اکستروژن، محدودیت‌هایی نیز دارد.

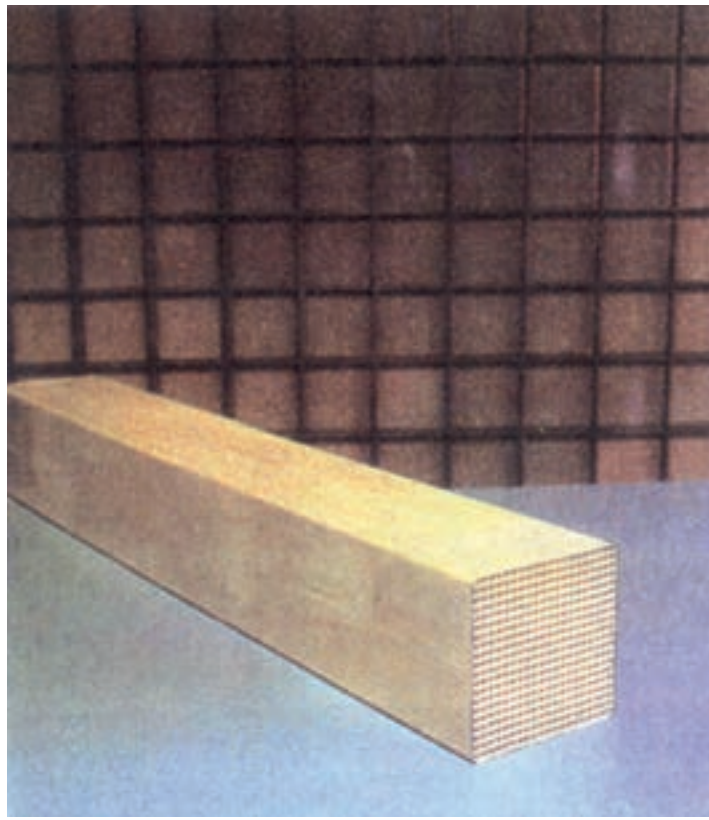
مناسب‌ترین محصولاتی که با این روش ساخته می‌شوند فرآورده‌هایی هستند که اندازه و شکل مقطع یکسان و ثابت در طول داشته باشند. به عبارت دیگر، باید قطر چنین فرآورده‌هایی در محور طول آن ثابت باشد.

بعضی از محصولاتی که به روش اکستروژن شکل داده می‌شوند، عبارت‌اند از :

۱ــ تکه‌های گِل به‌وسیله‌ی اکسترودر به شکل بلوک‌های متراکم و یک پارچه در می‌آیند تا در موارد خاص به‌کار گرفته شوند.

۱ــ لوله و تیوپ،
۲ــ میله یا استوانه‌ی توپر،
۳ــ قطعات مشبک لانه زنبوری،
۴ــ صفحه ، به صورت کاملاً توپر یا توخالی،
۵ــ لایه‌های نازک.

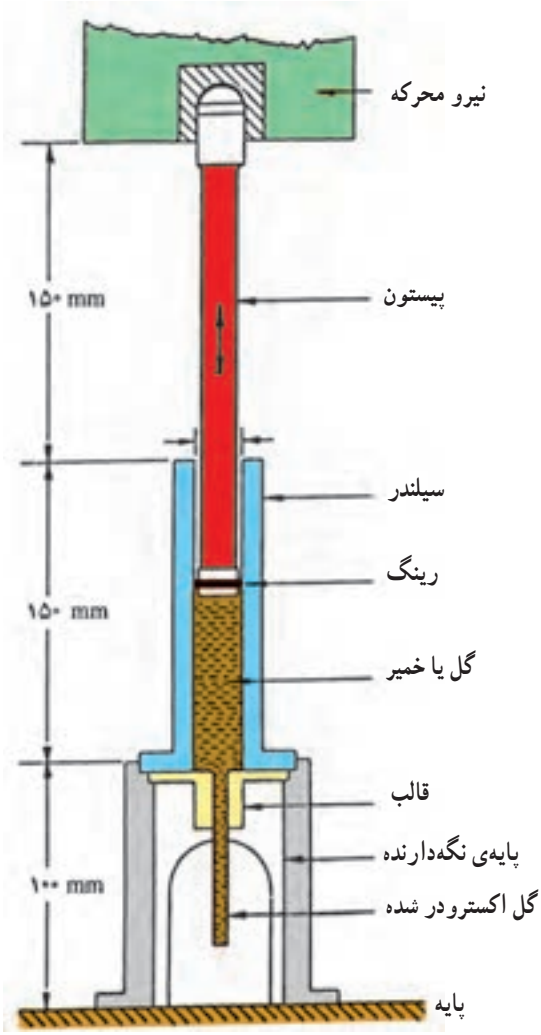
شاید بتوان مواردی از قبیل خشک کردن، خارج کردن مواد آلی، چسب و پخت این محصولات را از جمله نکات منفی این روش به‌شمار آورد. حلّال‌ها، چسب‌ها و افزودنی‌هایی که به منظور بهبود رفتار «آمیز»، در حین فرآیند شکل دادن، به آن اضافه می‌شوند، باید به نوعی در مراحل بعد خارج گردند، زیرا هر یک از آن‌ها ممکن است در ساخت قطعات با این روش، مبنای بسیاری از عیوب شوند.



شکل ۱۶ــ۱ــ یک نمونه از مبدل سرامیکی لانه زنبوری(محصولات نوینی که به روش اکستروژن تولید می‌شود.)

از نظر دستگاهی، سه نوع اکسترودر وجود دارد :

الف) اکسترودر پیستونی یا مرحله‌ای (Batch extruder) :در این نوع، مجموعه‌ای حاوی پیستون و سیلندر وجود دارد که در انتهای آن قالب تعبیه شده است. با فشار پیستون، مخلوط یا گل درون سیلندر فشرده می‌شود و از قالب عبور می‌کند. امتیاز استفاده از این روش، امکان ایجاد فشارهای بسیار زیاد است. فشار پیستون می‌تواند با پمپ‌های هیدرولیک یا سیستم‌های مکانیکی تأمین گردد (شکل ۱۷ــ۱).



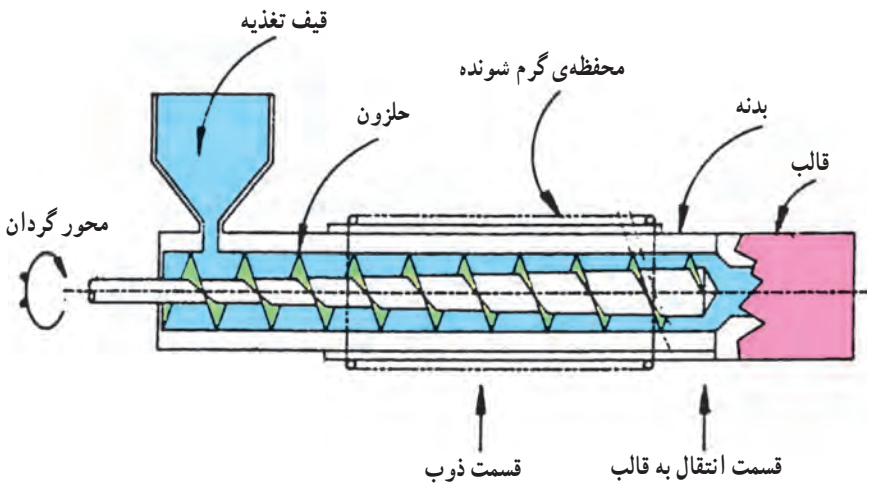
شکل ۱۷ــ۱ــ اکسترودر پیستونی

ترکیب (آمیز) می‌تواند به‌صورت پلاستیک باشد. در صورتی که بخواهند مواد سرامیکی غیرپلاستیک را با این روش شکل دهند، از مواد چسبی استفاده می‌کنند. این مواد در حالت سرد خاصیت پلاستیسیته دارند و با حرارت، حالت خمیری پیدا می‌کنند. در این حالت بعد از گرم کردن سیلندر مواد، مخلوط قابلیت شکل‌پذیری می‌یابد ؛ سپس با عبور از قالب آن را شکل می‌دهند. در این وضعیت سعی می‌شود قالب سرد نگه داشته شود تا محصول بعد از خروج از قالب سرد گردد و شکل خود را حفظ کند. در شکل دادن گل‌های پلاستیک، نیازی به گرم کردن محفظه نیست.

مهم‌ترین نقص اکسترودر پیستونی، نیمه پیوسته بودن تولید است ؛ یعنی، در هر مرحله سیلندر بارگیری می‌شود و پس از اتمام مواد، پیستون به عقب کشیده می‌شود و بارگیری مجدداً انجام می‌گیرد. هرچه دهانه‌ی خروجی نسبت به قطر سیلندر کم‌تر باشد، تعداد دفعات بارگیری کم‌تر می‌شود.

اکسترودرهای پیستونی ممکن است به صورت عمودی یا افقی نیز کار کنند.

ب) اکسترودر حلزونی (Screw extruder) :این دستگاه که منحصراً به اکسترودر معروف شده، حاوی یک یا دو حلزون (به صورت دوقلو) است و عموماً در تولید مواد پلیمری، پلاستیکی (آلی) به‌کار گرفته می‌شود. برای مواد پلیمری، دهانه‌ی ورودی گرم می‌شود ؛ سپس بسته به نوع مواد آن، قالب را گرم یا سرد می‌کنند. چون بعضی از پلیمرها با سرد شدن و برخی دیگر با گرم شدن سخت می‌شوند، لازم است آن‌ها پس از خروج از قالب تا استحکام محصول، قابلیت حفظ شکل موردنظر را داشته باشند (شکل ۱۸ــ۱).



شکل ۱۸ــ ۱ــ اکسترودر حلزونی مخصوص مواد پلیمری (تزریق پلاستیک)

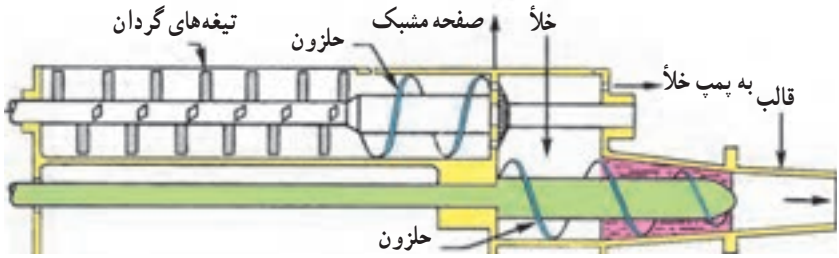
هنگامی که از مخلوط مواد سرامیکی و آلی استفاده شود، مواد پلیمری به‌طور نسبی ذوب می‌گردد و مخلوط حاصل، قابلیت شکل‌پذیری می‌یابد. این حالت مواد، به‌وسیله‌ی حلزون‌ها، مخلوط و به جلو رانده می‌شود و در نهایت، با فشار وارد قالب می‌شود و شکل می‌گیرد.

عموماً ابتدای محور حلزونی به‌صورت ماردون (تیغه‌های چاقویی) است و سپس به صورت حلزون درمی‌آید. در نوع دیگر اکسترودر، دو حلزون به‌صورت دوقلو طوری در کنار هم قرار گرفته‌اند که تیغه‌های یک حلزون از بین تیغه‌های دیگری عبور می‌کند و هر دو در یک محفظه کار می‌کنند.

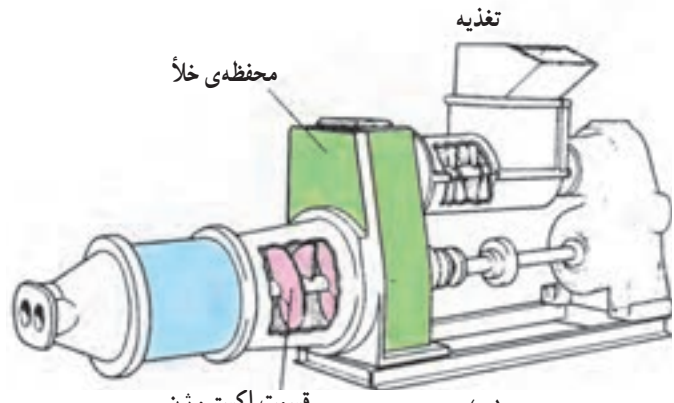
این نوع اکسترودر علاوه براین که در صنایع پلاستیک‌سازی به‌خوبی به‌کار گرفته می‌شود، در ساخت محصولات سرامیکی نیز اهمیت به‌سزایی دارد ؛ به‌ویژه آن که در تولید سرامیک‌های مهندسی از این دستگاه استفاده می‌شود.

ج) پاگمیل : این دستگاه، هم نوعی مخلوط کننده و ورز دهنده است و هم به‌عنوان اکسترودر عمل می‌کند. در صورتی که هم‌زمان عمل هوازدایی را نیز انجام دهد به آن «پاگمیل هوازدا» گویند.

مزیت استفاده از پاگمیل هوازدا این است که عمل مخلوط کردن، هواگیری، متراکم کردن و شکل‌دهی به روش اکستروژن همگی در یک دستگاه انجام می‌پذیرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۹ــ۱ــ دونوع پاگمیل هوازدا (شکل‌های الف و ب)

این دستگاه دارای دو محور حلزونی، مطابق شکل، است. یک حلزون مواد ورودی را به‌قطعات کوچک‌تر برش می‌دهد(پاگینگ). سپس آن را توسط حلزونی فشرده می‌کند و با عبور از صفحه مشبک به‌محفظه‌ی خلأ هدایت می‌نماید. در این محفظه، هواگیری انجام می‌شود، سپس حلزون دیگر گل را فشرده و مخلوط می‌کند تا مواد با عبور از قالب، شکل بگیرند.

عمل هواگیری، باعث می‌شود تا پلاستیسیته‌ی مخلوط، بهبود یابد ؛ هم‌چنین موجب افزایش تراکم و فشردگی محصول می‌شود.

حلزون‌ها و تیغه‌ها عموماً با پوشش‌های مقاوم (در مقابل سایش) پوشیده شده‌اند تا هم فرسایش کم‌تری داشته باشند و هم از وارد شدن ناخالصی‌های فلزی به «آمیز» جلوگیری کنند.

شکل دادن به وسیله‌ی پاگمیل در صنایع سرامیک، به‌ویژه صنعت آجر، به‌طور وسیع رایج شده است و استفاده از این دستگاه، امکان افزایش سرعت‌های تولید بسیار بالا را فراهم ساخته است.

۱ــ شکل دادن و پیش شکل دادن به روش اکستروژن

اکستروژن، روشی برای شکل دادن است، اما در بیش‌تر روش‌های دستگاهی شکل دادن نیز لازم است تا از گل پیش شکل داده شده استفاده شود ؛ بنابراین، در این روش گاه پیش شکل دادن و زمانی شکل دادن، هدف اصلی قرار می‌گیرد.

پیش شکل دادن با اکسترودر: در اکستروژن، گاه پیش شکل دادن موردنظر است و شکل‌دادن نهایی محصول با دیگر روش‌ها انجام می‌شود. تقریباً در تمامی روش‌های شکل دادن لازم است گل، یک دست و همگن گردد و توزیع رطوبت آن یکسان شود. هم‌چنین توده‌ی گل، خالی از حباب و هوا باشد. همگن این کارها با اکسترودر (پاگمیل هوازدا) تأمین می‌شود ؛ برای مثال گل مناسب برای ساخت یک بشقاب یا فنجان بدین شکل عمل می‌شود :

توده‌ی گل وارد پاگمیل می‌گردد و به صورت ستون استوانه‌ای شکل با شرایط مطلوب درمی‌آید. این ستون گل، با سیم‌های نازک بریده شده، به‌صورت دیسک درمی‌آید (پیش شکل دادن) ؛ سپس هر برش (دیسک) گل به دستگاه مربوط هدایت شده به‌صورت بشقاب یا فنجان، شکل داده می‌شود (شکل ۲۰ــ۱).

شکل دادن با اکسترودر: آجرهای ساختمانی، بلوک‌های تیغه‌ای و سقفی (لانه‌زنبوری)، هم‌چنین لوله‌های سرامیکی، با روش اکسترودر شکل داده می‌شوند. در واقع در این‌جا اکسترودر شکل نهایی قطعه را تأمین می‌کند. در ساخت آجر، قالب اکسترودر طوری ساخته می‌شود تا ستون گل خروجی، مکعب مستطیل باشد که پس از خروج آن را به ابعاد مورد نظر بریده، به طرف خشک‌کن می‌فرستند.

شکل ۲۰ــ۱ــ ستون گل خروجی از پاگمیل به اندازه‌ی معین بریده شده و به منظور شکل دادن به قالب هدایت می‌شود.

عمل بریدن، با سیم‌های نازک و عموماً به‌صورت چندتایی انجام می‌شود ؛ برای نمونه، پس از خروج ۸۰ سانتی‌متر گل از دستگاه، یک شبکه‌ی سیم نازک با یک حرکت، آن را به ۱۰ قالب آجر با ضخامت‌های مساوی تقسیم می‌کند. در این روش، سرعت تولید زیاد است، با بعضی از دستگاه‌ها می‌توان ۶ تا ۲۰ هزار قالب آجر را در ساعت تولید کرد.

در صورت تعبیه‌ی قطعات فلزی در داخل قالب، می‌توان آجرهای مشبک و بلوک‌های لانه زنبوری یا لوله‌های توخالی فاضلاب را شکل داد (شکل ۲۱ــ۱).

اگر در داخل قالب خروجی دستگاه، یک استوانه‌ی توپر به‌عنوان هسته تعبیه شده باشد گل فشرده شده راهی جز عبور از میان قالب و هسته‌ی فلزی ندارد. پس استوانه‌ی خروجی به صورت توخالی شکل داده می‌شود (شکل ۲۲ــ۱).

این روش، برای ساخت لوله‌های توخالی مناسب است. بعضی لوله‌های فاضلاب که شکل منحنی دارند، ابتدا به همین روش به صورت مستقیم شکل داده می‌شوند، سپس کارگر آن‌ها را درون یک راهنمای منحنی شکل می‌پیچد تا خشک گردد. در ساخت لوله‌های بلند (حدود ۶ متر) از اکسترودرهای عمودی استفاده می‌شود. با یک نوع اکسترودر می‌توان در هر ساعت ۷۰۰ لوله‌ی کوتاه تولید کرد.

شکل ۲۱ــ۱ــ بلوک‌های مشبک و لانه‌زنبوری در حال شکل یافتن به‌وسیله‌ی پاگمیل

شکل ۲۲ــ۱ــ لوله‌های توخالی که به روش اکستروژن شکل داده شده‌اند.

تنوع محصولات در روش اکستروژن

مهم‌ترین موارد استفاده از اکستروژن، در ساخت انواع آجرهای ساختمانی است، چون سرعت تولید بسیار بالاست ؛ بنابراین، قیمت تمام شده‌ی محصولات پایین می‌آید ؛ برای مثال با ۲۰ هزار قالب در ساعت در ۲۴ ساعت حدود ۵۰۰ هزار قالب آجر تولید می‌شود. گفتنی است که در صنعت آجر، دستگاه‌های شکل‌دهنده دارای موتورهای دیزلی هستند که انرژی لازم دستگاه را تأمین می‌کنند ؛ از این‌رو نیاز به تأسیسات گسترده‌ای برای تولید ندارند.

معمولاً آجرهای بنا و نما با شکل‌های متنوع، هم‌چنین لوله‌ها و بلوک‌های توپر و توخالی، به روش اکستروژن تولید می‌شوند.

اعمال خلأ و مزایای آن

ایجاد خلأ در اکستروژن، باعث حذف حباب‌های ریز هوا و تهیه‌ی توده‌ی گل یک‌نواخت می‌شود ؛ بنابراین، پیوستگی گل در تمام نقاط آن برقرار می‌گردد و خاصیت پلاستیسیته‌ی آن بهبود می‌یابد ؛ بنابراین قطعه‌ی تولید شده هم از تراکم بیش‌تری با خلأ بیش‌تر و هم از تراکم افزون‌تر و پلاستیسیته‌ی بهتر برخوردار خواهد شد ؛ به‌ویژه هنگامی که اکستروژن با هدف پیش شکل دادن مطرح باشد و شکل دادن به‌وسیله‌ی دستگاه‌های دیگر انجام شود، پلاستیسیته‌ی مناسب، شکل دادن را آسان می‌کند و امکان بروز عیوب را کاهش می‌دهد.

تهیه و آماده‌سازی گل

گل مورد نیاز برای اکستروژن (تغذیه)، باید پیش‌تر آماده شده باشد. آماده‌سازی به دو روش انجام می‌شود :

الف ــ تهیه‌ی گل به کمک مخلوط‌کن : در این روش، خاک به همراه مقدار مشخصی آب درون یک مخلوط‌کن ریخته می‌شود ؛ سپس با یک‌دیگر مخلوط می‌گردد تا گل موردنظر به دست آید. این گل فاقد یک‌دستی است، اما چون سرعت تهیه‌ی آن زیاد است، در ساخت آجر و محصولاتی که ارزش اقتصادی کم‌تری دارند، از این روش استفاده می‌شود.

ب ــ تهیه‌ی گل به‌وسیله‌ی فیلتر پرس: خاک با مقدار زیادی آب به صورت دوغاب درمی‌آید. به این دوغاب می‌توان مواد افزودنی لازم اضافه نمود و با هم‌زدن کافی آن را به‌صورت کاملاً «همگن» درآورد ؛ سپس دوغاب حاصل شده به دستگاه فیلتر پرس هدایت می‌شود تا آب آن

گرفته شود. توده‌های گل آب‌گیری شده که کیک نام دارد (شکل۲۴ــ۱)، از بین صفحات فیلتر پرس خارج می‌شود. این کیک‌ها از نظر ترکیب و رطوبت، همگن هستند و به‌وسیله‌ی اکسترودر یا پاگمیل کاملاً ورز داده می‌شوند تا برای مراحل بعدی آماده گردند (شکل ۲۵ــ۱).

شکل ۲۳ــ۱ــ مخلوط‌کن گل

شکل ۲۴ــ۱ــ فیلتر پرس در حال تخلیه (به کیک‌های خارج شده از دستگاه دقت کنید)

شکل ۲۵ــ۱ــ کیک‌های به‌دست آمده از فیلتر پرس به وسیله‌ی کارگر وارد پاگمیل می‌شوند.

ذخیره‌سازی و انبار کردن استوانه‌ها

هنگامی که اکستروژن، یک روش پیش شکل دادن باشد، استوانه‌های توپری که تولید می‌شوند باید در مراحل بعدی شکل داده شوند. بدین منظور، این ستون‌های گل را در محیط مرطوب انبار می‌کنند تا در آن‌ها شیب رطوبتی ایجاد نشود ؛ یعنی درصد رطوبت درون و سطح گل یکسان باقی بماند. هم‌چنین اگر رطوبت گل برای شکل دادن کافی نباشد، بخار آب لازم به انبارها داده می‌شود تا رطوبت موردنظر به دست آید.

عیوب اکستروژن و راه‌های برطرف کردن آن‌ها

محصولاتی که با روش اکستروژن تولید می‌شوند، ممکن است دارای عیب باشند. میزان غیریک‌نواختی در این قطعات اندک است، اما عواملی چون مقدار مواد پلاستیک در «بچ[1]»، اندازه‌ی ذرات، درصد رطوبت گل، میزان خلأ اعمال شده، قدرت دستگاه و نوع و شکل قالب اگر صحیح انتخاب نشوند، منشأ معایب مختلفی در قطعه خواهند شد.

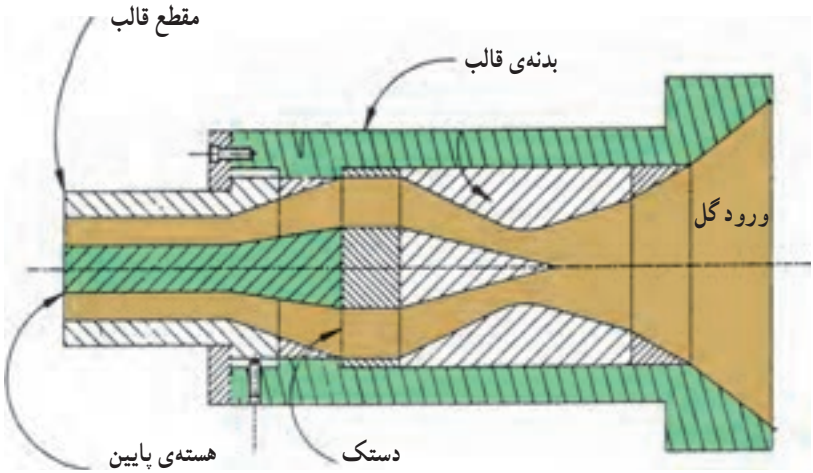
ـ تَرَک S شکل

این تَرَک، از متداول‌ترین عیوب روش اکستروژن به‌شمار می‌رود و در درون قطعات توپر مشاهده می‌شود ؛ برای مثال هنگامی که ستون‌های گل تولید می‌شوند، این تَرَک‌ها در ناحیه‌ی میانی مقطع آن‌ها به‌وجود می‌آیند.

تَرَک S شکل، چگونه به‌وجود می‌آید؟ می‌دانید که اندازه‌ی قطر مارپیچ یا حلزون به سمت قالب خروجی به تدریج کم می‌شود. در ناحیه‌ای که حلزون به انتها می‌رسد گل‌های فشرده‌ی اطراف باید جای خالی آن را پر کنند ؛ بنابراین، گل فشرده شده برای پرکردن جای خالی حلزون از اطراف به سمت مرکز هدایت می‌شود و در ناحیه‌ی میانی به یک‌دیگر وصل می‌شوند. در صورتی که خواص گل آماده شده،دارای خواص مطلوب نشود پیوستگی مناسب در محل اتصال، یعنی در مرکز ستون گل، به‌وجود نمی‌آید. در نتیجه گل این ناحیه هنگام خشک شدن به‌صورت ترک S شکل ظاهر می‌شود. البته روش‌های مختلفی جهت رفع این عیب ارائه شده است. به عنوان مثال هرچه پلاستیسیته‌ی گل بیش‌تر شود، این عیب کم‌تر بروز می‌کند و یا حوزه‌ی پدید آمده تَرَک‌پذیر محدودتر می‌گردد.

۱ـ بَچ (Batch) مقدار ماده‌ای است که برای یک مرحله‌ی شکل داده، آماده شده و ترکیب «آمیز» موردنظر را داراست.

راه دیگر کاهش یا حل این مشکل، افزودن طول قالب است. هرچه طول قالب بیش‌تر باشد، فشردگی ستون گل زیادتر می‌شود و در محل اتصال (در مرکز ستون گل) پیوستگی بیش‌تر می‌گردد.



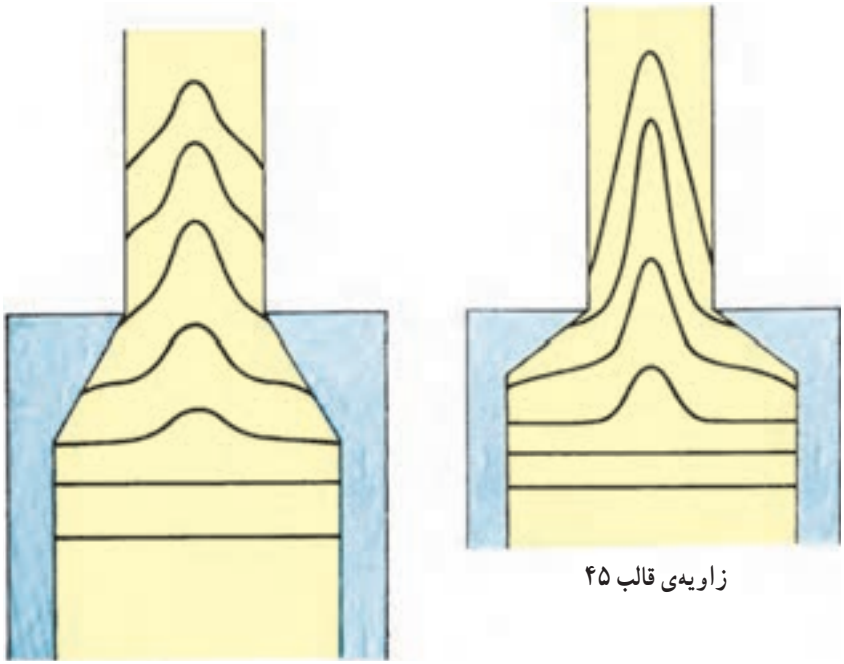
شکل ۲۶ــ۱ــ مقطع قالب اکستروژن

انتخاب صحیح طول و قطر حلزون، شیب پره‌ها (تیغه‌ها)، سرعت خروج گل، قدرت دستگاه و... عوامل دیگری هستند که در رفع این عیب، تأثیر می‌گذارند.

ــ لایه‌لایه شدن (Lamination)

از عمده مشکلات دیگر اکستروژن، عیب لایه‌لایه شدن است. با تغذیه‌ی گل‌های رنگی به دستگاه، می‌توان چگونگی جریان گل درون قالب را مشاهده کرد.

به دلیل اصطکاک گل با جداره‌ی قالب، سرعت جریان مواد در ناحیه‌ی میانی بیش‌تر از کناره‌هاست. حالت لایه‌لایه شدن، گاه در مقطع ستون گل و زمانی در طول یا بر روی دیواره‌ی ستون مشاهده می‌شود.



شکل ۲۷ــ ۱ــ اختلاف سرعت نواحی میانی و جانبی ستون گل هنگام خروج از اکسترودر

ــ **لایه‌لایه شدن در مقطع گل :** هنگامی که گل در قالب قرار می‌گیرد، تحت فشار است. با خروج ستون گل از قالب، این فشار آزاد می‌شود و در آن یک حالت بازگشت فنری مشاهده می‌کنیم ؛یعنی، اندازه‌ی قطر ستون گل بعد از خروج از قالب بیش‌تر می‌شود. کمبود پلاستیسیته‌ی گل، لایه‌لایه شدن را تشدید می‌کند. درصد آب مخلوط، فشار دستگاه و ... نیز بر روی حالت لایه‌لایه شدن تأثیر می‌گذارد.

شکل ۲۸ــ ۱ــ لایه‌لایه شدن در مقطع گل

از طرف دیگر، اگر آمیز موردنظر، در حین خشک شدن انقباض زیادی داشته باشد، این حالت تشدید می‌شود. در این وضعیت کاهش سرعت خشک شدن می‌تواند از بروز این عیب جلوگیری کند.

ــ لایه‌لایه شدن در امتداد طول ستون گل (روی سطح جداره) :اگر فشار اکستروژن زیاد باشد و قالب به‌خوبی روان‌کاری نشده باشد، به هنگام خروج ستون گل، لبه‌های آن بریده بریده می‌شود. کم کردن فشار و استفاده از مواد روغن‌کاری در سطح مشترک گل و قالب، این مشکل را برطرف می‌کند. اگر سطح قالب به‌وسیله‌ی آب‌کاری به‌صورت کاملاً صیقلی درآید، این عیب کم‌تر ظاهر می‌شود.

شکل ۲۹ــ۱

ــ تَرَک شمعدانی (ستاره‌ای)

گاه ممکن است ذرات غیرپلاستیک درشت (شاموت)، که انقباض آن هنگام خشک شدن آن‌ها کم است ؛داخل مواد پلاستیک شود از این‌رو هنگام خشک شدن پیرامون این ذرات تنش ایجاد می‌شود و در نتیجه باعث بروز تَرَک ستاره‌ای می‌گردد.

شکل ۳۰ــ۱ــ تَرَک ستاره‌ای

در شکل‌دادن پلاستیک توسط اکستروژن عیوب دیگری نیز ممکن است به وجود آمده به منظور کنترل عیوب وکاهش ضایعات در ساخت محصولات می‌توان نکاتی را در آماده‌سازی و حتی حین شکل‌دادن رعایت کرد. به طورکلی با دقت در موارد زیر می‌توان امکان بروز عیوب را در این روش کاهش داد.

۱ــ کنترل پلاستیسیته‌ی آمیز،

۲ــ تنظیم سرعت خروج گل،

۳ــ کنترل اندازه‌ی ذرات،

۴ــ انتخاب درصد رطوبت مناسب،
۵ــ انتخاب طول و نوع مناسب قالب،
۶ــ پرداخت سطح داخلی قالب و آب‌کاری آن،
۷ــ گرم کردن سطح قالب،
۸ــ روان‌کاری در سطح قالب.

انتخاب وکنترل موارد فوق در بهبود تولید سرامیک‌ها به روش اکستروژن و ارتباط زیادی به دانش و تجربه فرد و هم‌چنین نوع مواد اولیه و ماشین آلات آن دارد. تغییر هر یک از این موارد می‌تواند به بروز تغییرات گسترده‌ای منجر گردد. مثلاً با افزودن رطوبت گل به میزان یک درصد ممکن است بسیاری از عیوب قالب را خود به خود برطرف ساخت یا با انتخاب روش صحیح روان‌کاری میزان تولید را افزایش داد. در انتهای این بحث باید گفت کار کردن به روش اکستروژن آسان نیست، اما به دلیل داشتن سرعت تولید بالا، از نظر اقتصادی ارزش سرمایه‌گذاری آن زیاد است ؛ بنابراین،استفاده از روش حاضر، به‌دقت و تجربه‌ی کافی نیازمند است تا بتوان با شناخت صحیح عیوب و کشف راه‌حل‌های مناسب، بر مشکلات آن چیره شد.

۲ــ شکل دادن با دستگاه جیگر (Jiggering)

شکل دادن به‌وسیله‌ی دستگاه‌های جیگر و جولی، در واقع روش تکامل یافته‌ی چرخ‌کاری به‌حساب می‌آید. تفاوت عمده‌ای که بین آن‌ها وجود دارد این است که در روش جیگر و جولی، نقش نیروی ماهر کاهش می‌یابد.

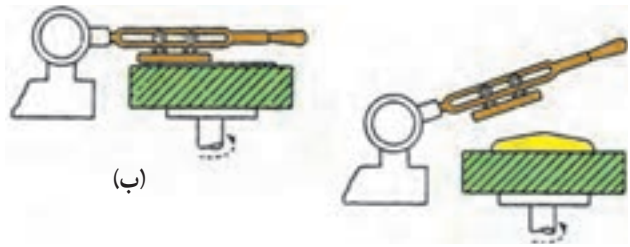
بشقاب، دیس و ظروف تخت به‌وسیله‌ی دستگاه جیگر و فنجان، کاسه و ظروف گود با جولی شکل داده می‌شوند. روش ساخت بشقاب به‌وسیله‌ی جیگر را می‌توان چنین بیان کرد :

در مرحله‌ی اول،مقدار مورد نیاز دستگاه تأمین می‌شود. از ستون گل خروجی اکسترودر گل‌ها به‌صورت برش (دیسک Disk) تهیه می‌شود. قطر این برش‌ها معمولاً کم‌تر از قطر نهایی قطعه‌ای است که باید تولید شود، اما ضخامت آن طوری درنظر گرفته می‌شود تا مقدار گل لازم برای کار تأمین گردد.

مرحله‌ی دوم «پهن کردن»[۱] نام دارد که در واقع نوعی پیش شکل دادن است. برش گل بر روی یک قالب، زیر دستگاه «گل پهن‌کن» قرار می‌گیرد.

۱ــ Batting

در نتیجه‌ی این کار، شعاع برش گل زیاد می‌شود ؛ تا حدی که از اندازه‌ی محصول نهایی، اندکی نیز بزرگ‌تر می‌گردد. واضح است که این کار، باعث کاهش ضخامت برش گل می‌شود (شکل ۳۱ــ۱).



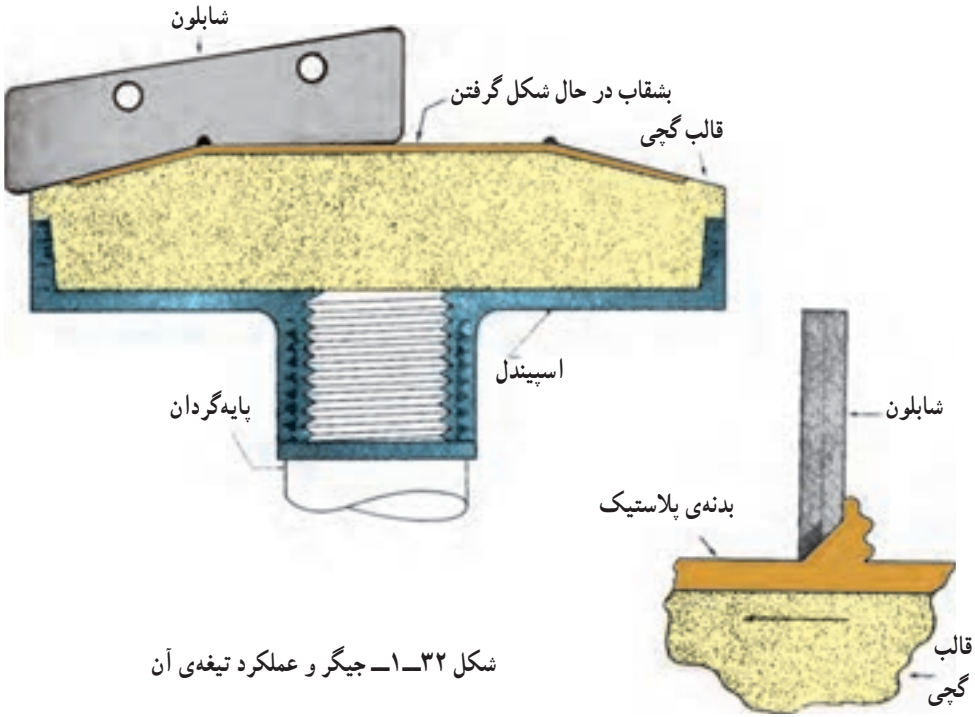
شکل ۳۱ــ۱ــ دستگاه گل پهن کن

یک قالب گچی تخت را ،که برش گل در مرکز آن قرار داده می‌شود ؛ در نظر بگیرید. این قالب، در حالی که دَوَران می‌کند، یک تیغه‌ی فلزی نیز برای پهن کردن گل بر روی آن فشار وارد می‌نماید. هرچه فشار بیش‌تر شود، گل، پهن‌تر می‌شود و قطر آن زیادتر می‌گردد. بعد از رسیدن به ابعاد دل‌خواه، برش گل پهن شده به‌وسیله‌ی دستگاه جیگر آماده‌ی شکل دادن می‌شود.

قالب گچی در جیگر، عبارت است از قالبی که دارای یک سطح محدب باشد. این سطح محدب قالب، می‌تواند داخل یک بشقاب را شکل بدهد. برش پهن شده‌ی گل در مرکز این قالب قرار داده می‌شود. قالب گچی خود بر روی یک پایه‌ی فلزی قرار می‌گیرد که به آن «اسپیندل»[۱] گفته می‌شود.

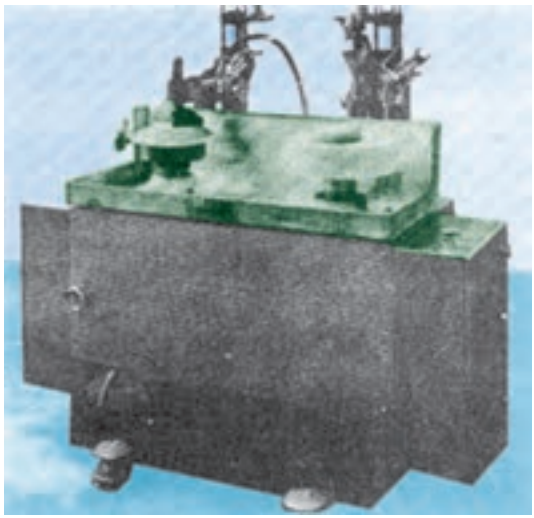
قالب گچی،پس از قرارگرفتن از روی اسپیندل، با روشن شدن دستگاه جیگر، شروع به دَوَران می‌کند. شکل پذیری نهایی بشقاب یا ظروف تخت در این مرحله انجام می‌گیرد و در حالی که قالب می‌چرخد، کارگر با دسته‌ای که دارای یک شابلون (تیغه‌ی شکل‌دهنده) است،روی گل را می‌فشارد. در حقیقت، شابلون پشت بشقاب را شکل می‌دهد و هم‌زمان داخل بشقاب به‌وسیله‌ی قالب گچی شکل می‌گیرد.

۱ــ Spindle



شکل ۳۲ــ۱ــ جیگر و عملکرد تیغه‌ی آن

شابلون، طوری طراحی شده است که جهت فشار، از مرکز گل به‌طرف لبه‌ی بشقاب باشد ؛ یعنی، ابتدا تماس در مرکز بشقاب آغاز می‌شود و به تدریج به سمت لبه پیش می‌رود. با این کار مقادیر گل اضافی از کناره‌ها خارج می‌شود.



شکل ۳۳ــ۱ــ دستگاه جیگر نیمه اتوماتیک

در پایان، گل‌های زیادی با یک ابزار تیز به‌راحتی بریده می‌شود.

در هر مرحله می‌توان از پاشیدن آب برای کاهش اصطکاک و شکل‌پذیری بهتر، استفاده کرد.

قسمت‌های مختلف دستگاه جیگر عبارت‌اند از :

۱ــ گل پهن‌کن،

۲ــ دسته‌ای که شابلون بر روی آن نصب می‌شود و شکل دادن را انجام می‌دهد،

۳ــ قالب گچی،

۴ــ اسپیندل،

۵ــ پایه گردان که به وسیله‌ی موتور به حرکت درمی‌آید.

۳ــ شکل دادن با دستگاه جولی (Jolleying)

این روش برای تولید قطعات گود، مثل فنجان و کاسه طراحی شده است. روش استفاده از جیگر و جولی شبیه یک‌دیگرند ؛ با این تفاوت که در جیگر، داخل قطعه به‌وسیله‌ی قالب گچی و بیرون آن (پشت بشقاب) به وسیله‌ی تیغه یا شابلون ساخته می‌شود، اما در جولی عکس این حالت وجود دارد ؛ یعنی، قالب گچی بیرون و قسمت خارجی فنجان و تیغه‌ی فلزی، سطح داخل آن را شکل می‌دهد.

در این روش نیز به برش گل نیاز است. با دستگاه‌های پهن کن مخصوص، شکل ابتدایی این برش‌ها مشخص می‌گردد، اما بهترین روش پیش‌نهادی، استفاده از چرخ‌کاری برای پیش شکل دادن است. در ادامه‌ی کار آن را درون قالب می‌گذارند و آن را با شابلون فلزی شکل می‌دهند.

شکل ۳۴ــ۱ــ دستگاه جولی نیمه اتوماتیک

هنگامی که آخرین مراحل شکل دادن به وسیله‌ی دستگاه‌های جیگر و جولی پایان یافت، قالب گچی همراه با قطعه‌ی شکل داده شده، به خشک‌کن منتقل می‌شوند تا در اولین مرحله، قطعه از قالب جدا شود ؛ سپس قطعه را برای خشک شدن به طرف دستگاه خشک کن مربوط انتقال می‌دهند. با توجه به حضور قالب گچی لازم است تا دمای خشک‌کن در این مرحله بیش‌تر از $45^{\circ}C$ نگردد. درصد رطوبت گل در ابتدا حدود ۲۰ درصد است که حین خشک کردن ــ زمانی که این مقدار به حدود ۱۰ الی ۱۲ درصد برسد ــ قطعه به‌راحتی از قالب گچی جدا می‌گردد و قالب پس از خشک شدن، مجدداً در مسیر تولید به‌کار گرفته می‌شود.

با بعضی از انواع دستگاه‌های جولی، می‌توان قطعات توخالی بزرگی به قطر یک متر نیز ساخت.

دستگاه‌های جیگر و جولی، که به‌وسیله‌ی کارگر کنترل می‌شود، به صورت غیرخودکار عمل می‌کنند. این نوع دستگاه‌ها در مقیاس صنعتی کاربرد زیادی ندارند و صرفاً در کارگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه دستگاه‌های جیگر و جولی نیمه‌خودکار نیز طراحی کرده و ساخته‌اند، اما دستگاه‌های تمام اتوماتیکی نیز به نام‌گردان یا رولر ــ که سرعت تولید بسیار بالایی دارند ــ در صنعت به‌کار گرفته می‌شوند (شکل‌های ۳۳ــ۱ و ۳۴ــ۱).

شابلون‌های جیگر و جولی از فولاد نسبتاً سخت ساخته می‌شوند تا در مقابل سایش مقاوم باشند. هم‌چنین این شابلون‌ها از کاربیدها، به‌خصوص کاربید تنگستن و آلومینای زینتر شده نیز تهیه می‌شوند.

یادآور می‌شود در روش شکل‌دهی با جیگروجولی هر قالب گچی حدود ۲۰۰ سیکل تولید را طی می‌کند و درصد آب لازم برای ساخت قالب گچی حدود ۳۰ درصد است.

۴ــ شکل دادن با دستگاه‌های گَردان (رولر)

دستگاه رولر، شکل تکامل یافته‌ی دستگاه‌های جیگر و جولی است و با یک‌دیگر تفاوت‌هایی نیز دارند. پیش‌تر گفته شد که مرحله‌ی نهایی شکل دادن در روش جیگر و جولی، به‌کارگیری تیغه‌های فلزی است. این کار در رولر به‌کمک یک حجم دوار، به نام بمب (bomb)،انجام می‌گیرد.

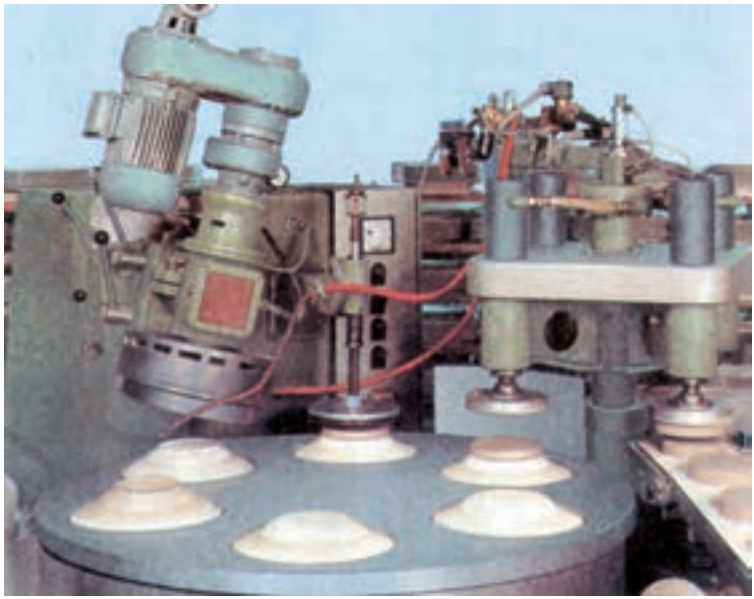
یک برش گل در مرکز قالب گچی قرار داده می‌شود. آن‌گاه هم‌زمان سر رولر و اسپیندل توسط موتورهای جداگانه‌ای به حرکت درمی‌آیند. ضمن این که سرعت رولر کم‌تر از سرعت اسپیندل است و در واقع این اختلاف سرعت موجب می‌شود تا قطعه شکل بگیرد (شکل۳۵ــ۱).

شکل ۳۵ــ۱ــ شکل دادن به‌وسیله‌ی رولر

امتیاز اصلی دستگاه رولر نسبت به جیگر و جولی این است که در رولر، عمل پهن کردن و شکل دادن در یک مرحله و هم‌زمان به‌وسیله‌ی سر دستگاه صورت می‌گیرد. غالباً سر دستگاه رولر را گرم نگه می‌دارند. این عمل باعث بخار شدن بخشی از آب سطحی گل می‌شود و از چسبیدن گل به سر دستگاه جلوگیری می‌کند. دمای سر دستگاه حدود ۸۰ تا ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

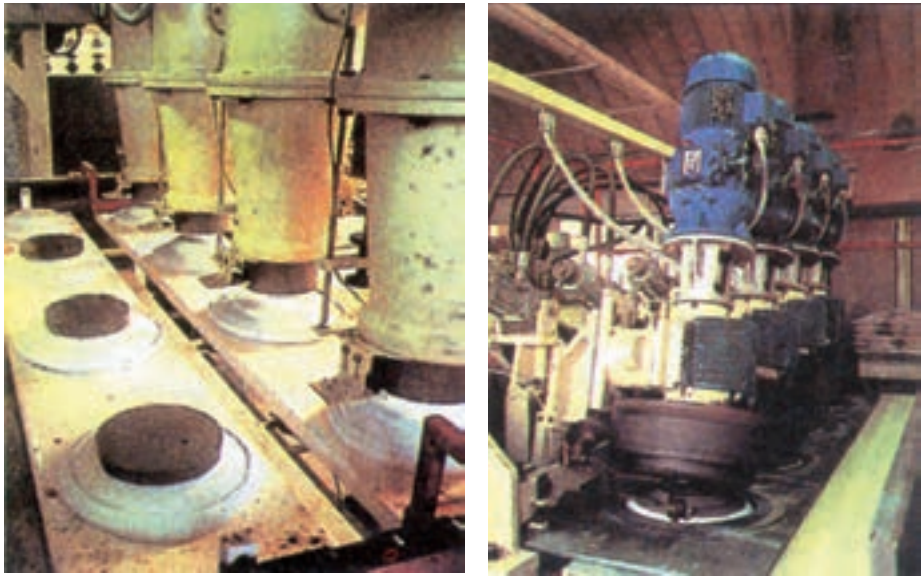
شکل دادن بشقاب و دیس به کمک رولر: در سی سال اخیر، به تدریج جیگر جای خود را به رولر داده است. در ابتدا رولر به منظور تولید ظروف گود طراحی شده بود، اما امروزه بهترین روش برای تولید ظروف تخت تلقی می‌شود.

قالب گچی را روی دستگاه رولر می‌گذارند و برای نگاه داشتن آن بر روی پایه‌ی دستگاه از خلأ استفاده می‌کنند. در حقیقت با مکش هوا قالب را نگه می‌دارند.



شکل ۳۶ــ۱ــ رولر تمام اتوماتیک بشقاب

چون قالب گچی متخلخل است، مکش ایجاد شده، گل را نیز بر روی سطح قالب گچی نگه می‌دارد. در این روش نیازی به پهن کردن نیست. در واقع پهن کردن و شکل دادن نهایی هم‌زمان انجام می‌شود.



شکل ۳۷ــ۱ــ دستگاه‌های رولر با چند سر برای شکل دادن

برش گل بر روی قالب گچی قرار می‌گیرد و به هنگام چرخش، سردستگاه پایین می‌آید. سرعت چرخش سر دستگاه می‌تواند بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه باشد.* پس از پایان مرحله‌ی شکل دادن، قالب از چرخش باز می‌ایستد و همراه با قطعه به سوی دستگاه خشک کن منتقل می‌شود.

شکل دادن با دستگاه‌های گردان، دارای مزیت‌های زیادی است. شاید مهم‌ترین آن‌ها ادغام دو مرحله‌ی پهن کردن و شکل دادن باشد و امتیاز دیگر، شکل دادن به محصولاتی است که سطوحی بسیار صاف و صیقلی دارند.

در مورد شیوه‌ی کار دستگاه‌های رولر، باید گفت که عموماً سر دستگاه که در حال چرخش است، پایین می‌آید و بر روی گل فشار وارد می‌کند. این عمل، در نهایت به دَوَران قالب گچی نیز منجر می‌شود. انواع دیگری از دستگاه‌های رولر را ساخته‌اند که سردستگاه آن‌ها ثابت است و این قالب گچی است که به سمت بالا حرکت می‌کند و گل را زیر فشار سر دستگاه قرار می‌دهد و باعث چرخش خود قالب نیز می‌گردد تا قطعه شکل بگیرد.

به هرحال، در بعضی از دستگاه‌ها، نیروی محرکه برای چرخش به سردستگاه و در بعضی به پایه‌ی نگهدارنده‌ی قالب گچی متصل است و بعضی هم به هنگام اتصال با گل به چرخش درمی‌آیند. در نوع سوم رولر، هم سر و هم پایه با سرعت نزدیک به یک‌دیگر به چرخش درمی‌آیند و دیسک گل بین آن دو شکل می‌گیرد.

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، در همه‌ی حالات، اصول کار ثابت است و طراحی‌های صنعتی با هدف افزایش کارآیی دستگاه انجام می‌گیرد و در آینده نیز ممکن است شاهد تغییرات جدیدی در ساخت این دستگاه‌ها باشیم. مهم‌ترین مزایای روش رولر عبارت‌اند از :

۱ــ بی‌نیازی از نیروی انسانی زیاد و امکان استفاده از نیروی نیمه ماهر و غیرماهر،

۲ــ استفاده از گل با رطوبت کم‌تر،

۳ــ سرعت تولید و بازده کاری بیش‌تر.

مهم‌ترین محدودیت این روش آن است که نمی‌تواند قطعات غیرمدور و پیچیده را شکل بدهد و فقط محصولاتی که مدور باشند به این روش شکل داده می‌شوند.

از دیگر ظروف تخت، دیس را می‌توان نام برد. دیس را نیز به‌وسیله‌ی رولر می‌توان شکل داد ؛ هرچند که شکل آن مدور نباشد. در یک روش خاص، «برش» گل بر روی سطح قالب گچی قرار داده می‌شود. قالب گچی در این حالت دیس را شکل می‌دهد ؛ پس سردستگاه با دَوَرانِ حول خود، هم‌چنین چرخش در مسیر بیضوی، گل را به سطح قالب می‌فشارد. این حرکت دوگانه می‌تواند یک

---

* سرعت دوران اسپیندل ۱۷۰ تا ۵۰۰ دور در دقیقه است.

دیس بیضوی را شکل دهد. در روش دیگر، سر دستگاه فقط به دور محور خود می‌چرخد و حرکت خارج از مرکز به‌وسیله‌ی پایه و قالب انجام می‌شود.

شکل دادن به فنجان و ظروف گود با دستگاه رولر: چنان که گفته شد دستگاه‌های گردان، ابتدا به منظور تولید فنجان و کاسه طراحی شده بودند، زیرا در ساخت این نوع محصولات به روش دستگاه جولی، مشکلات زیادی وجود داشته است.

سطح خارجی فنجان و کاسه در این روش با قالب گچی در تماس است و در نتیجه به صورت گود و یک تکه ساخته می‌شود. توده‌ی گل به‌صورت گلوله در می‌آید و وارد قالب می‌گردد ؛ سپس سردستگاه وارد قالب گچی می‌شود و فنجان یا کاسه را شکل می‌دهد. با انتقال قالب‌ها به سمت «خشک کن» و هم‌زمان با از دست دادن رطوبت، قطعه‌ی منقبض شده به راحتی از قالب جدا می‌شود (شکل ۳۸ــ۱).

شکل ۳۸ــ۱ــ شکل دادن به فنجان با دستگاه رولر

در این روش می‌توان از دستگاه‌های تمام اتوماتیک (شکل ۳۶ــ۱)، نیز که توانایی شکل دادن به حدود ۲۰ فنجان را در دقیقه دارند استفاده کرد. گفتنی است که در این روش، فقط به بدنه‌ی فنجان شکل داده می‌شود ؛ سپس دسته‌ی آن که از روش ریخته‌گری دوغابی یا روش دیگر ساخته شده است، به آن متصل می‌شود.

۵ــ شکل دادن با ماشین‌های تمام اتوماتیک

به‌طور کلی در صنعت،برای بهره‌وری بیش‌تر در تولید، هم‌چنین کاهش نقش نیروی انسانی، سعی می‌شود از دستگاه‌های خودکار استفاده شود. این دستگاه‌ها همراه با افزایش سرعت تولید و ارتقای کیفیت محصولات، هزینه‌ی تولید را نیز کاهش می‌دهند. انواع نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک دستگاه‌های جولی، که در تولید توانایی‌های متفاوتی دارند ساخته شده است. کارگر ماهر با دستگاه جیگر حدود ۱۰۰ قطعه در ساعت تولید می‌کند اما در یک دستگاه جیگر نیمه‌اتوماتیک این تعداد به حدود ۱۵۰ عدد افزایش می‌یابد.

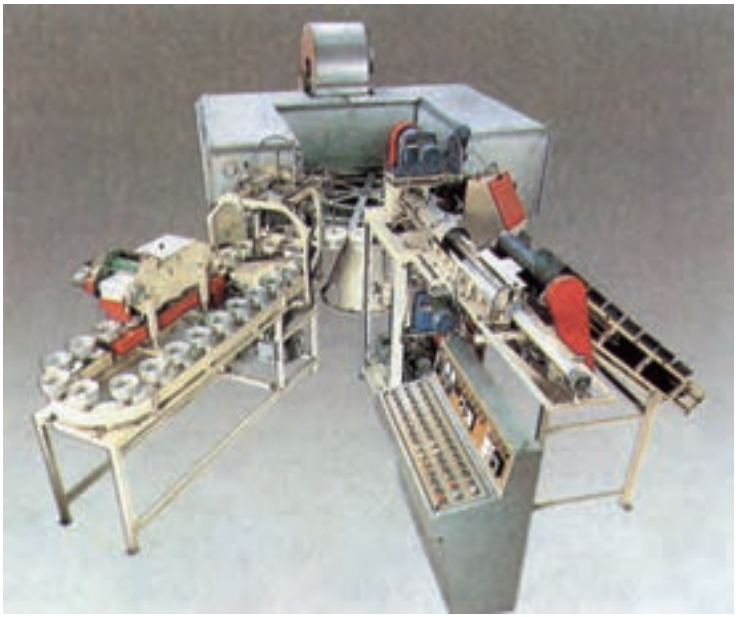
بعضی از انواع جیگرهای نیمه‌اتوماتیک، دارای یک میزگردان هستند و بر روی آن‌ها، سه، چهار یا تعداد بیش‌تری پایه، برای قرار گرفتن قالب، وجود دارد و برای شکل‌دادن به قطعه بالای هر پایه یک شابلون قرار داده شده است. برداشتن و گذاشتن قالب در این دستگاه به‌وسیله‌ی کارگر انجام می‌شود. چنین دستگاهی با ۸ سر می‌تواند تا حدود ۱۴۰۰ قطعه را شکل دهد ؛ یعنی هر سر حدود ۱۸۰ قطعه در ساعت تولید می‌کند.

یک دستگاه جیگر با یک میزگردان، حاوی ۶ پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی قالب است و عمل شکل دادن را فقط با یک سر انجام می‌دهد. هم‌زمان با چرخش میز، سردستگاه به سرعت پایین و بالا می‌رود. در این حالت، توانایی تولید دستگاه با یک سر به ۶۰۰ قطعه در ساعت می‌رسد و در مقایسه با یک دستگاه رولر با یک سر، این دستگاه بدون دخالت کارگر در هر ساعت ۶۰۰ قطعه تولید می‌کند. دستگاه‌های رولر تمام اتوماتیک با میزهای گردان و چند سر، برای شکل دادن، قابلیت‌های تولید بسیار بالایی دارند، به‌طوری که یک نوع آن‌ها حدود ۲۰ فنجان را در یک دقیقه شکل می‌دهد.

در انتها باید گفت که میزان دور ریز گل در روش رولر، کم‌تر از روش‌های جیگر و جولی است. یعنی در روش رولر، حداکثر ۲۵ درصد گل به‌صورت ضایعات خارج می‌شود و ۷۵ درصد آن، صرف ساخت محصول می‌گردد. ضمن این‌که این ضایعات می‌توانند دوباره در مسیر تولید به کار گرفته شوند.

درصد آب در حین شکل دادن

مقدار آب مورد مصرف، بستگی به نوع مواد اولیه و شیوه‌ی شکل دادن دارد. هرگاه ترکیب «آمیز» ثابت باشد و از مواد اولیه‌ی یکسانی استفاده شود، مصرف آب، با توجه به روش‌های مختلف شکل دادن، متفاوت خواهد بود.



شکل ۳۹ــ ۱ــ رولر تمام اتوماتیک فنجان

به‌طورکلی در روش‌های شکل دادن پلاستیک، مقدار آب بین ۱۸ تا ۲۲ درصد بوده است بیش‌ترین مقادیر آب مربوط به روش‌های دستی و چرخ‌کاری است. در روش جیگر و جولی مقدار آب کم‌تر است و دستگاه‌های رولر مصرف آب را به حداقل رسانده‌اند. درخور توجه است که هنگام شکل دادن به قطعه، هر چه مقدار رطوبت کم‌تر باشد، انقباض آن در خشک شدن کم‌تر و تغییر ابعاد آن نیز محدودتر می‌شود. ضمن آن که زمان خشک کردن نیز کاهش می‌یابد.

قالب: در روش‌های دستگاهی، جنس قالب از گچ است.اما انتخاب نوع گچ و نسبت گچ به آب، به‌طور مستقیم به روش شکل دادن بستگی دارد.گفته شد که درصد آب لازم برای قالب‌های جیگر و جولی، حدود ۳۰ درصد است، اما در رولر، چون استحکام قالب گچی باید بیش‌تر باشد، مقدار آب را اندکی کم‌تر از ۳۰ درصد انتخاب می‌کنند. در حالت‌های خاص برای افزایش استحکام قالب‌ها، به‌ویژه در ساخت قطعات بزرگ و پیچیده‌تر ؛ مانند مقره‌ها، می‌توان با استفاده از مفتول فلزی قالب‌ها را مسلح کرد.

قالب‌های مورد استفاده یک تکه ساخته می‌شوند. در ساخت قالب‌های گچی، تلاش مستمری وجود دارد تا بتوان با استفاده از مواد اولیه و برخوردار از خلوص و کیفیت بالا، عمر قالب‌ها را افزایش داد.

۶ــ شکل دادن به روش تراش (خراطی)

آیا تا به حال دستگاه‌های تراش فلزات را دیده‌اید؟ تراش‌کاری، روشی مهم در شکل دادن به فلزات است. این روش در ساختن بعضی از قطعات چوبی نیز به کارگرفته می‌شود و به آن «خرّاطی» می‌گویند. تکه‌ای چوب یا فلز بر روی دستگاه تراش نصب می‌گردد و هم‌زمان با چرخش به‌وسیله‌ی تیغه‌های ویژه، شکل نهایی قطعه‌ی تراشیده شده، به‌دست می‌آید. از این روش در صنعت سرامیک نیز استفاده می‌شود.

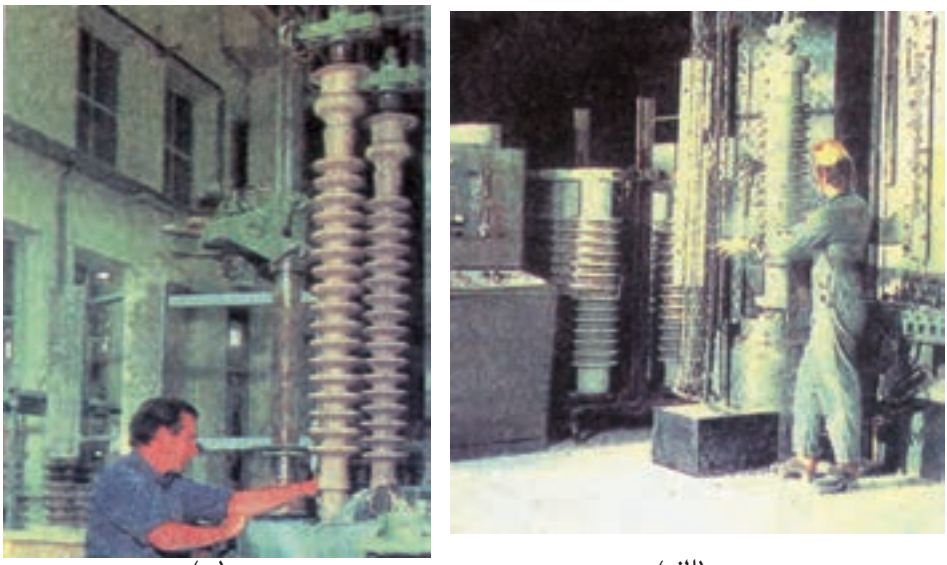
در بیش‌تر روش‌های شکل دادن پلاستیک در مرحله‌ی پرداخت، که محصول دارای استحکام نسبی است، این روش به کار گرفته می‌شود. اما با روش تراش، تنها می‌توان قطعات خاصی را شکل داد. شکل دادن با روش تراش (خراطی) به محصولات سرامیکی نیز در دو مرحله انجام می‌گیرد :

شکل ۴۰ــ۱ــ تعدادی از محصولاتی که به روش تراش شکل داده می‌شوند.

در مرحله‌ی نخست، یک ستون گل به‌وسیله‌ی اکسترودر پیش شکل داده می‌شود ؛ سپس استوانه‌های گل به‌صورت عمودی یا افقی به دَوَران درمی‌آیند و با تیغه‌هایی تراش داده می‌شوند. این کار به صورت دستی، به‌گونه‌ی خودکار یا با دستگاه انجام می‌گیرد.

بیش‌ترین کاربرد این روش، در ساخت مقره‌های فشار قوی صنعت برق است. ستون گل به‌وسیله‌ی یک شابلون به شکل مقره شکل داده می‌شود (شکل ۴۱ــ۱).

شکل دادن به روش تراش، در حالت‌های خاص به کمک استوانه‌هایی عملی می‌شود که قبلاً به‌صورت نیمه‌خشک یا خشک درآمده باشند و یا حتی پخت بیسکویت را پشت سر گذارده باشند. در این صورت، استوانه‌ی بیسکویت شده بر روی دستگاه قرار می‌گیرد و به‌وسیله‌ی ابزار و شابلون‌های تراش به شکل مطلوب درمی‌آید. بدیهی است که در این حالت جنس شابلون‌ها باید سخت‌تر باشد. به‌همین جهت آن‌ها را از جنس کاربید تنگستن و آلومینای زینتر شده می‌سازند (شکل ۴۲ــ۱).



(ب) (الف)

شکل ۴۱ــ۱ــ مقره‌ها در حال شکل‌گیری به روش تراش (خراطی)

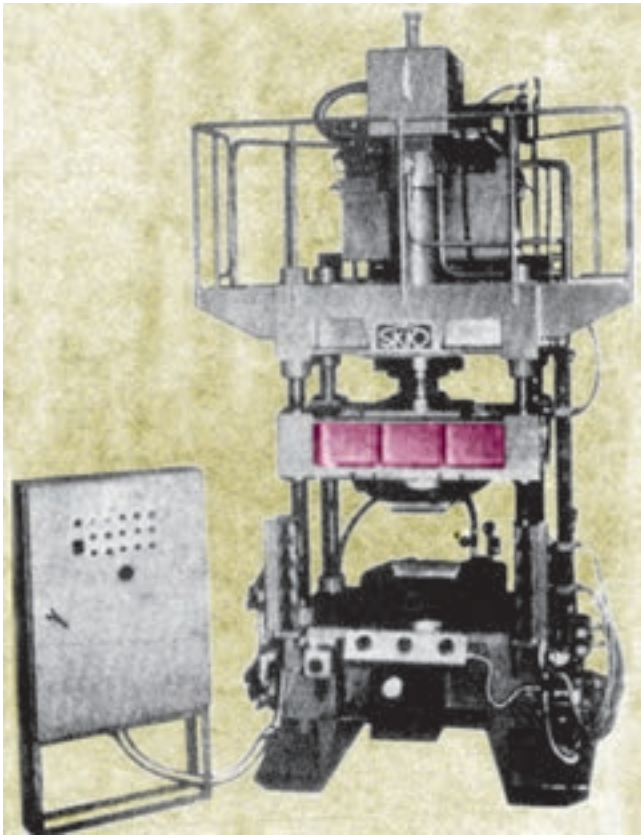
۷ــ پرس پلاستیک

در این روش،به یک توده‌ی گل پلاستیک ، با تحت فشار قرارگرفتن آن بین یک قالب دوتکه، شکل داده می‌شود. «قالب» عموماً از جنس گچ ساخته می‌شود. گرچه از قالب‌های فلزی نیز در این روش استفاده می‌گردد.

در این روش، گل را درون قالب می‌گذارند تا پرس شود. در صورت استفاده از برش گلِ حاصل شده از اکسترودر، می‌توان ابتدا آن‌ها را پهن کرد و سپس در قالب اصلی شکل داد. این عمل، به‌خصوص برای قطعات پیچیده‌تر توصیه می‌گردد زیرا بروز عیوب را در این قطعات کاهش می‌دهد.

شکل ۴۲ــ۱ــ مقره‌های بسیار بزرگ نیز به روش تراش تولید می‌شوند.

در این روش، به محصولاتی نیز، که دارای مقاطع دایره‌ای نیستند، شکل داده می‌شود. سفال‌های مواج برای پوشش سقف، بعضی از ساگارها[1] و حتی بسیاری از بوته‌های بزرگ نیز با این روش تولید می‌شوند.



شکل ۴۳ــ۱ــ دستگاه پرس پلاستیک

به‌طورکلی باید گفت که پرس پلاستیک روشی سریع و ارزان به‌حساب می‌آید و برای تولید انبوه قطعاتی که تقارن دایره‌ای ندارند و در عین حال شکل نسبتاً ساده‌ای دارند، بسیار مناسب است.

در صورت استفاده از قالب‌های گچی، با آغشته کردن قالب با محلول سود سوزآور، استحکام آن را افزایش می‌دهند.

۱ــ به قطعاتی که محصولات را برای پخت روی آن‌ها قرار می‌دهند و به کوره فرستاده می‌شوند «ساگار» می‌گویند.

عیوب روش‌های شکل دادن پلاستیک دستگاهی و شیوه‌های برطرف کردن آن‌ها

در هر یک از روش‌های شکل دادن، معایبی متناسب با وضعیت تولید آن روش‌ها بروز می‌کند. در این‌جا به چند عیب، که به نوعی در همه‌ی این روش‌ها مشترک‌اند، اشاره می‌شود :

گسیختگی: هنگامی که برش گل،به صورت پهن شکل داده می‌شود به دلیل پلاستیسیته‌ی کم، توانایی تغییر شکل پلاستیک کاهش می‌یابد و گل پاره یا گسیخته می‌شود.

این پدیده اغلب در تولید چینی استخوانی[1] که درصد مواد پلاستیک آن کم است، مشاهده می‌شود. اگر در این حالت نتوان آمیز را تغییر داد با پاشیدن آب (اسپری) در مراحل مختلف کار می‌توان از بروز این عیب جلوگیری کرد. هم‌چنین در این وضعیت و در روش جیگر، باید تیغه‌ی فلزی را کم‌کم بر روی گل فشار داد. یا در رولر، سردستگاه و در روش تراش، شابلون باید به آهستگی به گل نزدیک شود تا شکل‌دهی صورت گیرد.

افزایش پلاستیسیته‌ی گل، پاشیدن به موقع آب، تنظیم سرعت دستگاه و دقت در مرحله‌ی شکل دادن، عواملی هستند که این معایب را برطرف می‌کنند یا امکان بروز آن را کاهش می‌دهند.

جهت‌دار شدن ذرات رُسی: از مهم‌ترین عیوبی که در شکل دادن پلاستیک دستگاهی می‌توان نام برد جهت‌دار شدن ذرات است. بروز این عیب در اغلب روش‌ها مشترک است. همان‌گونه که می‌دانید، ذرات رس، شکل ورقه‌ای (صفحه‌ای) و لایه‌ای دارند ؛ از این رو ممکن است این لایه‌ها هنگام شکل دادن با یک‌دیگر هم‌جهت شوند و به صورت موازی روی هم قرار گیرند، در نتیجه مشکلاتی در کار ایجاد می‌کنند، زیرا هنگامی که ذرات هم‌جهت شوند، درمرحله‌ی خشک کردن انقباض جهت عمود بر لایه‌ها ــ به علت خروج آب بین لایه‌ها ــ از جهات دیگر بیش‌تر می‌شود و همین سبب بروز انقباض غیریک‌نواخت می‌گردد ؛ یعنی، محصول در یک جهت میل بیش‌تری به انقباض دارد. در این حالت، ممکن است کاسه یا بشقاب تاب بردارد و در حالات شدیدتر، ترک بخورد.

(ب) (الف)

شکل ۴۴ــ۱ــ جهت‌دار شدن ذرات رُسی

۱ــ چینی استخوانی (Bone china) نوعی چینی است که قسمت اعظم مواد اولیه‌ی آن را استخوان تشکیل می‌دهد.

شدت بروز این عیب در هر روش تفاوت می‌کند و به چندین عامل بستگی دارد. پلاستیسیته، درصد رطوبت، هواگیری مناسب هنگام ساخت استوانه‌ها در مرحله‌ی پیش شکل دادن، چگونگی پهن کردن گل و سرعت دَوَران دستگاه، از عواملی هستند که در برطرف کردن این معایب مؤثرند و با بررسی دقیق می‌توان تأثیر هر یک را شناخت و برای برطرف کردن آن عیوب به موقع وارد عمل شد.

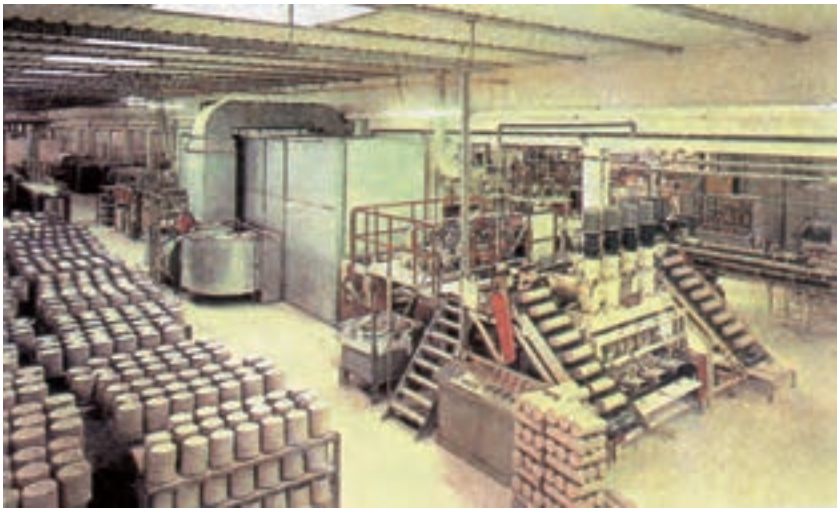
بهترین روش تولید محصولات متقارن

امید است با روش‌های شکل دادن پلاستیک دستگاهی، به‌خوبی آشنا شده باشید. حال باید پرسید که بهترین روش تولید هر محصول کدام است؟ با توجه به مطالب قبلی، بهترین روش تولید بشقاب، فنجان و کاسه استفاده از دستگاه‌های گردان یا رولر است.

زیرا اولاً تولید آن‌ها عموماً یک مرحله‌ای است و کم‌تر به پهن کردن گل نیازمندند ؛ ثانیاً سطح محصولات صاف و صیقلی‌تر است ؛ ثالثاً سرعت تولید این روش، نسبت به جیگر و جولی بالاتر است.

در ساخت مقره‌های ستونی بزرگ، روش تراش متداول‌ترین و مطلوب‌ترین روش تولید به‌شمار می‌رود. مقره‌های بشقابی کماکان به روش رولر تولید می‌شوند.

هم‌چنین از روش تراش در ساخت محصولات پیچیده‌تر و خاص می‌توان استفاده کرد. در انتها ذکر این نکته لازم است که تقریباً همه‌ی قطعاتی که به روش‌های دستگاهی تولید می‌شوند، دارای شکل متقارن هستند و تنها در پرس پلاستیک امکان ساخت محصولاتی غیر متقارن وجود دارد. از طرف



شکل ۴۵ــ۱ــ بخش شکل دادن پلاستیک دستگاهی یک کارخانه‌ی چینی مظروف

دیگر، بعضی از محصولات ذکر شده در این بخش، با دیگر روش‌ها نیز تولید می‌شوند ؛ برای مثال شکل دادن دیس بیش‌تر به روش ریخته‌گری دوغابی انجام می‌شود و یا روش‌های نوینی برای شکل دادن به بشقاب تعریف شده که به تدریج جای روش‌های قبلی را گرفته‌اند.

پرسش‌های فصل اوّل

۱ــ شکل‌دهی پلاستیک سرامیک‌ها را طبقه‌بندی نمایید.
۲ــ چرا روش دست و قالب هنوز هم متداول است؟
۳ــ مراحل شکل دادن با چرخ کوزه‌گری را شرح دهید.
۴ــ پلاستیسیته چیست؟
۵ــ انواع اکسترودرها را نام ببرید.
۶ــ نحوه‌ی کار پاگمیل را توضیح دهید.
۷ــ دو نقش اکستروژن در شکل دادن سرامیک‌ها را بیان کنید.
۸ــ چه محصولاتی با اکستروژن تولید می‌شود؟
۹ــ دستگاه اکسترودر چگونه کار آماده‌سازی گل را انجام می‌دهد؟
۱۰ــ عیوب اکستروژن را نام ببرید.
۱۱ــ تَرَک S شکل چیست؟ چگونه به‌وجود می‌آید؟ راه برطرف کردن آن را بنویسید.
۱۲ــ روش جیگر را کاملاً شرح دهید.
۱۳ــ چه تفاوتی بین روش جیگر و جولی وجود دارد؟
۱۴ــ مراحل ساخت بشقاب به‌وسیله‌ی جیگر را شرح دهید.
۱۵ــ شکل دادن به‌وسیله‌ی رولر چگونه انجام می‌شود؟
۱۶ــ مزایای رولر در مقایسه با جیگر و جولی چیست؟
۱۷ــ روش تراش چیست و چه محصولاتی را به این روش شکل می‌دهند.
۱۸ــ نحوه‌ی کار پرس پلاستیک را توضیح دهید.
۱۹ــ جهت‌دار شدن ذرات رسی چیست؟
۲۰ــ بهترین روش تولید خشت، فنجان، مقره، بشقاب وگلدان چیست؟

فصل دوم

شکل‌دادن به روش ریخته‌گری دوغابی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد و انواع آن را تقسیم‌بندی کند.

۲ــ محصولاتی را که به روش ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌شوند نام ببرد.

۳ــ روان‌سازی و اهمیت آن را بنویسد و چند روان‌ساز معروف را نام ببرد.

۴ــ ویژگی دوغاب روانسازی شده را بیان کند.

۵ــ روش اندازه‌گیری ویسکوزیته را شرح دهد.

۶ــ فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب را نام ببرد.

۷ــ نحوه‌ی تشکیل جداره در قالب گچی را توضیح دهد.

۸ــ معایب روش ریخته‌گری دوغابی و راه برطرف‌کردن آن‌ها را بیان کند.

۹ــ کاربرد گچ قالبسازی را شرح دهد.

۱۰ــ کاربردهای مختلف روش ریخته‌گری دوغابی را بیان کند.

۱۱ــ کاربرد روش ریخته گری دوغابی را در سرامیک های نوین بیان کند.

۱۲ــ مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد.

مقدمه

شکل دادن قطعات سرامیکی به روش ریخته‌گری دوغابی از حدود ۲ قرن پیش آغاز شده است. در این روش مخلوط مواد اولیه به‌صورت دوغاب آماده می‌شود ؛ سپس دوغاب حاصل‌شده، درون یک قالب متخلخل که عموماً از جنس گچ است، ریخته می‌شود. در نتیجه، آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب جذب می‌شود و جداره‌ی نازکی از گل بر روی آن ایجاد می‌گردد. با گذشت زمان، این جداره ضخیم‌تر می‌شود و سپس دوغاب اضافی تخلیه می‌گردد.

قالب و جداره‌ی ساخته شده مدتی به حال خود گذاشته می‌شوند تا به تدریج آب بیش‌تری از جداره جذب قالب گچی شود. به‌موازات، درصد رطوبت قطعه نیز کاهش می‌یابد و استحکام آن بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین با از دست دادن آب، جداره‌ی تشکیل‌شده‌ی درون قالب (محصول) انقباض می‌یابد و به راحتی از قالب جدا می‌شود. در این حال، قطعه را از قالب جدا می‌کنند و به خشک‌کن می‌فرستند.

در اواسط قرن هجدهم میلادی از کربنات سدیم (سودا) که مقدار کمی از آن باعث روان شدن دوغاب می‌شد استفاده می‌کردند. بعدها امکان تهیه‌ی دوغابی با مقدار آب کم‌تر نیز میسر گردید.

در واقع بدون استفاده از این ماده (کربنات سدیم) برای تهیه‌ی دوغاب روان به ۴۰ تا ۶۰ درصد بر مبنای تر آب نیاز بود ؛ حال آن که مقادیر کم کربنات سدیم درصد آب لازم را به ۳۰ تا ۳۵ درصد کاهش می‌داد. این عمل «روان‌سازی» نام دارد ؛ یعنی، می‌توان با درصد کمی از مواد روان ساز و بدون مصرف آب زیاد، دوغابی روان تهیه کرد.

در فرآیند ریخته‌گری دوغاب، تهیه‌ی دوغابی با درصد آب کم و خواص جریانی مناسب، بسیار اهمیت دارد. این روش در ساخت محصولات سرامیکی ؛ مانند : چینی، بدل چینی، چینی استخوانی، دیرگداز و ... به‌کار گرفته می‌شود. هم‌چنین در تولید سرامیک‌های نوین و مهندسی، به‌خصوص ریخته‌گری مواد غیررسی، برای ساخت بدنه‌های اکسیدی (زیرکونیا، آلومینا، منیزیا و...) و غیراکسیدی (سیلیکون کارباید و ...) اهمیت به‌سزایی یافته است.

مزیت مهم دیگر در کاربرد گسترده‌ی ریخته‌گری دوغابی، امکان تولید محصولاتی با شکل‌های پیچیده‌است ؛ یعنی با تهیه‌ی قالب‌های چند تکه[1] می‌توان قطعاتی با شکل‌های خاص را به سادگی تولید کرد. این روش به‌خصوص در ساخت قطعات گود و توخالی، که آن‌ها را به روش پرس و شکل دادن پلاستیک نمی‌توان تولید کرد، کاربرد یافته است.

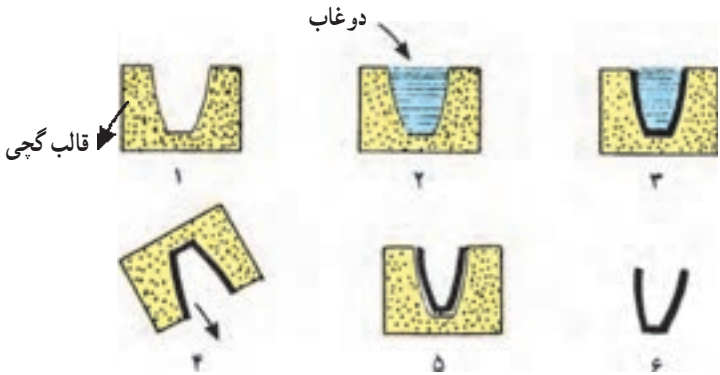
اصلی‌ترین ضعف این روش، زمان‌بر بودن فرآیند است ؛ برای مثال در پرس و یا روش‌های پلاستیک دستگاهی تا ۲۰ قطعه را در دقیقه می‌توان شکل داد ؛ در حالی که در ریخته‌گری دوغابی، بسته به ضخامت محصول، از چند دقیقه تا چند ساعت برای شکل دادن یک محصول وقت نیاز است. گرچه متخصصان با افزایش تعداد قالب‌ها تا حدودی این عیب را برطرف کرده‌اند.

انواع ریخته‌گری دوغابی

شکل دادن ریخته‌گری دوغابی به دو بخش تقسیم می‌شود :

۱ــ بعضی قالب‌ها از ۳۰ تکه هم ساخته شده‌اند.

الف) ریخته‌گری توخالی(Hollow casting) :در این روش، دوغاب را در قالب گچی می‌ریزند و برای تشکیل جداره، به آن زمان کافی می‌دهند. در این صورت بعد از جذب آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب، ضخامت لایه به حد مطلوب می‌رسد و مازاد دوغاب تخلیه می‌گردد. بنابراین، قطعه حاصل‌شده از این روش به‌صورت توخالی شکل داده می‌شود. به همین دلیل گاهی به این روش ریخته‌گری تخلیه‌ای (Drian casting) نیز گفته می‌شود (شکل ۱ــ۲).

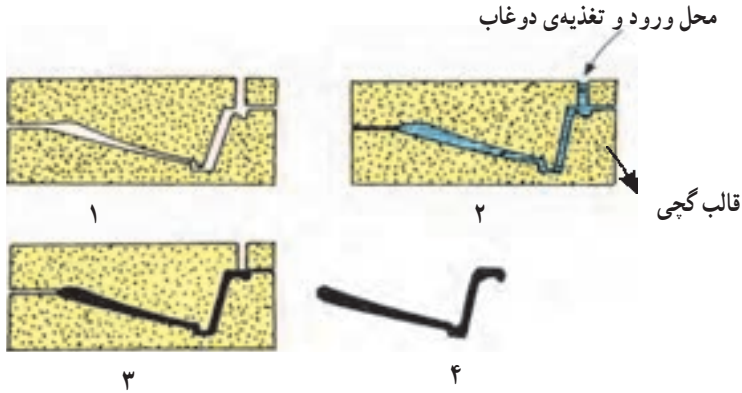


شکل ۱ــ۲ــ مراحل ریخته‌گری دوغابی توخالی

گلدان، قندان، پارچ و قوری از محصولاتی هستند که به این روش شکل داده می‌شوند. پرکردن و تخلیه‌ی قالب ممکن است به‌صورت دستی یا با دستگاه‌های تمام اتوماتیک انجام شود.

شکل ۲ــ۲ــ پرکردن قالب‌ها به‌صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد.

ب) ریخته‌گری دوغابی توپر (Solid casting): شاید بتوان گفت شکل دادن به روش ریخته‌گری، در ابتدا صرفاً به منظور تولید قطعات توخالی ابداع گردیده اما بعدها در ساخت محصولات توپر نیز به‌کار رفته است. همان‌طور که درشکل ۳ــ۲ می‌بینید، در این روش تمامی دوغاب مصرف می‌شود.



شکل ۳ــ۲ــ مراحل ریخته‌گری دوغابی توپر

به عبارت دیگر،دوغاب برگشتی وجود ندارد. قطعه‌ای که با ریخته‌گری توپر شکل داده می‌شود، هرچه بزرگ‌تر باشد، به تغذیه‌ی بیش‌تری نیاز دارد، زیرا با جذب آب به‌وسیله‌ی قالب، حجم دوغاب کاهش می‌یابد. به همین منظور، قیف یا محفظه‌ای را برای تغذیه در بالای قالب قرار می‌دهند. اگر تغذیه با حجم کافی انجام نگیرد، سطح دوغاب در داخل قالب کاهش می‌یابد و شکل مورد نظر تأمین نمی‌شود.

تذکر این نکته لازم است که هم‌زمان با افزایش ضخامت محصول، زمان ریخته‌گری نیز زیاد می‌شود : مثلاً برای شکل دادن به قوری‌ای که به روش ریخته‌گریِ توخالی تهیه می‌شود و ضخامت جداره‌ی آن ۲ تا ۳ میلی‌متر است، به ۱۵تا ۲۵ دقیقه وقت نیاز است. حال آن که در چینی بهداشتی، که بعضی از قسمت‌های آن به روش ریخته‌گری توپر تولید می‌شود، زمان لازم برای ایجاد بدنه‌ای به ضخامت ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر، حدود ۱/۵ تا ۲ ساعت است.

می‌توان گفت، زمان ریخته‌گری توپر عموماً طولانی می‌شود، زیرا ضخامت محصول آن زیاد است. نکته‌ی دیگر این‌که در چینی بهداشتی دو دیواره‌ی گچی خواهیم داشت که حدود ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر از یک‌دیگر فاصله دارند. با شروع ریخته‌گری، جداره‌ها از هر دو طرف تشکیل می‌شوند.با این توضیح که هرچه ضخامت این دو جداره زیادتر می‌شود، فضای بین آن‌ها کم‌تر می‌گردد تا جایی که این دوجداره در قسمت میانی به یک‌دیگر وصل می‌شوند.

از جمله مواردی که به این روش شکل داده می‌شوند بعضی از دیرگدازهاست. امّا آن‌چه در

این مورد اهمیت یافته تهیه‌ی دوغاب با روش پرس و شکل دادن پلاستیک است. زیرا یک‌نواختی بیش‌تری را ایجاد می‌کند. با این روش مواد اولیه را به‌صورت دوغاب تهیه می‌کنند و سپس با کاهش مقدار آب، آن‌ها را به صورت گل یا پودر درمی‌آورند.

مروری بر روان‌سازی

همیشه آماده‌سازی دوغاب مناسب، از ترکیب رُسی، آسان نیست. چون اولاً نوع رس‌ها با یک‌دیگر تفاوت دارند ؛ ثانیاً هنگامی که در مجاورت با مواد مختلف قرار می‌گیرند، واکنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند. ازطرف دیگر انتخاب مقادیر مختلف آب، واکنش جریانی دوغاب را شدیداً تغییر می‌دهد. در عین حال دوغاب آماده باید دارای خواص مناسبی باشد تا بتوان محصولی خوب با خواص مطلوب تولید کرد. باید اضافه کرد شرایط مطلوب برای دسترسی به دوغاب مناسب ریخته‌گری، از طریق تجربه و آزمایش به‌دست می‌آید.

گفته شد که تمامی تلاش‌ها باید در تدارک دوغابی با خواص مناسب باشد. روان‌سازها به کمک آمده‌اند تا بتوان دوغابی با درصد آب کم‌تر تهیه کرد. مقدار آب دوغاب، در وضعیت ثابت و در ابتدا، به نوع و مقدار ماده‌ی جامد بستگی دارد ؛ برای مثال دوغاب‌هایی را مقایسه کنید که یکی حاوی مواد رسی و دیگری دارای مواد غیررسی باشد. طبیعی است که در وضعیت یکسان درصد آب لازم برای این دو با یک‌دیگر متفاوت است. دوغاب رسی برای روان شدن، به آب بیش‌تری نیازمند است.

کربنات سدیم و سیلیکات سدیم از جمله روان‌سازهای معدنی (غیرآلی) متداول‌اند که در صنعت، کاربرد زیادی دارند. از روان‌سازهای دیگر می‌توان تری‌پلی‌فسفات سدیم را نام برد.

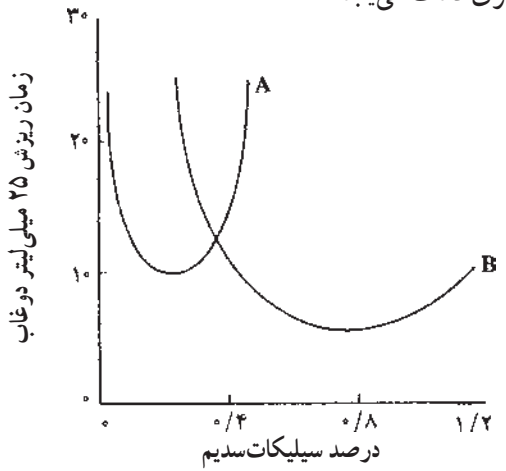
روان‌سازهای آلی مانند پلی‌وینیل آمین، اتیلن‌آمین و پلی‌آکریلات سدیم، نیز برهمین اساس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عامل مهم در آمیز رُسی، حضور ذرات کلوئیدی[1] رس است که با مواد شیمیایی افزوده شده واکنش می‌کنند. در واقع سیال بودن دوغاب به دافعه‌ی بین این ذرات بستگی دارد و کم‌ترین ویسکوزیته (بیش‌ترین سیال بودن) را با شناخت میزان و نوع ذرات کلوئیدی می‌توان ایجاد کرد.

ذرات رس در آب باردار هستند اگر بین ذرات نیروی جاذبه وجود داشته باشد ذرات به هم متصل شده و سیالیت دوغاب کاهش می‌یابد. با افزودن روانسازها به دوغاب، بین ذرات رس نیروی دافعه پدید می‌آید که باعث افزایش سیالیت دوغاب (کاهش ویسکوزیته) می‌شود.

۱ــ **تعریف کلوئید:** یک سیستم کلوئیدی به‌صورت یک فاز دیسپرز (پخش‌شده) که حداقل یک بعد آن دارای اندازه بین ۱ نانو تا ۱ میلی‌متر در یک سیستم مایع باشد. مثلاً سیستم ذرات کلوئیدی رس در سیستم آب.

به نمودار ۴ــ۲ توجه کنید. منحنی A مربوط به دوغابی با ۷/۵ درصد رس بوده و دوغاب B دارای ۱۵ درصد رس است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، دوغابی که مقدار رس آن بیش‌تر است، می‌تواند به ویسکوزیته‌ی کم‌تری (سیال بودن بیش‌تری) دست یابد. گرچه به مقدار روان‌ساز بیش‌تری نیازمند است ؛ یعنی کم‌ترین ویسکوزیته یا بیش‌ترین سیال بودن برای دوغاب A با حدود ۰/۳۵٪ روان‌ساز و در مورد دوغاب B با ۰/۸٪ روان‌ساز ایجاد می‌شود، اما دوغاب B بهتر روان می‌گردد ؛ یعنی به ویسکوزیته‌ی کم‌تری دست می‌یابد.



نمودار ۴ــ۲ــ منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) دو نوع رس برحسب مقدار سیلیکات‌سدیم

روان‌سازهای غیرآلی دیگری مانند آلومینات سدیم به‌کار گرفته شده‌اند، اما این روان‌سازها، دو عیب مشخص دارند که کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند :

نخست این که باعث ورود قلیایی‌ها به دوغاب می‌شوند و می‌دانید که قلیایی‌ها نقطه‌ی ذوب سیستم را کاهش می‌دهند و دیگر آن که بعضی نمک‌ها، به‌خصوص نمک‌های سدیمی در مجاورت قالب گچی، تشکیل سولفات سدیم می‌دهند که در آب محلول هستند. در نتیجه موجب تجزیه‌ی قالب گچی می‌شوند و عمر آن‌ها را کاهش می‌دهند.

در مصرف روان‌سازهای آلی، این عیوب مشاهده نمی‌شود. به‌خصوص این که روان‌سازهای آلی هنگام خشک شدن و پختن از بدن خارج می‌شوند و هیچ خاکستری از خود به‌جای نمی‌گذارند. به هر حال، باید اذعان کرد که روان‌سازهای آلی ضمن این‌که گران‌اند هنگام مصرف بوی نامطبوعی ایجاد می‌کنند.

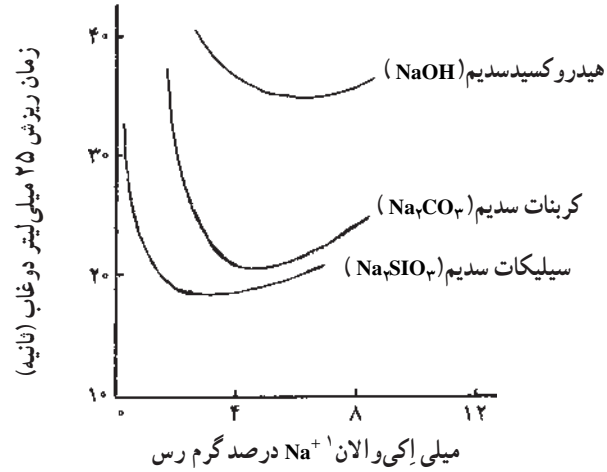
امروزه در صنایع سرامیک از روان‌سازهای آلی استفاده می‌شود. در نمودار ۵ــ۲ اثر افزودن

روان‌سازهای مختلف بر روی سیال بودن دوغاب نشان داده شده است.

همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود با افزودن هر نوع روان‌ساز ویسکوزیته به‌تدریج کاهش می‌یابد ؛ یعنی دوغاب سیال‌تر می‌گردد. اما اگر درصد روان‌ساز، مصرف شده از حد معینی بیش‌تر شود مجدداً ویسکوزیته زیاد می‌شود ؛ یعنی، با کاربرد بیش از حد روان‌ساز، مجدداً سیال بودن دوغاب کاهش می‌یابد.

معمولاً مقدار روان‌سازی که به دوغاب، برحسب وزن خاک خشک، اضافه می‌شود، حدود ۰/۲ تا ۰/۵ درصد است.

سیلیکات سدیم در نمودار ۵ــ۲ بیش‌ترین اثر را بر سیالیت دارد ؛ یعنی با استفاده از سیلیکات‌سدیم می‌توان به ویسکوزیته‌ی کم‌تری دست یافت.



نمودار ۵ــ۲ــ منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) برحسب نوع روان‌ساز مصرفی

خاطرنشان می‌شود هر نوع رسی با یک‌نوع روانساز بهترین نتیجه را می‌دهد. گاهی برای یافتن بهترین سیالیت مخلوطی از دو یا چند روانساز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به مطالب گفته شده، همیشه تهیه‌ی دوغاب با خواص جریانی مطلوب به سادگی مقدور نیست، زیرا هم در آب و هم در خاک‌های معدنی یون‌های فلوکولانت[2] یافت می‌شود که بر روان سازی اثر منفی می‌گذارند.

۱ــ اِکی‌والان ظرفیت تبادل یونی عبارت است از اِکی‌والان یون‌های قابل تعویض به ازای جرم یا حجم واحد ماده مبادله کننده یون.

۲ــ موادی که سبب فلوکولاسیون (بستن) دوغاب می‌شوند و ویسکوزیته‌ی آن را زیاد می‌کنند.

در جدول ۱ــ۲ روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ــ۲ــ روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک

روان‌سازهای آلی	روان‌سازهای غیرآلی (معدنی)
پلی اکریلات سدیم	کربنات سدیم
پلی‌اکریلات آمونیم	سیلیکات سدیم
سیترات سدیم	بورات سدیم
تارتارات سدیم	تری‌پلی‌فسفات سدیم
پلی‌سولفونات سدیم	
سیترات آمونیم	

ویژگی‌های دوغاب روان‌سازی شده

دوغاب روان‌سازی شده، باید تقریباً واکنش ثابتی از خود نشان دهد. بنابراین، لازم است مبنایی وجود داشته باشد که با اندازه‌گیری آن‌ها بتوان به خواص جریانی دوغاب پی‌برد. این عوامل عبارت‌اند از :

۱ــ درصد آب دوغاب،

۲ــ ویسکوزیته‌ی دوغاب،

۳ــ وزن لیتر یا دانسیته‌ی دوغاب،

۴ــ (pH) دوغاب.

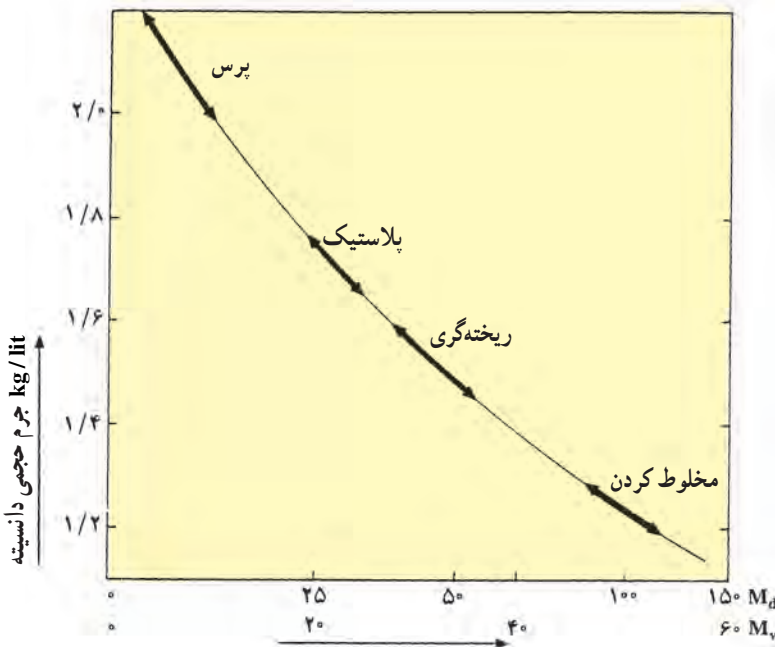
۱ــ درصد آب دوغاب: ترجیح داده می‌شود مقدار درصد آب دوغاب به حداقل برسد. از این‌رو، جنس«آمیز» انتخاب شده با اهمیت خواهد بود. هر چه میزان مواد رُسی «آمیز» افزایش یابد، دوغاب به آب بیش‌تری، نیازمند است. اما از دیگر سو، افزایش مواد رُسی، قابلیت روان‌سازی دوغاب را بهبود می‌بخشد.

محدوده‌ی درصد آب برای دوغاب‌ها، مطابق جدول ۲ــ۲ است.

جدول ۲ــ۲

درصد آب بر مبنای تر	نوع آمیز
۱۸ ــ ۱۶	فایر کلی
۲۲ ــ ۲۰	استون ور
۲۸ ــ ۲۳	ارتن ور و چینی نرم
۳۰ ــ ۲۸	چینی سخت
۵۰	چینی استخوانی (بدون دی فلوکولانت)
۳۵	چینی استخوانی (با دی‌فلوکولانت)

طبیعی است این ارقام با تغییر جنس و اندازه‌ی ذرات آن‌ها، اندکی تغییر می‌یابد. هرچه درصد آب کاهش یابد، سرعت ریخته‌گری زیادتر و زمان آن کوتاه‌تر می‌شود. هم‌چنین انقباض و زمان خشک شدن قطعه نیز کاهش می‌یابد و همان‌طور که می‌دانید در مجموع هزینه‌ی تولید نیز پایین می‌آید.



Md = درصد رطوبت بر مبنای خشک

Mw = درصد رطوبت بر مبنای تر

نمودار ۶ــ۲ــ درصد آب دوغاب بدنه برای ریخته‌گری دوغابی بین ۲۷ تا ۳۵ مقدار است.

۲ــ ویسکوزیته‌ی دوغاب : ویسکوزیته عکس سیّال بودن است. دوغاب مناسب برای ریخته‌گری باید دارای ویسکوزیته‌ی مناسبی باشد. افزایش درصد آب و انتخاب نوع و مقدار روان‌ساز، بر روی ویسکوزیته تأثیر می‌گذارد. به‌خصوص با استفاده از روان ساز مناسب، بدون این که مقدار آب افزایش یابد، می‌توان کاهش چشم‌گیری در ویسکوزیته‌ی دوغاب ایجاد کرد. معمولاً ویسکوزیته‌ی دوغاب چینی حدود ۴ تا ۵ پواز (دسی پاسکال ثانیه) است. اگرچه در عمل بیش‌تر از ویسکوزیته‌ی ریزشی برای سنجش سیالیت مناسب استفاده می‌شود.

اندازه‌ی ویسکوزیته به دو روش صورت می‌گیرد :

الف ــ روش غیرمستقیم: در این روش، حجم مشخص از دوغاب را (مثلاً ۱۰۰ cc) در ظرفی به شکل قیف با ابعاد مشخص (ویسکوزیمتر ریزشی) می‌ریزند ؛ سپس زمان خروج دوغاب از قیف را اندازه‌گیری می‌کنند. هرچه ویسکوزیته‌ی دوغاب کم‌تر باشد، زمان به‌دست آمده نیز کم‌تر خواهد بود.

هرچند زمان ریزش دوغاب (t) واحد ویسکوزیته نیست، به‌طور غیرمستقیم نشان دهنده‌ی ویسکوزیته (نا روانی) دوغاب است. ضمن این‌که هرچه زمان ریزش کم‌تر باشد دوغاب روان‌تر است.

ب ــ روش مستقیم: در این روش دوغاب آماده را کاملاً به هم می‌زنند ؛ سپس آن را زیر دستگاه ویسکوزیمتر چرخشی قرار می‌دهند. این دستگاه دارای میله‌ای است که به انتهای آن یک صفحه‌ی مدور وصل شده است. این صفحه در داخل دوغاب به چرخش درمی‌آید. هرچه دوغاب سفت‌تر باشد، چرخش صفحه کندتر می‌شود و نیروی لازم برای چرخش افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری مقاومت دوغاب در مقابل چرخش ویسکوزیته دوغاب مستقیماً به دست می‌آید(شکل ۷ــ۲).

شکل ۷ــ۲ــ ویسکوزیمتر چرخشی

۳ــ دانسیته‌ی دوغاب: سومین فاکتور قابل اندازه‌گیری دوغاب، دانسیته یا وزن لیتر آن است. در یک ظرف یک لیتری که قبلاً وزن شده، دوغاب ریخته می‌شود ؛ سپس وزن ظرف حاوی دوغاب محاسبه می‌شود. از تقسیم وزن دوغاب به حجم آن (یک لیتر)، دانسیته‌ی آن به‌دست می‌آید. هرچه درصد مواد جامد بیش‌تر باشد، دانسیته‌ی آن بیش‌تر خواهد بود. معمولاً دانسیته‌ی دوغاب بدنه‌ی چینی بین ۱/۶ تا ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. حال آن که معمولاً دانسیته‌ی دوغاب لعاب بین ۱/۳ تا ۱/۶

گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد و دانسیته‌ی مناسب دوغاب لعاب متناسب با روش اعمال لعاب بر بدنه (ریزش، اسپری یا غوطه‌وری) تعیین می‌گردد.

۴ــ (pH) دوغاب: حل شدن نمک‌های مختلف در دوغاب، اثر مستقیمی بر روی اسیدیته یا پی‌هاش سیستم دارد، برای مثال فلوکولاسیون در پی‌هاش‌های کم، اتفاق می‌افتد ؛ حال آن که دی‌فلوکولاسیون در محدوده‌ی پی‌هاش (بین ۶ تا ۸) روی می‌دهد ؛ بنابراین، با اندازه‌گیری پی‌هاش دوغاب به‌وسیله‌ی پی‌هاش متر، از نظر تجربی می‌توان بسیاری از خصوصیات دوغاب را بررسی کرد.

پس از شناخت فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب، ویژگی دوغاب مناسب برای ریخته‌گری را از نظر تجربی می‌توان چنین بیان کرد :

هنگامی که دوغاب بدنه به وسیله‌ی همزن شیشه‌ای به هم زده می‌شود، باید پشت همزن شیار ایجاد شود، ولی به‌زودی محو گردد. هم‌چنین اگر همزن از دوغاب بیرون کشیده شود، باید دوغاب از اطراف آن به صورت یک‌پارچه فرو بریزد (قطره قطره نچکد). در ضمن دوغاب باید برای مدتی به‌حال خود گذاشته شود (حدود ۲۴ ساعت) و رویه نبندد و در صورت رویه بستن باید در اولین هم‌زدن‌ها، این رویه مجدداً در دوغاب حل شود. در نهایت باید گفت : دوغاب نباید به‌سادگی ته‌نشین شود و رسوب کند.

برای رسیدن به حدمطلوب در دوغاب، عموماً آن را دست کم به مدت ۲ ساعت هم می‌زنند ؛ سپس آن را ۲۴ ساعت به حال خود باقی می‌گذارند، زیرا زمان، اثر مطلوبی بر روی بروز خواص ثابت در دوغاب دارد. این خاصیت کهنگی نام دارد که در سرامیک از اهمیت خاصی برخوردار است. پس از طی این مراحل، آزمایش‌هایی بر روی دوغاب انجام می‌گیرد و در صورت مثبت بودن نتایج، برای مصرف به سالن‌های ریخته‌گری ارسال می‌شود.

تشکیل جداره

هنگامی که دوغاب در تماس با قالب گچی قرار می‌گیرد، به دو دلیل جداره تشکیل می‌شود :

۱ــ جذب آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب گچی: به دلیل وجود تخلخل و لوله‌های مویین در قالب گچی، آب دوغاب لایه‌ی مجاور قالب به سرعت جذب می‌گردد و لایه‌ای از گل سفت بر روی جداره تشکیل می‌شود. این پدیده چگونه اثبات می‌شود؟

اگر این دوغاب در یک قالب متخلخل غیرگچی (مانند یک بدنه‌ی سفال) ریخته شود، به سبب جذب آب قالب متخلخل، باز هم بر روی بدنه‌ی قالب، جداره تشکیل می‌شود.

۲ــ تعویض یونی: هنگامی که دوغاب در تماس با جداره‌ی قالب گچی قرار می‌گیرد، در واقع یون کلسیم موجود در گچ وارد دوغاب می‌شود، آن را «فلوکوله» می‌کند ؛ یعنی، در محل تماس، فلوکولاسیون رخ می‌دهد که منجر به تشکیل جداره می‌گردد.

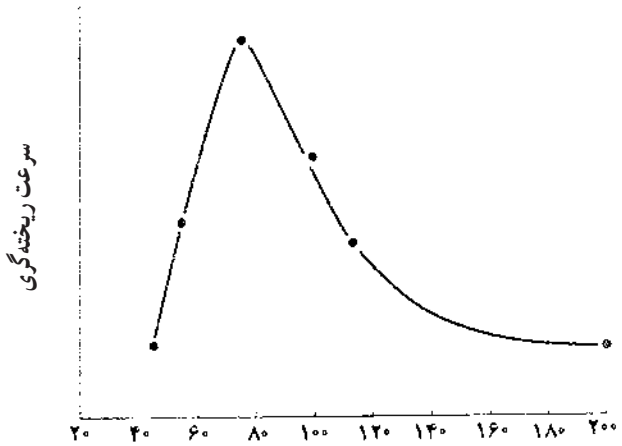
باید تأکید کرد که این پدیده، مهم‌ترین دلیل تشکیل جداره در قالب گچی در لحظات اولیه است. در ادامه با گذشت زمان، مکانیسم افزایش ضخامت جداره، بیش‌تر همان جذب آب به‌وسیله‌ی قالب است. یک آزمایش ساده موارد مطرح شده را ثابت می‌کند. اگر یک ظرف شیشه‌ای را که با محلول سولفات کلسیم[1] پرشده است، تخلیه و خشک کنید، بر روی جداره‌ی ظرف شیشه‌ای که جذب آب ندارد یک لایه‌ی نازک سولفات کلسیم برجای می‌ماند. حال با ریختن دوغاب سرامیکی در داخل آن، پس از مدتی، هنگامی که دوغاب تخلیه شود مشاهده می‌کنید که لایه‌ای نازک از گل، اما محکم برروی جداره‌ی شیشه‌ای تشکیل شده است. حال آن که هیچ گونه جذب آبی صورت نگرفته است.

به‌نظر شما دلیل تشکیل این جداره چیست؟ در پاسخ می‌توان گفت تشکیل این لایه‌ی سخت، به دلیل وجود ذرات سولفات کلسیم بر روی جداره‌ی شیشه است و همین باعث فلوکولاسیون دوغاب در سطح ظرف می‌شود.

رابطه‌ی تشکیل جداره با زمان و قالب: اگر زمان نگاه‌داری دوغاب در قالب افزایش یابد، ضخامت جداره‌ی تشکیل شده نیز زیادتر می‌شود. اما این نوعی رابطه‌ی خطی نیست. در واقع سرعت ریخته‌گری در ابتدای فرآیند زیاد است، اما هرچه ضخامت جداره بیش‌تر شود، سرعت ریخته‌گری کندتر می‌گردد. این بدان معنی است که گرچه افزایش زمان ریخته‌گری، ضخامت قطعه را زیاد می‌کند، اما سرعت تشکیل جداره را به تدریج می‌کاهد.

از سوی دیگر، قالب، در تشکیل جداره و ضخامت آن بسیار تأثیرگذار است. هرچه مقدار آب در ساخت قالب گچی بیش‌تر باشد، قالب پس از خشک شدن، تخلخل و لوله‌های مویین بیش‌تری خواهد داشت. پس انتظار می‌رود ریخته‌گری با قالبی که درصد تخلخل بیش‌تری دارد، سریع‌تر انجام گیرد ؛ یعنی در یک زمان مساوی جداره‌ی تشکیل شده در قالب با تخلخل بیش‌تر، ضخیم‌تر باشد (نمودار ۸ــ ۲).

۱ــ گچ همان سولفات کلسیم آبدار $CaSO_4 2H_2O$ است.



نمودار ۸ــ۲ــ منحنی تغییرات سرعت ریخته‌گری (ضخامت) برحسب درصد آب قالب

توجه کنید : اگر درصد آب لازم برای ساخت قالب گچی از حد معینی (۹۵ درصد) بیش‌تر شود، مجدداً سرعت ریخته‌گری کاهش می‌یابد. چون قدرت مکش لوله‌های مویین کم‌تر می‌شود.

درصد آب لازم برای ساخت قالب‌های معمولی، بین ۷۵ تا ۹۵ درصد وزن خشک گچ است ؛ یعنی برای ۱۰۰ گرم گچ، بین ۷۵ تا ۹۵ گرم آب احتیاج است.

عیوب ریخته‌گری دوغابی و راه‌های برطرف کردن آن‌ها: بعضی از عیوب، فقط در قطعاتی مشاهده می‌شوند که از ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌گردند. این عیوب عبارت‌اند از :

۱ــ دایره دایره شدن (ایجاد دوایر)

۲ــ خط درز

۳ــ سوراخ‌های سنجاقی

۴ــ لکه یا خال ریخته‌گری

۱ــ دایره دایره شدن (ایجاد دوایر) : درصورتی‌که در ریختن دوغاب به داخل قالب توقفی پیش آید، پس از خارج شدن قطعه از قالب در محل تماس دوغاب با قالب گچی، خطوط دایره شکلی دیده می‌شود که پس از پخت‌جلای شیشه‌ای می‌یابد و احتمال دارد در صورت اعمال لعاب شفاف (ترانس) پس از پخت لعابی این دوایر دیده شوند. به این عیب، عیب دایره دایره شدن می‌گویند.

این پدیده، با زیاد شدن قدرت جذب آب قالب، تشدید می‌شود. برای آن می‌بایست ریختن دوغاب در قالب با سرعت یکنواخت و بدون توقف صورت گیرد.

شاید بتوان گفت که دلیل اصلی بروز این عیب، ترکیب «آمیز» بدنه است ؛ به‌خصوص اگر در آن میکا وجود داشته باشد. چون میکا به‌صورت یک لایه‌ی فوقانی از سایر اجزای دوغاب جدا می‌شود و هنگام ریختن در قالب، رویه‌ی بدنه را تشکیل می‌دهد. به طور کلی با کاهش یا حذف میکا، هم‌چنین کاهش ذرات کلوئیدی این عیب را می‌توان برطرف نمود.

۲ــ عیب خط درز: بیش‌تر قالب‌هایی که در ریخته‌گری دوغابی استفاده می‌شوند، چند تکه هستند ؛ بنابراین، به هنگام تشکیل جداره، مقدار کمی دوغاب به داخل درزها نفوذ می‌کند، درنتیجه با باز کردن قالب، زوایدی بر روی جداره‌ی درزها به‌صورت برجسته باقی می‌ماند. این عیب در بدنه‌های بدل‌چینی به سادگی و به‌وسیله‌ی کاردک و اسفنج مرطوب برطرف می‌شود، اما در بدنه‌های چینی سخت، این عیب حتی بعد از پخت نیز آشکار می‌شود و به‌سادگی رفع نمی‌شود.

دلیل این موضوع، جهت‌گیری ذرات است. در بدنه‌ی چینی استخوانی، در صورتی که در حین ریخته‌گری به محل درزها ضربه زده شود، این جهت‌گیری در درزها به‌صورت اتفاقی خواهد بود و این عیب کاهش می‌یابد. به شرط این که در مرحله‌ی پرداخت‌کاری (در حالت نیمه‌عادی) زواید به‌خوبی پاک شده باشند، اما منحصراً در بدنه‌های چینی سخت می‌توان پرداخت‌کاری خط درز را بعد از پخت بیسکویت و به وسیله‌ی چرخ سنباده انجام داد تا اثر آن پس از پخت مشاهده نشود.

۳ــ عیب سنجاقی: گاهی بر روی سطوح بدنه‌ی ریخته‌گری شده، سوراخ‌هایی به اندازه‌ی ته‌سنجاق بر روی بدنه (بدون لعاب) مشاهده می‌شود. این عیب به دلیل حبس حباب‌های ریز هوا در دوغاب است، هنگامی که این حباب‌ها در سطوح خارجی بدنه قرار گرفته باشند. بنابراین، هر عامل ایجادکننده‌ی حباب در دوغاب باعث بروز این عیب می‌گردد. ویسکوزیته‌ی زیاد دوغاب و هم‌زدن سریع، آن دلایل بروز این پدیده‌اند.

۴ــ لکه یا خال ریخته‌گری: به‌علت تخلیه نامناسب دوغاب و ماندن قطره درته قطعه عیب لکه یا خال ریخته‌گری بوجود می‌آید که با تخلیه تحت زاویه ۴۵° دوغاب از قالب می‌توان از این عیب جلوگیری نمود و یا در برخی موارد اولین قطره دوغاب در تماس با قالب گچی سریع خشک‌شده و یک لکه یا برآمدگی در ته قطعه ایجاد می‌نماید که با آرامی و یک‌نواخت ریختن دوغاب از این عیب هم می‌توان جلوگیری کرده و یا آن را به حداقل رساند.

برای جلوگیری از بروز این عیب، می‌توان هنگام ریختن دوغاب، ظرف دوغاب را با فاصله‌ی نزدیک‌تری به قالب نگه داشت و یا در صورت امکان هنگام ریختن دوغاب، قالب را چرخاند.

ویژگی‌های دوغاب برگشتی

گفته شد در ریخته‌گری توخالی، دوغاب مازاد تخلیه می‌شود. دوغاب‌های تخلیه شده از نظر درصد آب، دانسیته و ویسکوزیته دست‌خوش تغییراتی شده‌اند. بنابراین، برای استفاده‌ی مجدد از آن‌ها، می‌توان با جمع کردن آن‌ها در یک حوضچه، نسبت به تنظیم مجدد آن‌ها اقدام کرد.

یکی از مهم‌ترین تغییراتی که ممکن است در دوغاب برگشتی روی دهد، وارد شدن یون کلسیم(Ca^{+}) از طریق قالب گچی است که دوغاب را فلوکوله می‌کند. اثر این یون‌ها را می‌توان با افزودن حداکثر ۰/۱درصد برمبنای خشک، کربنات‌باریم از بین برد. به این واکنش دقت کنید :

$$CaSO_4 \rightarrow +Ca^{+} + So_4^{-}$$

$$BaCO_3 + CaSO_4 \rightarrow BaSO_4 \downarrow + CaCO_3 \downarrow$$

در نتیجه، یون مزاحم کلسیم(Ca^{+}) ناشی از سولفات کلسیم با کربنات باریم واکنش داده و به صورت کربنات کلسیم رسوب می‌کند. بنابراین، اثر مخرب یون‌های فلوکوله‌کننده از بین می‌رود ؛ ترکیبات تشکیل شده (کربنات کلسیم و سولفات باریم) در آب نامحلول هستند.

گچ و قالب‌های گچی

گچی که در صنعت سرامیک استفاده می‌شود، سولفات کلسیم با نیم‌مول آب است ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ ، $CaSO_4 2H_2O$) و از پخت سنگ گچ به‌دست می‌آید، که مینرال عمده‌ی آن ژیپس ($CaSO_4 2H_2O$) است. دمای لازم برای این عمل، بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ سانتی‌گراد است.

$$CaSO_4 . 2H_2O \xrightarrow{۱۲۰-۱۸۰^{\circ}} CaSO_4 . \frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O \uparrow$$

در تولید گچ قالب‌سازی، باید بسیار دقت نمود تا محصول از نظر ترکیب و ناخالصی، در حد مطلوب باشد.

بهترین نوع گچ، گچ α نام دارد که نسبت به نوع β خواص بهتری را داراست. اما به دلیل گرانی، روش تولید گچ مورد مصرف در صنایع سرامیک مخلوطی از β و α است که البته درصد بیش‌تری از آن را β تشکیل می‌دهد. در فرآوری گچ، فاز α ویژگی‌های خوبی مانند استحکام بالا، اندازه‌ی کریستال‌های درشت تر و تبلور بیش‌تر از خود نشان می‌دهد. اما در گچ مصرفی برای ریخته‌گری دوغابی حضور هر دو فاز α و β به‌صورت مخلوط نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

می‌دانیم که مخلوط حاصل از گچ و آب به تدریج سفت می‌شود ؛ این عمل را «گیرش گچ» می‌گویند. در واقع، گچ در مجاورت آب مجدداً با جذب آب به صورت بلورهای ژیپس متبلور می‌شود. این واکنش گرمازاست.

$$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$$

در حقیقت با این عمل کریستالیزاسیون رخ می‌دهد و به هنگام تبلور، بلورهای سوزنی شکل ژیپس در هم فرو می‌روند و یک توده‌ی سخت و محکم را تشکیل می‌دهند.

سرعت گیرش گچ، بسته به نوع ماده‌ی اولیه و شرایط تشکیل محصول، متفاوت است. اما می‌توان با مواد افزودنی، گیرش آن را سرعت بخشید یا کند کرد.

برخی افزودنی‌ها به دوغاب گچ موجب کندشدن یا تسریع گیرش می‌شوند، سریشم، بوراکس و برخی چسب‌های آلی کندکننده و سولفات، نیترات و کلریدپتاسیم تسریع‌کننده‌ی گیرش گچ‌اند.

با مروری بر درس‌های گذشته درمی‌یابید که در ساخت سرامیک‌ها، چه در روش پلاستیک و چه ریخته‌گری دوغابی، از قالب‌های گچی استفاده فراوانی می‌شود ؛ بنابراین، گچ و قالب‌های گچی در صنعت سرامیک اهمیت بسیار زیادی دارند.

ویژگی‌های قالب مناسب برای ریخته‌گری دوغابی با قالبی که در روش پلاستیک دستگاهی به‌کار گرفته می‌شود، متفاوت است، بنابراین، می‌توان به این نکات اشاره کرد :

۱ــ قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری دوغابی باید تخلخل بیش‌تری داشته باشند.

۲ــ در شکل دادن پلاستیک دستگاهی، قالب‌ها باید استحکام بیش‌تر و در نتیجه تخلخل کم‌تری داشته باشند.

۳ــ در ساخت قالب‌های اصلی و مادر باید کم‌ترین تخلخل در نظر گرفته شود. چون در این نوع قالب‌ها، تراکم و استحکام بالا بسیار مورد توجه است.

هر قالب گچی برای روش پلاستیک دستگاهی حدود ۳۰ درصد تخلخل دارد و عمر مفید آن حدود ۲۰۰ سیکل در تولید است، اما در ریخته‌گری دوغابی درصد تخلخل حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد است و بسته به نوع محصول بین ۵۰ تا ۶۰ سیکل در تولید به‌کار می‌روند.

از گچ ساختمانی نمی‌توان در ساخت قالب‌های سرامیکی استفاده کرد زیرا از نظرنوع فاز، خلوص و خواص فیزیکی مناسب نیست. گچ قالب‌سازی در شرایط کنترل‌شده‌ای تولید می‌شود تا ویژگی‌های لازم را داشته باشد.

کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مختلف سرامیک

تا به حال با اهمیت و کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در تولید انواع محصولات سرامیکی آشنا شده‌اید. قوری، قندان، گلدان، چینی‌های بهداشتی، حتی فنجان و دیرگدازها و ... از جمله محصولاتی هستند که به این روش تولید می‌شوند. امروزه ریخته‌گری دوغابی با مواد غیر رسی، در صنایع نوین سرامیک، اهمیت به‌سزایی یافته است. معمول این است که آلومینا، سیلیکا، منیزیا، کاربید سیلیسیم و نظایر آن را با مواد افزودنی مناسب به‌صورت دوغاب درمی‌آورند، سپس دوغاب حاصل‌شده را در یک قالب متخلخل، مانند گچ، می‌ریزند و بدین ترتیب محصول موردنظر را شکل می‌دهند. بخش عمده‌ای از سرامیک‌های نوین و مهندسی که در صنایع پیشرفته‌ی امروز به‌کار می‌روند، با این روش تولید می‌شوند. بوته‌ها، لوله‌ها و شکل‌های خاصی از جنس آلومینا و کاربید سیلیسیم و کاست‌های نسوز (ساگار) کلاهک رادارهای پرنده نیز از جمله فرآورده‌هایی هستند که با این روش تولید می‌شوند.

شکل ۹ــ۲ــ بوته‌های آلومینایی که به روش ریخته‌گری دوغابی (غیر رسی) ساخته شده‌اند.

در بعضی از این روش‌ها برای تهیه‌ی دوغاب به‌جای آب، از مایعات دیگری نظیر الکل و محلول‌های آلی استفاده می‌شود.

تنوع و گستردگی کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مربوط به سرامیک‌های نوین، روزبه‌روز درحال افزایش است و اهمیت آن بیش‌تر می‌شود.

مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی

شاید بتوان گفت مهم‌ترین مزیت این روش، امکان تولید قطعات پیچیده است. با این توضیح که به‌وسیله‌ی گچ می‌توان از یک قطعه‌ی خاص، قالب‌های چند تکه تهیه کرد ؛ سپس دوغاب تهیه شده را درون قالب ریخت و قطعات توخالی یا توپر را تولید نمود ؛ یعنی قطعاتی که امکان شکل دادن آن به‌وسیله‌ی دیگر روش‌ها وجود ندارد یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، زیرا ساخت قالب‌های فلزی، مشکل و پرهزینه است.

از طرف دیگر، باید گفت که در فرآیند شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی، به تجهیزات و دستگاه‌های پیچیده و گران، نیازی نیست.

با این همه، این روش کاستی‌هایی نیز دارد. پیش‌تر گفته شد که مثلاً سرعت تولید آجر ساختمانی با روش اکستروژن به ۲۰۰۰۰ قالب در ساعت نیز می‌رسد و یا سرعت تولید یک فنجان در روش رولر ۲۰ عدد در دقیقه است. حال آن که زمان لازم برای تشکیل جداره در قالب گچی حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه و در برخی موارد به ۱/۵ تا ۲ ساعت نیز می‌رسد.

بنابراین، «زمان بر بودن تولید به روش ریخته‌گری دوغابی» را می‌توان ضعف عمده‌ی این روش به‌شمار آورد. گرچه با افزایش تعداد قالب و روش‌های خاصی چون ریخته‌گری تحت فشار و چرخش قالب حین ریخته‌گری، می‌توان تا حدی سرعت تولید را در این روش بهبود بخشید.

از طرف دیگر، چون انقباض قطعاتی که از ریخته‌گری دوغابی تولید می‌شوند زیاد است، تنظیم ابعاد محصولات در این روش دشوار خواهد بود.

پرسش‌های فصل دوم

۱ــ مهم‌ترین مزیت روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟
۲ــ انواع ریخته‌گری دوغابی کدام است؟
۳ــ دلایل استفاده از روان‌سازها را در دوغاب‌های ریخته‌گری بنویسید.
۴ــ انواع روان‌سازها را تقسیم‌بندی کنید و چند مثال بزنید.
۵ــ مقدار روان‌ساز مصرفی، برحسب وزن خشک «آمیز»، عموماً چه‌قدر است؟
۶ــ فاکتورهای قابل اندازه‌گیری در یک دوغاب کدام‌اند؟
۷ــ چرا درصد آب کم‌تر در دوغاب ترجیح داده می‌شود؟
۸ــ وزن لیتر دوغاب‌های بدنه و لعاب چینی در چه محدوده‌ای قرار دارد؟
۹ــ دلایل تشکیل جداره در قالب گچی را به تفصیل بیان کنید.
۱۰ــ عیوب ریخته‌گری دوغابی را نام ببرید.
۱۱ــ در یک دوغاب برگشتی چگونه می‌توان اثر افزایش یون کلسیم را از بین برد؟
۱۲ــ عوامل تسریع‌کننده و کندکننده‌ی در گچ را تعریف کنید و از هرکدام مثالی بزنید.
۱۳ــ نقش ریخته‌گری دوغابی را در صنایع نوین سرامیک بیان کنید.
۱۴ــ ضعف اصلی روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟

فصل سوم

شکل‌دادن به روش پِرِس

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ شکل‌دهی به روش پرس را تقسیم‌بندی کند.

۲ــ درصد رطوبت برای هر روش را بیان کند.

۳ــ معایب رطوبت بیش از حد را شرح دهد.

۴ــ معایب فشار بیش از حد را توضیح دهد.

۵ــ مواد افزودنی مجاز را برای هر روش ذکر کند.

۶ــ مزایا و محدودیت‌های دو روش پرس را نام ببرد.

۷ــ نحوه‌ی کار پرس ایزواستاتیک سرد و گرم را شرح دهد.

۸ــ علت استفاده از روش کوبیدن را بیان کند.

۹ــ محدودیت‌ها و مزایای روش کوبیدن را توضیح دهد.

۱۰ــ دو نمونه از موارد استفاده‌ی روش کوبیدن را نام ببرد.

شکل دادن به روش پرس

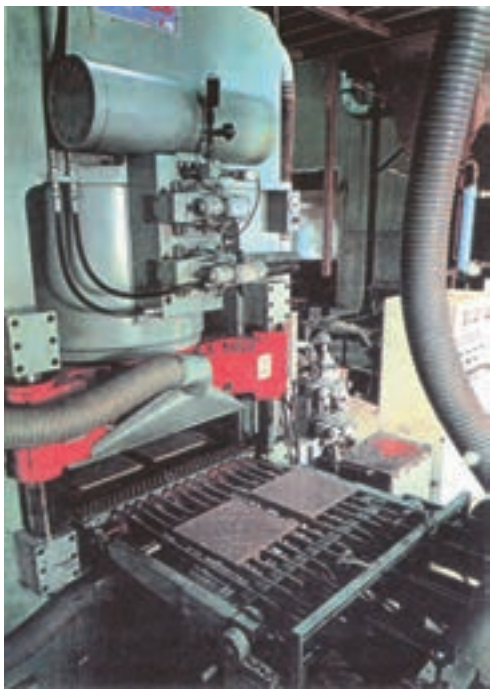
بدنه‌های سرامیکی را می‌توان از طریق فشردن پودر مواد اولیه‌ی آن‌ها که به صورت گرانول درآمده‌اند، تولید نمود. که این فرآیند «پرس» نام دارد به طور کلی شکل دادن پودر به روش پرس برحسب درصد رطوبت موجود در پودر به دو بخش پرس نیمه خشک و پرس خشک طبقه‌بندی می‌شود. اما گاه برای ساخت برخی محصولات، گل مرطوب را پرس می‌کنند. در این حالت رطوبت گل، بسته به نوع ماده‌ی اولیه ممکن است بین ۱۲ تا ۱۸ درصد رطوبت داشته باشد. البته با توجه به حالت گل پلاستیک در برخی از منابع مطالعاتی شکل دادن گل پلاستیک توسط پرس را در بخش شکل‌دادن پلاستیک مورد بررسی قرار می‌دهند.

پرس نیمه‌خشک (Semidry Pressing) :در پرس نیمه خشک درصد رطوبت مواد اولیه بین ۴ تا ۹ درصد است. در این روش مواد اولیه به‌وسیله‌ی خشک‌کن پاشیدنی به‌صورت گرانول درمی‌آید، زیرا رطوبت موردنظر را داراست. اندازه‌ی این گرانول‌ها حدود ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر است.

روش پرس پودر در ساخت محصولاتی که شکل نسبتاً ساده‌ای دارند، کاربرد زیادی دارد. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان کاشی دیواری، کاشی کف، چینی الکتریکی و فرآورده‌های دیرگداز را نام برد. فرآیند شکل‌دهی به روش پرس کم‌تر، به‌صورت کاملاً اتوماتیک (خودکار) درآمده است. اما در مورد کاشی‌ها به‌دلیل شرایط خاص، به‌صورت اتوماتیک انجام می‌شود.(شکل ۱ــ۳)

فشار موردنیاز در تولید کاشی، حدود ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است، بنابراین، به هر کاشی برحسب ابعاد آن، بین ۴۰ تا ۱۰۰ تن نیرو وارد می‌شود. سرعت تولید در این روش در حدود ۳۰۰ تا ۶۰۰ کاشی در ساعت است.

در تولید کاشی نیز درصد رطوبت بین ۶ تا ۹ درصد است. هرچه مقدار رطوبت کاهش یابد، درصد انقباض آن کم‌تر می‌شود و فشار مورد نیاز برای شکل دادن نیز بیش‌تر می‌گردد. یکی از مشکلات شکل‌دهی به روش پرس پودر، حبس هوا درحین فشردن پودر است. گرانول‌سازی باعث کاهش بروز این عیب خواهد شد. درواقع این عمل سبب می‌شود ذرات محکم به‌یکدیگر بچسبند ؛ بنابراین احتمال حبس هوا را کم تر می‌کند. از طرف دیگر، با گرانول‌سازی امکان جدا شدن ذرات ریز و درشت از بین می‌رود و هر گرانول تقریباً ترکیب «آمیز» اصلی را داراست.



شکل ۱ــ۳ــ پرس نیمه‌خشک کاشی

برای مقابله با مشکل حبس هوا به هنگام فشردن گرانول‌ها، به‌خصوص در تولید کاشی، لازم است فشار در دو مرحله یا بیش‌تر اعمال شود ؛ البته در مرحله‌ی اول، نیروی کمی اعمال می‌شود. در فاصله‌ی بین مرحله‌ی اول و دوم، هوای ناشی از فشردن پودر خارج می‌گردد، سپس در مرحله‌ی دوم، دوباره سمبه‌ی پرس پایین می‌آید

و فشار اصلی را اعمال می‌نماید. در وضعیت خاص ممکن است شکل دادن در ۳ مرحله یا بیش‌تر نیز انجام شود. مقره‌های فشار ضعیف نیز با حدود ۱۵ درصد رطوبت با روش پرس تولید می‌گردند.

پرس خشک (Dry Pressing) : در این روش، میزان رطوبت بین صفر تا چهار درصد است. بنابراین محصولاتی را می‌توان با پرس خشک تولید کرد که به رطوبت کم‌تری نیازمندند. بنابراین مثال آمیزهای با درصد مواد رسی زیاد را به این روش نمی‌توان شکل داد.

استفاده‌ی صحیح از چسب و مواد روان‌کار، خواص پودر را برای پرس بهبود می‌بخشد.

به دلیل استفاده از درصد رطوبت کم، انقباض خشک محصول در این روش، بسیار کم است و گاهی به صفر نیز می‌رسد. این امر، امتیازی مهم درتولید به‌شمار می‌رود ؛ زیرا هر چه میزان انقباض کم‌تر باشد دقت ابعاد محصولات بیش‌تر می‌شود ؛ یعنی می‌توان قطعات تولیدی را تقریباً هم‌اندازه درنظر گرفت.

مزیت دیگر پرس خشک، امکان اتوماتیک کردن سیستم تولید آن است. زیرا شرایط مواد اولیه، امکان چسبیدن محصولات به سمبه‌های پرس را از بین می‌برد.

مخلوط مواد اولیه‌ی مصرفی در این روش نیاز به آماده سازی و ساخت گرانول دارد. در ابتدا مخلوط مواد اولیه با آب، چسب و روان‌ساز در هم‌می‌آمیزد و به دوغاب تبدیل می‌شود، سپس به‌وسیله‌ی فیلتر پرس به صورت کیک درمی‌آید ؛آن‌گاه کیک‌ها را خشک می‌کنند تا به درصد رطوبت موردنیاز در فرآیند برسد. حال آن‌ها را خرد می‌کنند و از الک عبور می‌دهند تا گرانول‌ها به اندازه‌ی دل‌خواه درآیند.

در روش دیگر گرانول سازی، مواد اولیه را با فشار کمی پرس می‌کنند و به‌صورت بلوک یا آجر در می‌آورند. سپس آن‌ها را خرد می‌کنند و از الک عبور می‌دهند. در صنعت برای ساخت گرانول از خشک‌کن پاشیدنی (اسپری درایر) استفاده می‌شود ؛ مثلاً برای ساخت کاشی لازم است که مواد اولیه به صورت گرانول درآیند تا بهتر پرس شوند. از این رو مواد اولیه‌ی بدنه‌ی کاشی به صورت دوغاب یکنواخت آماده‌سازی می‌شود. این دوغاب به کمک یک پمپ با فشار زیاد وارد اسپری درایرمی‌شود. اسپری درایر دارای یک محفظه‌ی گرم قیفی شکل است.

شکل ۲ــ۳ــ دستگاه اسپری‌درایر

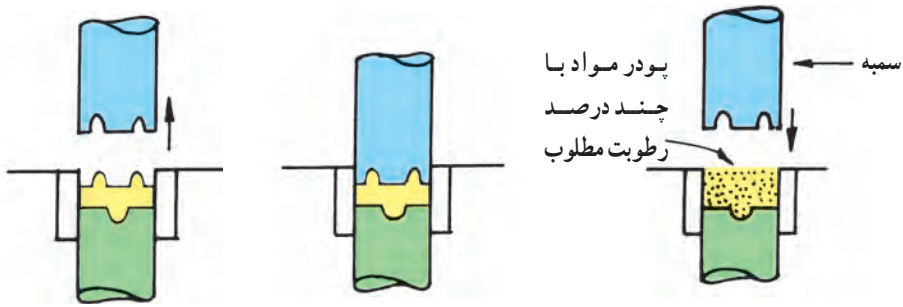
هرگاه دوغاب با فشار زیاد به درون این محفظه پاشیده شود، به صورت قطرات ریز درمی‌آید و هم‌زمان با سقوط در درون محفظه‌ی گرم خشک نیز می‌شود. دمای اسپری درایر را طوری تنظیم می‌کنند تا گرانول‌های خروجی دارای رطوبت مناسب جهت شکل‌دادن به روش پرس باشند.

محدودیت پرس خشک، نداشتن قابلیت برای شکل دادن به محصولاتی با شکل پیچیده است. هم‌چنین محصولاتی با ضخامت زیاد را نمی‌توان به سادگی با پرس خشک شکل داد.

بهترین موقعیت تولید در پرس خشک، دو یا سه مرحله‌ای شدن آن است. با افزایش مراحل پرس، در حقیقت، هم‌کیفیت محصول افزایش می‌یابد و هم امکان حبس هوا و لایه‌لایه شدن قطعه کم‌تر می‌شود.

گفته شد درصد رطوبت در این روش، بین صفر تا ۴ درصد است. در این محدوده هرچه مقدار رطوبت بیش‌تر شود، اصطکاک بین ذرات و قالب کم‌تر می‌شود و تراکم محصول افزایش می‌یابد. هم‌چنین به سبب این‌که مقدار رطوبت کم است، نیاز به افزودنی‌هایی برای بهبود خواص پودر لازم است. مقدار رطوبت، نوع و درصد مواد افزودنی با فشار متناسب است. هرچه افزودنی بیش‌تر باشد، محصولات را با فشار کم‌تری می‌توان شکل داد. ضمناً افزایش بیش از حد این مواد ممکن است باعث چسبیدن قطعات به قالب یا سمبه شود. بنابراین اگر برای شکل دادن، در این روش فشار کم‌تر از حد مورد نیاز باشد، قطعه به‌خوبی شکل نمی‌گیرد، یا استحکام آن، پس از خروج از قالب، به‌قدری کاسته می‌شود که امکان جابه‌جایی آن وجود ندارد و در صورت استفاده از فشار بیش از حد مجاز، حالت لایه‌لایه‌ای در قطعه مشاهده می‌گردد ؛ یعنی در آن (قطعه) تَرَک‌هایی موازی با سطح تحت فشار ایجاد می‌شود.

شکل ۳ــ۳ــ تصویر دستگاه پرس هیدرولیکی



الف ــ قالب پرس　　ب ــ پودرها درحال فشرده شدن　　ج ــ در این‌جا قطعه‌ی سرامیکی ساخته شده است.

شکل ۴ــ۳

از آن جایی که در پرسِ (خشک و نیمه خشک)، فشار فقط در یک محور اعمال می‌شود، محصولات ضخیم از نظر تراکم دچار اختلاف شدید می‌شود. برای حل این مشکل، روش جدیدی به نام پرس ایزواستاتیک یا هیدرواستاتیک مطرح شده است.

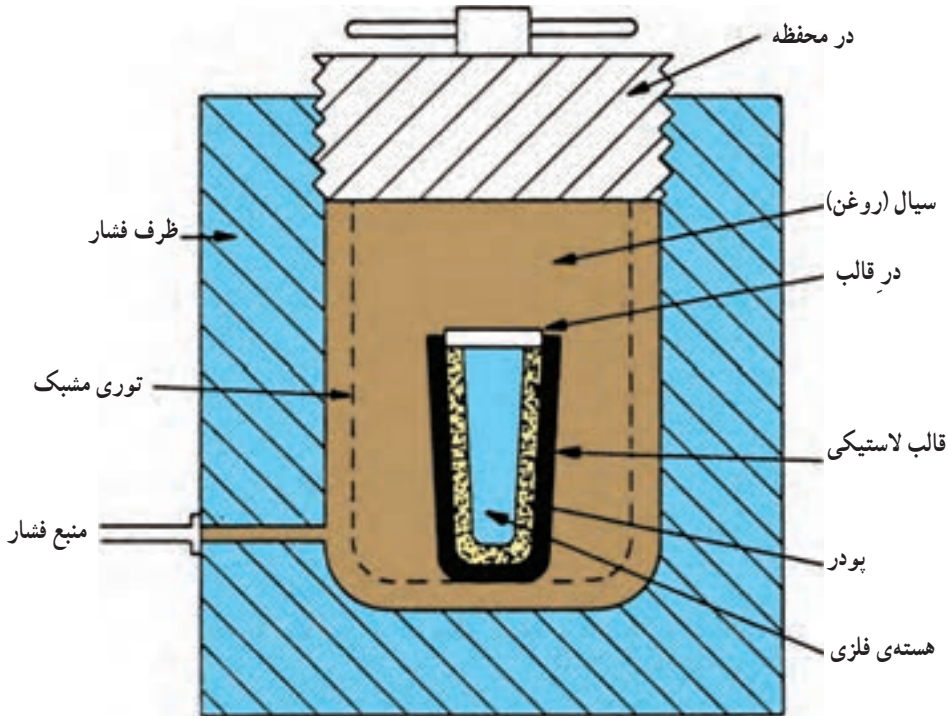
پرس ایزواستاتیک سرد: در این روش، قطعه از تمامی جهات تحت فشار یکسان قرار می‌گیرد. بنابراین، مشکلات ناشی از پرس تک محور به‌وجود نمی‌آید. اساس کار به این‌صورت است که مواد اولیه، درون یک قالب ارتجاعی (لاستیکی) ریخته می‌شود. حالت ارتجاعی قالب باعث می‌شود که فشار، به راحتی به مواد اولیه منتقل شود.

قالب لاستیکی، درون ظرفی، که حاوی یک مایع واسطه مثل روغن است، قرار می‌گیرد.

مایع درون محفظه، به‌وسیله‌ی یک پمپ هیدرولیک قوی فشرده می‌شود. چون مایع، قابلیت فشرده شدن ندارد، به‌ناچار فشار به تمام حجم مایع منتقل می‌گردد. درنتیجه فشار اعمال شده به قالب، در تمامی جهات و هم‌زمان انجام می‌گیرد.

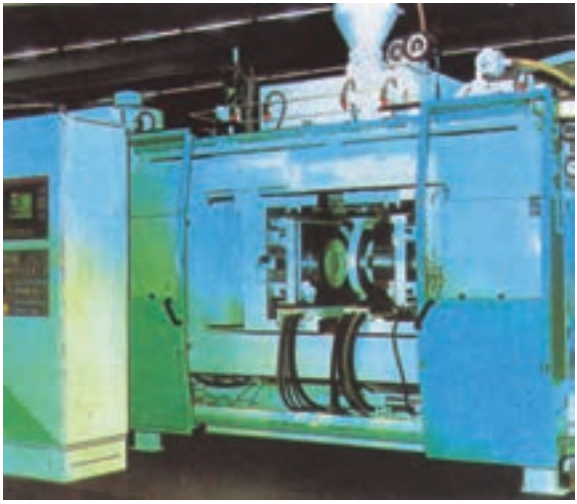
چینی شمع اتومبیل و گلوله‌هایی از جنس آلومینا به این روش تولید می‌شوند. امروزه این روش در ساخت سرامیک‌های نوین، کاربرد گسترده‌ای یافته است. مزیت این روش، ایجاد تراکم یکسان در همه‌ی جهات یک قطعه است ولی هزینه‌ی زیاد این روش، کاربرد آن را محدود می‌کند.

گفتنی است که با رشد صنعت و فنّاوری، هم‌اکنون قطعات بسیاری با این روش شکل داده می‌شوند ؛ برای مثال غیر از محصولات نوین سرامیکی، به‌تازگی ظروف، به‌ویژه بشقاب نیز به روش پرس ایزواستاتیک تولید می‌گردد. زیرا این روش سرعت تولید و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد. هم‌چنین در این روش نیازی به مواد رُسی نیست و بالاخره، در این روش، در مقایسه‌ی شکل‌دهی پلاستیک دستگاهی، نیازی به تهیه‌ی گل و خشک کردن نیست ؛ از این‌رو بسیار مورد توجه صنعتگران قرار گرفته است (شکل ۵ــ۳).



شکل ۵ــ۳ــ پرس ایزواستاتیک (CIP)

شکل ۶ــ۳ــ گلوله‌ها و قطعاتی که به روش CIP ساخته شده‌اند.



شکل ۷ــ۳ــ پرس ایزواستاتیک بشقاب

امروزه شکل دادن به مواد اولیه‌ی غیرپلاستیک چون آلومینا، سیلیکا، کاربید و نیتریدسیلیسیم، با مقدار اندکی مواد افزودنی و با پرس ایزواستاتیک سرد انجام می‌گیرد. کاربرد این روش روز به روز در حال افزایش است.

پرس گرم

در این روش هم‌زمان با فشردن پودر در روش پرس معمولی، حرارت هم اعمال می‌گردد. در روش پرس گرم یا داغ، عمل شکل‌دادن و پخت به طور هم‌زمان انجام می‌گیرد و قطعه‌ی سرامیکی پس از خروج از پرس نیاز به پخت ندارد. سرامیک‌های مدرن و مهندسی مانند سرامیک‌های آلومینایی و

زیرکونیایی به‌دلیل نقطه‌ی ذوب بالا به کمک پرس گرم ساخته می‌شوند. در این روش محصولات دچار تراکم زیادی می‌شوند و میزان تخلخل آن‌ها نیز کم است. ذکر این نکته ضروری است که اعمال هم‌زمان فشار و دما باعث می‌شود یک قطعه‌ی سرامیکی در دمای پایین‌تری ساخته شود.

پرس ایزواستاتیک گرم: همان‌طور که از نام این روش می‌توان حدس زد در این روش فشار ایزواستاتیک هم‌زمان با دما بر قطعه اعمال می‌گردد. در حقیقت، در این روش شکل دادن، مجموع مزایای روش‌های شکل‌دادن با پرس ایزواستاتیک سرد و هم‌چنین پرس گرم وجود دارد. در پرس ایزواستاتیک گرم از یک گاز داغ و مایع واسط یا روغن استفاده می‌شود. در این روش، قطعه عموماً توسط پرس معمولی پیش شکل داده می‌شود. سپس آن را درون یک قالب ویژه مثل قالب‌های شیشه‌ای یا فلزی خاص قرار می‌دهند. قالب‌ها درون محفظه‌ی پرس قرار داده می‌شود و گاز داغ به کمک پمپ‌های بسیار قوی وارد این محفظه‌ها می‌شود. فشار ایزواستاتیک و گرما به‌طور هم‌زمان از طریق قالب به قطعه اعمال می‌شود. جنس قالب‌های مخصوص به‌گونه‌ای است که در این دما و فشار، نرم شده‌ی فشار را به قطعه‌ی پیش شکل داده شده منتقل می‌کند. این روش برای ساخت قطعات ویژه‌ی سرامیکی استفاده می‌شود و از نظر اقتصادی بسیار گران قیمت و کاربردش محدود است.

شکل‌دهی به روش کوبیدن

مواد اولیه به‌صورت گل پلاستیک یا پودر کاملاً مرطوب، درون قالب ریخته و کوبیده می‌شود. عمل کوبیدن را می‌توان با کوبه‌های دستی یا به‌وسیله‌ی پرس‌های پنوماتیک انجام داد. در این روش، تجهیزات خاصی به‌کار گرفته نمی‌شود، اما مهم‌ترین کاربردهایش را می‌توان به این ترتیب بیان کرد :

۱ــ تولید دیواره‌ها و قطعات بزرگ و حجیمی که ساخت قالب و پرس کردن آن‌ها ممکن نیست.

۲ــ ساخت قطعات پیچیده‌ای که در یک مرحله و به‌وسیله‌ی پرس نمی‌توان آن‌ها را شکل داد.

۳ــ شکل دادن به محصولاتی که تولید انبوه آن‌ها موردنظر نیست و ساخت قالب آن‌ها صرفه ندارد.

۴ــ ساخت محصول در محل مشخص، مانند ساخت بلوک مشعل کوره بر روی دیواره‌ی آجرچینی شده و یا ساخت بخشی از یک دیواره که شکل خاصی دارد ؛ مانند لایه‌ی داخلی کوره‌های دوار فریت.

روش کوبیدن به‌خصوص، در بخش دیرگداز صنایع سرامیک به‌طور وسیع به‌کار گرفته می‌شود. ساخت، تعمیر و ترمیم کف و حتی دیواره‌ی کوره‌ها را به این روش می‌توان انجام داد. هم‌چنین

ساخت آجرها و بلوک‌های شکل‌دار در قالب‌های فلزی و چوبی به روش کوبیدن انجام می‌گیرد.

شکل ۸ــ۳ــ جرم و ملات برای کوبیدن و ریخته گری

پرسش‌های فصل سوم

۱ــ انواع روش‌های شکل دادن با پرس را برشمارید.
۲ــ درصد رطوبت در روش‌های مختلف چه‌قدر است؟
۳ــ چرا اعمال فشار در روش پرس در بیش از یک مرحله انجام می‌شود؟
۴ــ مقدار کم رطوبت در پرس خشک با چه موادی جبران می‌شود؟
۵ــ عیوب ناشی از فشار بیش از حد چیست؟
۶ــ معایب ناشی از درصد رطوبت بیش از حد کدام است؟
۷ــ مهم‌ترین مزیت پرس ایزواستاتیک را بنویسید.
۸ــ پرس ایزواستاتیک گرم را شرح دهید.

فصل چهارم

شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری

هدف‌های رفتاری در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ نقش و کاربرد روش ذوب و ریخته‌گری را در سرامیک بیان کند و با فلزات مقایسه نماید.

۲ــ دو دلیل محدودیت کاربرد این روش را بیان نماید.

۳ــ روش‌های شکل دادن به قطعات شیشه‌ای توخالی را شرح دهد.

۴ــ روش‌های عمده‌ی شکل دادن به شیشه‌ی جام را توضیح دهد.

۵ــ مزایا و معایب این روش را در دیرگدازها بیان کند.

مقدمه

تاکنون با روش‌های متداول تولید و شکل دادن سرامیک‌ها آشنا شده‌اید. دانستید که روش شکل‌دهی سرامیک‌ها برخلاف فلزات، عموماً بر پایه‌ی ذوب قرار نگرفته است. اما بعضی از محصولات سرامیکی نیز به روش ذوب تهیه می‌شوند که معروف‌ترین آن‌ها شیشه است. مذاب شیشه قابلیت ریخته‌گری ندارد، بلکه به روش‌های خاصی شکل داده می‌شود.

دیرگدازها، دومین محصولاتی هستند که با روش ذوب تهیه می‌شوند. گفتنی است که بخش بزرگی از دیرگدازها به روش پرس تولید می‌شوند. دیرگدازهایی که به روش ذوب و ریخته‌گری تولید می‌شوند، حجم زیادی ندارند ؛ اما در صنایع شیشه، سرامیک و ذوب فلزات از اهمیت زیادی برخوردارند.

بسیاری از بلوک‌های نسوز، که در کوره‌های با دمای بالا به‌کار می‌روند، به خصوص کوره‌هایی که با مذاب سروکار دارند، با روش ذوب و ریخته‌گری تهیه و تولید می‌شوند. تقریباً در ساخت تمامی کارخانجات شیشه کوره‌هایی وجود داردکه دیرگدازهای آن (معروف به زاک) به صورت ذوب و ریخته‌گری ساخته می‌شوند.

ذوب و ریخته‌گری سرامیک‌ها، با مشکلات فراوانی همراه است، به‌طوری که کاربرد آن را محدود ساخته است ؛ از جمله :

۱ــ نقطه‌ی ذوب سرامیک‌ها بالاست.

۲ــ مذاب‌های سرامیکی ویسکوزیته‌ی بالایی دارند. بنابراین، به‌خوبی قالب را پر نمی‌کنند.

۳ــ هدایت حرارتی سرامیک‌ها پایین است. بنابراین، زمان سرد شدن آن‌ها طولانی است.

۴ــ آن‌ها هنگام تبدیل از حالت مایع به جامد، انقباض‌های شدیدی از خود نشان می‌دهند، به‌طوری که گاهی باعث اعوجاج و معیوب شدن محصول می‌گردد.

بنابراین، در این روش کوره‌های با دمای بالا و قالب‌هایی که تحمل حرارت‌های زیاد را داشته باشند، مورد نیاز است و در مجموع، روشی پرهزینه به شمار می‌آید.

به طورکلی موادی دیرگداز نامیده می‌شوند که دارای نقطه‌ی ذوبی بالاتر از $1580^{\circ}C$ داشته باشند.

جدول ۱ــ۴ ــ دمای ذوب مواد دیرگداز

نوع ماده	فرمول	دمای ذوب $^{\circ}C$
(کریستوبالیت) اکسید سیلیسیم	SiO_2	۱۷۱۳
اکسید آلومینیم	Al_2O_3	۲۰۵۰
اکسید کلسیم	CaO	۲۲۷۸ ± ۱۰
اکسید زیرکونیم	ZrO_2	۲۷۱۰
کاربید سیلیکون	SiC	۲۸۳۰

شیشه

با نگاهی به پیرامون خود، می‌توانید محصولات مختلفی را بنگرید که از شیشه ساخته شده‌اند. ظروف شیشه‌ای در انواع شکل‌ها، لوازم تزیینی، مانند لوستر و گلدان، حباب و لامپ، شیشه‌های تخت یا جام، لوازم آزمایشگاهی، عدسی‌ها و لنزها، شیشه‌های ویژه، مانند شیشه‌های ضدگلوله و مقاوم در برابر اشعه‌ی X ، چند لایه و نظایر آن نمونه‌ی فرآورده‌هایی هستند که به‌طور کاملاً گسترده‌ای در زندگی روزمره‌ی ما وجود دارند.

هر یک از محصولات شیشه‌ای، با روش خاصی تهیه می‌شوند و با روش‌های شکل دادن به دیگر سرامیک‌ها تفاوت دارد. در واقع بحث تولید و شکل دادن به شیشه نیاز به کتاب جداگانه‌ای

دارد. اما به‌دلیل اهمیت این محصول و برای آشنایی مختصر با بعضی از انواع روش‌های شکل دادن به شیشه، به آن اشاره می‌شود.

نکاتی که در مورد شکل دادن به شیشه اشاره می‌شود، صرفاً نظری اجمالی به روش‌های شکل دادن آن‌هاست تا بتوانید از این رهگذر، روش‌های مختلف شکل‌دهی به سرامیک‌ها را مقایسه کنید.

شکل‌دهی ظروف شیشه‌ای

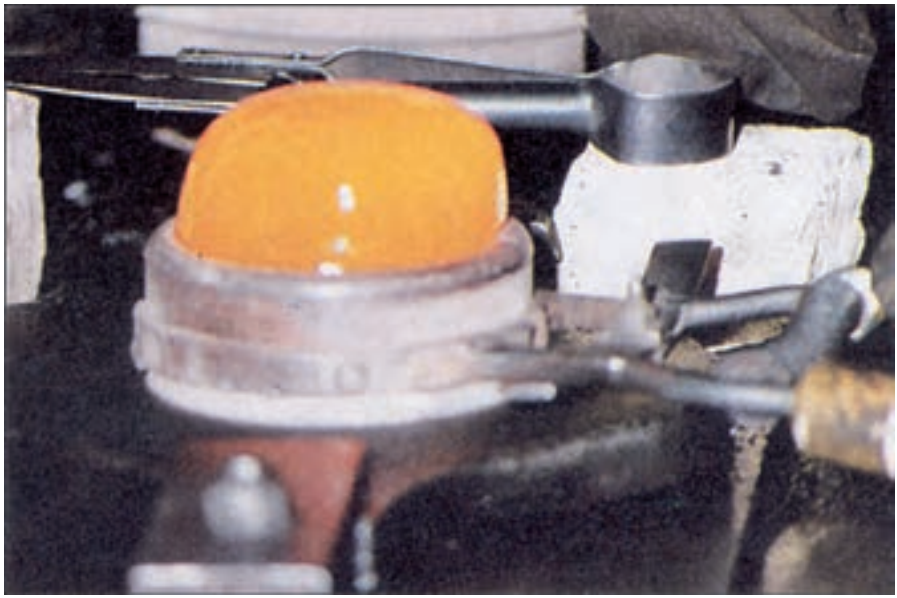
معمولاً مصنوعات شیشه‌ای را می‌توان به دو روش اصلی شکل داد :

الف) روش دستی: در این روش یک لوله‌ی دمش شیشه‌گری در مخزن یا تانک کوره وارد می‌شود و ضمن چرخش، مقدار مذاب مورد نیاز (لقمه) برداشته می‌شود و مازاد آن را شیشه‌گر دیگری با قیچی مخصوص می‌برد.

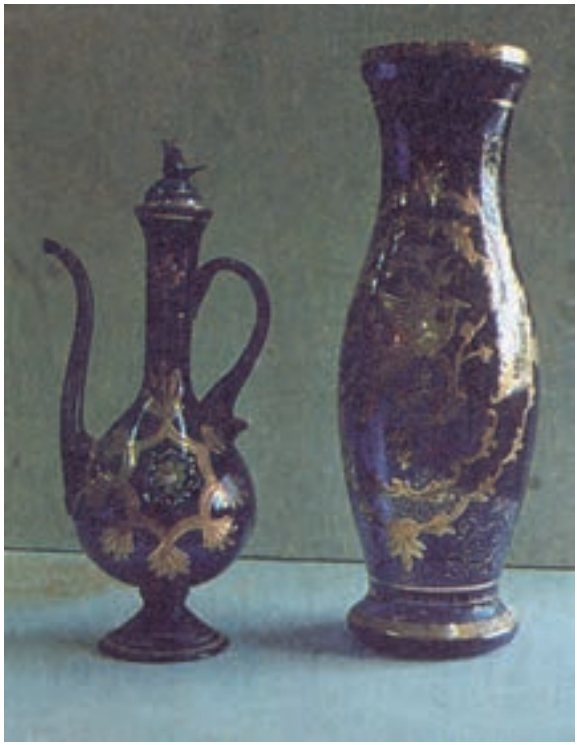
لوله‌ی مخصوص شیشه‌گری در اختیار کارگر ماهری قرار می‌گیرد تا به یک محصول شیشه‌ای شکل دهد. در روش دستی، راه‌های گوناگونی برای شکل دادن به قطعه‌ی موردنظر وجود دارد معمولاً یک کارگر ماهر، ضمن چرخاندن میله‌ی حاوی لقمه، با ابزار دستی یا قالب دستی، شکل موردنظر را پدید می‌آورد. توجه دارید که زمان شکل دادن محدود است و اگر به طول انجامد، مذاب سفت می‌شود و امکان شکل دادن آن از دست می‌رود حباب‌های شیشه‌ای و ظروف تزئینی ؛ مانند گلدان نمونه‌ای از محصولات شیشه‌ای هستند که به روش دستی ساخته می‌شوند.

در شکل دادن به روش دستی، ممکن است لوله‌ی دمش حاوی لقمه دست به دست شود. هر کارگر لازم است بخشی از شکل قطعه را تأمین کند و یا قطعاتی به آن وصل نماید.(مانند دسته گلدان و یا لوله‌ی قوری)

در پایان مرحله‌ی شکل‌دهی، لازم است محصولات بلافاصله به کوره‌های مخصوصی (کوره‌ی آنیل) منتقل شوند تا از شکستن در امان بمانند. در حقیقت حین شکل‌دادن ، ظروف شیشه‌ای تحت تنش‌های مختلفی قرار می‌گیرند. برای رها کردن این تنش‌ها لازم است تا محصولات شیشه‌ای پس از پایان مرحله شکل‌دادن، در یک کوره عملیات حرارتی با دمای مناسب قرار داده شوند، در غیر این‌صورت ممکن است تنش‌های ذخیره شده در قطعه منجر به شکستن آن‌ها شود.



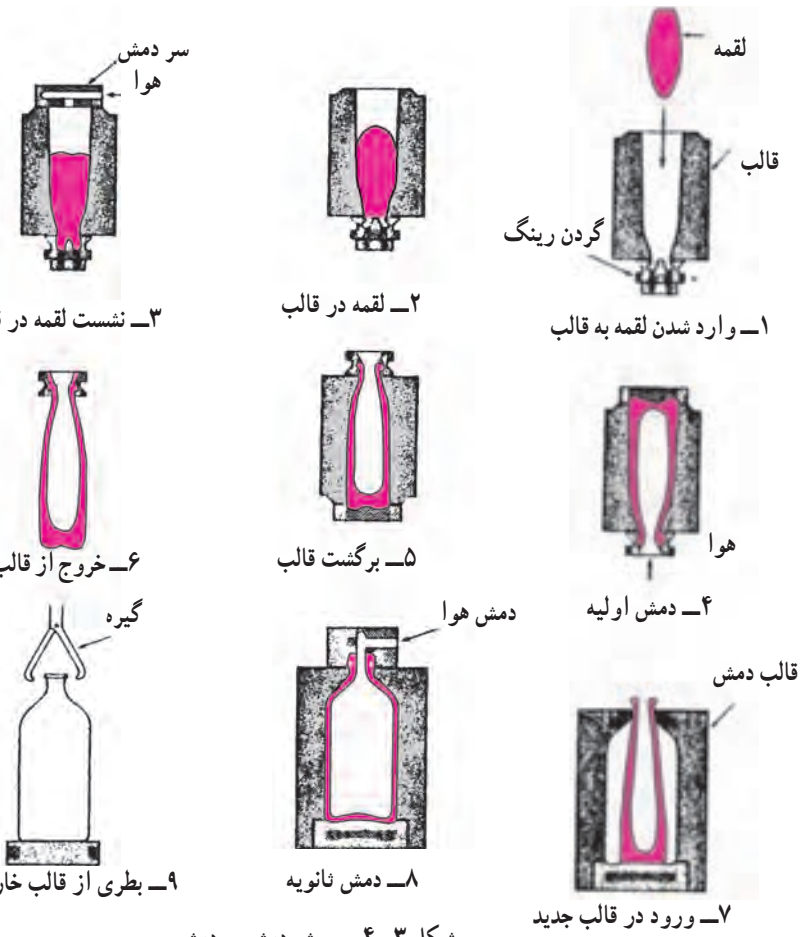
شکل ۱ــ۴ــ لقمه مذاب شیشه در شیشه‌گری دستی



شکل ۲ــ۴ــ دو نمونه از شیشه، که به صورت دستی شکل داده شده‌اند.

ب) روش دستگاهی: در این روش، ظروف شیشه‌ای معمولاً به سه شیوه شکل داده می‌شوند :

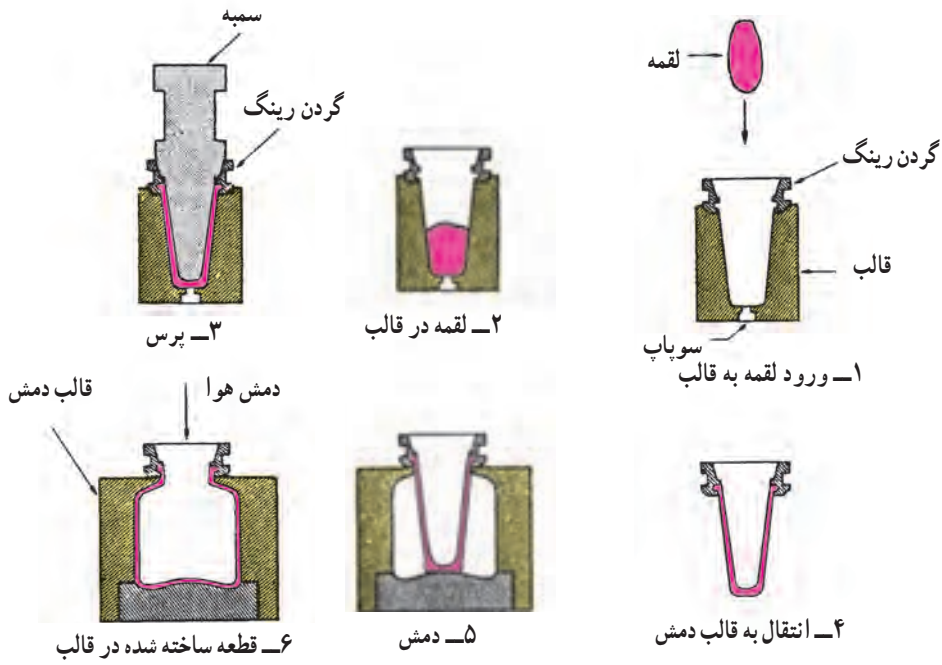
۱ــ روش دمش ــ دمش: به شکل ۳ــ۴ دقت کنید. در این روش لقمه در قالب اولیه خالی (Blank) وارد می‌شود ؛ سپس به دلیل وزن خود نشست می‌کند. در این حالت هوای اولیه به درون قالب دمیده می‌شود و باعث پرشدن قالب می‌گردد ؛ یعنی مذاب شیشه در داخل قالب اولیه به‌صورت توخالی پخش می‌شود. آن‌گاه، قطعه‌ی نیم‌ساخته از قالب اولیه خارج می‌گردد و سپس وارد قالب اصلی می‌شود. در مرحله‌ی هفتم، قطعه‌ی نیم‌ساخته گرم می‌شود تا برای شکل دادن آماده گردد ؛ سپس با دمش نهایی قطعه‌ی موردنظر ساخته می‌شود. در آخرین مرحله، با بازشدن قالب، محصول خارج می‌گردد و به کوره‌های گرمکن (کوره‌ی آنیل) منتقل می‌شود. همان‌گونه که مشاهده کردید از این روش برای تولید محصولاتی که دهانه‌ی تنگ دارند استفاده می‌شود. در واقع محصولاتی که قطر دهانه‌ی آن‌ها، کم‌تر از قطر بدنه‌ی آن‌هاست.



شکل ۳ــ۴ــ روش دمش ــ دمش

۲ــ روش پرس ــ دمش: به شکل ۴ــ۴ دقت کنید، در این روش، لقمه از قسمت فوقانی قالب خالی (Blank) وارد می‌شود ؛ سپس یک سمبه از بالا به قالب وارد می‌شود و شکل اولیه‌ی محصول ایجاد می‌شود ؛ یعنی در این روش، شکل ابتدایی به‌طریق پرس ایجاد می‌گردد.

قطعه‌ی نیم‌ساخته در این مرحله به‌وسیله‌ی یک اهرم، درون قالب اصلی یا قالب دمش قرار می‌گیرد. دقت کنید که این عمل نیز همراه با دوران محصول انجام پذیرد.



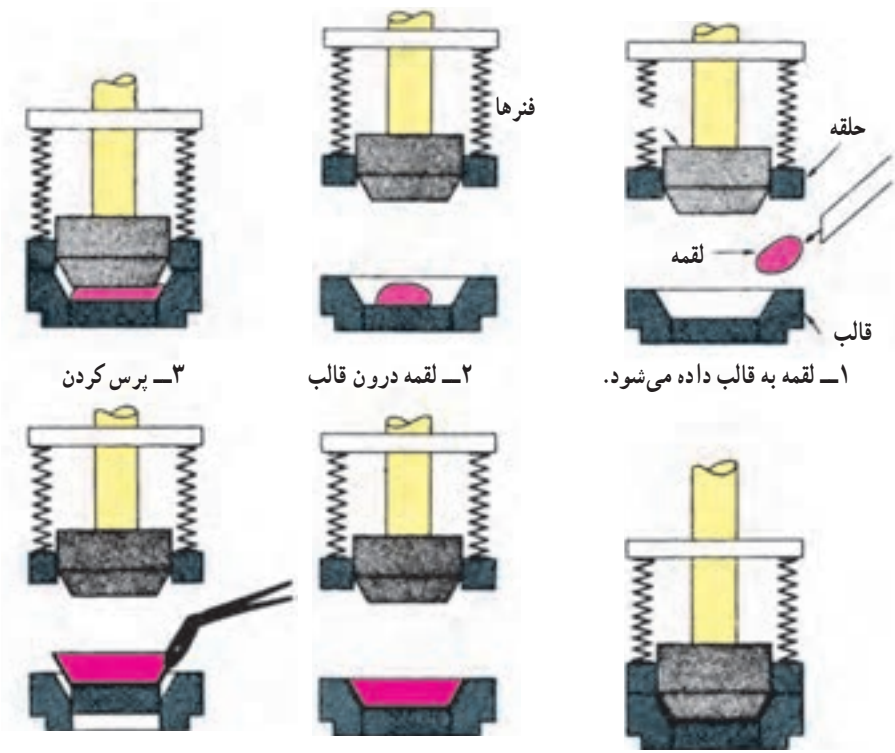
شکل ۴ــ۴ــ مراحل عمل روش پرس ــ دمش

در مرحله‌ی بعد، قالب همراه با محصول ابتدایی گرم می‌شود ؛ سپس شکل قطعه به‌وسیله‌ی دمش پدید می‌آید و در مرحله‌ی آخر، محصول ساخته شده از قالب خارج می‌گردد. این مرحله همراه با سرد کردن قالب انجام می‌گیرد تا محصول شکل داده شده استحکام پیدا کند.

این روش، برای تولید محصولات دهان گشاد مناسب است.

۳ــ روش پرس: در شکل ۵ــ۴ چگونگی شکل دادن به شیشه‌ها با پرس نشان داده شده است. روش پرس نیز ممکن است به‌صورت دستی و یا دستگاهی انجام شود. در پرس دستی، لقمه که در انتهای میله‌ی شیشه‌گری قرار دارد، به بالای قالب هدایت و با قیچی بریده می‌شود تا مقدار مذاب لازم برای شکل دادن وارد قالب گردد ؛ سپس به‌صورت دستی یا دستگاهی عمل پرس کردن انجام می‌گیرد.

پرس کردن شیشه‌ها با ماشین، از نظر اصول، شبیه پرس کردن دستی است ؛ با این تفاوت که در روش دستگاهی تعدادی قالب بر روی میز فلزی دواری چیده می‌شوند ؛ سپس میز طوری می‌چرخد که در هر مرحله لقمه‌ی موردنیاز وارد قالب شود. عمل بریدن لقمه نیز خودکار (اتوماتیک) انجام می‌گیرد ؛ از این‌رو، لقمه‌های انتخابی در این روش یکسان است. بعد از پرس کردن، لازم است قالب سرد شود تا قطعه پس از خروج از قالب و کمی سخت شدن، بتواند شکل خود را حفظ نماید. عمل سرد کردن با جریان هوای سرد انجام می‌گیرد.



۱ــ لقمه به قالب داده می‌شود.
۲ــ لقمه درون قالب
۳ــ پرس کردن
۴ــ پرس کامل شده است.
۵ــ قالب رها شده است.
۶ ــ قطعه از قالب جدا می‌شود.

شکل ۵ــ۴ــ مراحل پرس کردن شیشه

در تمامی مراحل شکل دادن شیشه لازم است قطعات شکل داده شده بلافاصله به گرم‌خانه منتقل شوند.

شکل‌دادن شیشه‌های جام (تخت)

شکل‌دهی به شیشه از نوع تخت، در طول تاریخ، تغییرات بسیاری داشته است. اما در همه‌ی این روش‌ها چند نکته‌ی مهم موردنظر بوده است.

۱ــ ضخامت شیشه در نقاط مختلف آن باید یکسان باشد.

۲ــ سطح آن صاف و عاری از پستی و بلندی باشد.

۳ــ امکان تولید آن با ابعاد (طول و عرض) زیاد، وجود داشته باشد.

بر این اساس، روش‌های شکل دادن به شیشه‌های جام (تخت) نیز به دو روش دستی و دستگاهی تقسیم‌بندی می‌شود :

۱ــ روش دستی: در این روش، مذاب به‌وسیله‌ی دمش به شکل استوانه‌های بزرگ توخالی درمی‌آید ؛ سپس آن را می‌برند و در دمای خاصی این ورقه‌های منحنی را به‌صورت مسطح درمی‌آورند.

در این روش، چون وضعیت دمیدن در همه‌ی نقاط یکسان نیست، محصولات فاقد ابعاد و ضخامت یک‌نواخت می‌شوند ؛ به‌خصوص این که سطح این شیشه‌ها عموماً موج‌دار است و امکان تولید پیوسته با این روش وجود ندارد ؛ هم‌چنین ابعاد محصول نیز دارای محدودیت است.

۲ــ روش‌های دستگاهی (غیردستی): شاید بتوان گفت که مهم‌ترین مزیت روش‌های دستگاهی شکل‌دادن به شیشه‌های تخت یا جام، امکان تولید پیوسته‌ی آن‌هاست. بعضی از روش‌های تولید شیشه‌ی جام به روش غیردستی بدین شرح است :

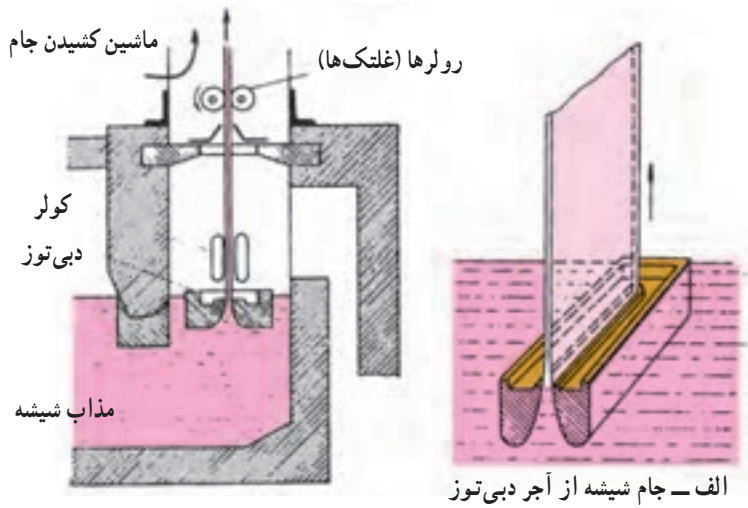
الف) روش فورکلت (Four Cault) :این روش را شخصی به نام «فورکلت» ابداع نمود. روش کار، استفاده از یک بلوک دیرگداز بزرگ به نام دبی توز[1] است که در وسط آن یک شکاف در طول ایجاد شده است.

این بلوک روی مذاب شیشه قرار می‌گیرد ؛ سپس از بالا به آن فشار وارد می‌گردد. بر اثر فشار، مذاب از شکاف بالا می‌زند. مذاب بالا آمده را با دمیدن هوا کمی سرد می‌کنند ؛ سپس آن را به همان صورت عمودی از بین چند غلتک عبور می‌دهند.

غلتک‌ها دو کار را به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهند : اول این که مذاب شیشه را به سمت بالا می‌کشند. این کار به‌صورت پیوسته انجام می‌شود. دوم، در شیشه‌ی جام، سطوح صاف و ضخامت یکسان ایجاد می‌گردد.

۱ــ Debi Teuse

این روش در مقایسه با روش‌های دستی، موجب تحولی در صنعت شیشه گردید. اما به مرور اشکالات آن بروز کرد که به چند مورد آن اشاره می‌شود :



الف ــ جام شیشه از آجر دبی‌توز بیرون کشیده می‌شود.

ب ــ ماشین فورکلت

شکل ۶ــ۴ــ روش فورکلت

۱ــ محدود بودن عرض شیشه به دلیل محدودیت عرض آجر دبی‌توز.

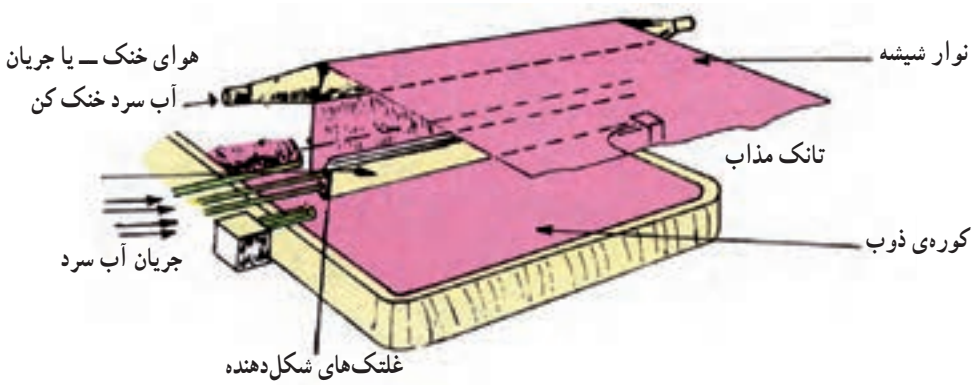
۲ــ عمود بودن سیستم تولید که نیاز به ارتفاع زیاد را ایجاب می‌کرد.

۳ــ ایجاد سرد شیشه در اطراف آجر دبی‌توز و باریک شدن یا انسداد شکاف آن.

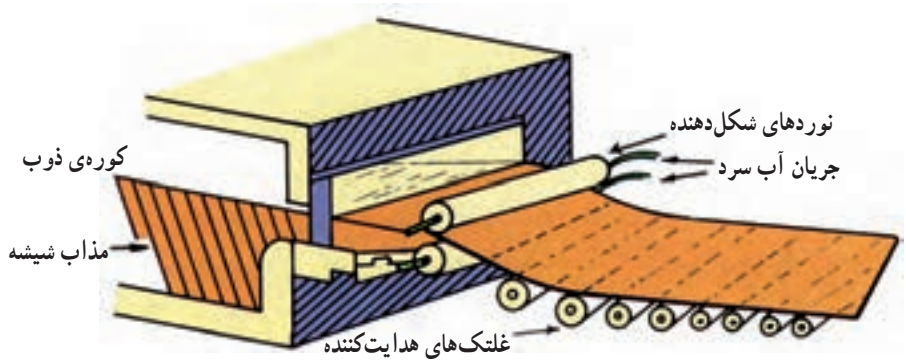
ب) روش کلبرن (Colburn) :در روش فورکلت، کشش شیشه به‌صورت عمودی انجام می‌گرفت ؛ بنابراین، ضرورت داشت تا گرم‌خانه‌ی مورد نیاز برای تنش‌زدایی شیشه‌ی تولید شده، به‌صورت عمودی ساخته شود.

در روش کلبرن، مذاب را به‌وسیله‌ی قلاب‌هایی به سمت بالا می‌کشند و پس از اندکی سرد کردن، آن را بر روی یک غلتک هدایت می‌کنند. با این عمل، کشیدن مذاب شیشه به صورت افقی انجام می‌گیرد. پس محدودیتی در طول گرم‌خانه وجود ندارد و می‌توان گرم‌خانه‌هایی با طول ۶۰ متر نیز ایجاد کرد (شکل‌های ۷ــ۴ و ۸ــ۴).

هرچه سرعت کشش بیش‌تر باشد، از ضخامت شیشه کاسته می‌شود. با این روش جام‌های شیشه‌ای با عرض ۳/۶ متر نیز تولید می‌شود.



شکل ۷ــ۴ــ روش کلبرن برای تولید شیشه جام

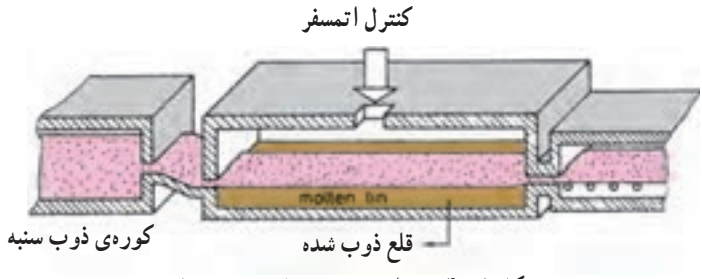


شکل ۸ــ۴

ج) روش «فلوت»[1] (شناوری): این روش اهمیت زیادی در ساخت شیشه‌های جام پیدا کرده است، زیرا محصولی که به این روش ساخته می‌شود، دارای کیفیت بالایی است ؛ ضخامت آن یکسان و سطح آن کاملاً صاف است. به همین دلیل، برای ساخت آینه، بیش‌تر از این نوع شیشه‌ها استفاده می‌شود.

در این روش، مذاب شیشه وارد حمام قلع مذاب می‌شود و بر روی آن شناور می‌گردد. درجه‌ی حرارت مذاب به آهستگی کم می‌شود ؛ به‌گونه‌ای که بتواند به دمایی برسد که روی غلتک برود و به گرم‌خانه منتقل شود. هرچه سرعت دَوَران غلتک بیش‌تر شود، سرعت کشش زیادتر و ضخامت محصول کم‌تر می‌شود.

۱ــ Float



شکل ۹ــ۴ــ تولید شیشه‌ی جام به روش فلوت

مذاب شیشه هنگامی که وارد حمام قلع می‌شود $1050^{\circ}C$ و به هنگام خروج و قرار گرفتن برروی غلتک‌ها $600^{\circ}C$ گرما دارد و چون نقطه‌ی ذوب قلع کم‌تر از این دماست $(232^{\circ}C)$ ، پیوسته به‌صورت مذاب خواهد بود. از طرف دیگر، چون وزن مخصوص$(6/5 g/cm^3)$ قلع بیش از شیشه است، شیشه می‌تواند به صورت شناور روی آن قرار گیرد ؛ هم‌چنین این شیشه $(2/3 g/cm^3)$ ارزان و قابل دست‌رس است. همه‌ی این‌ها دلایلی است که موجب انتخاب قلع می‌شود ؛ بنابراین، مذاب شیشه در حمام قلع قرار می‌گیرد و چون به‌صورت شناور است و هیچ جریانی در مذاب قلع وجود ندارد، سطح آن کاملاً صیقلی و ضخامت آن یک‌نواخت است. (شکل ۹ــ۴)

عملیات حرارتی شیشه

از آن جایی که محصولات شیشه‌ای پس از حالت مذاب سریعاً سرد شده‌اند به سرعت نیز انقباض می‌یابند ؛ بنابراین، حامل تنش‌های حرارتی هستند، به طوری که خواص محصول را تغییر می‌دهند. از این رو برای دست‌یابی به خواص مطلوب فرآورده‌های شیشه‌ای، لازم است این محصولات تحت عملیات حرارتی قرار گیرند. در واقع عملیات حرارتی باعث می‌شود تنش‌هایی که در حین سردشدن محصولات ذخیره شده‌اند رها شوند و به آن، مرحله‌ی «تنش‌زدایی» نیز گفته می‌شود.

دیرگداز (نسوز)

بسیاری از آجرها و بلوک‌هایی از جنس آلومینا، سیلیکا، مولایت و نظایر آن، به ویژه بلوک‌های نسوزی که در ساخت کوره‌های شیشه به‌کار می‌روند، همگی با روش ذوب و ریخته‌گری تولید می‌شوند. این روش دارای مزایا و معایبی است که در پی خواهد آمد.

مزایای ذوب و ریخته‌گری

۱ــ اولین و مهم‌ترین مزیت روش ذوب و ریخته‌گری این است که دست‌یابی به قطعات و محصولات بدون تخلخل را فراهم می‌سازد. دیرگدازهایی که با مذاب و سرباره در تماس هستند، هرچه تخلخل کم‌تری داشته باشند نفوذ مذاب به داخل آن‌ها کم‌تر می‌شود و در نهایت عمر آن‌ها زیادتر می‌شود.

۲ــ در صورت استفاده از ماده‌ی اولیه‌ی خالص، می‌توان به محصولی کاملاً متبلور دست یافت که درصد مواد آمورف (غیربلوری) آن کم باشد. مذاب‌ها فاز آمورف را سریع‌تر در خود حل می‌کنند ؛ از این رو، بلوک‌هایی که فاز آمورف کم‌تری دارند، عمر طولانی‌تری نیز خواهند داشت.

معایب ذوب و ریخته‌گری

۱ــ هنگام سرد کردن محصولات، انقباض زیاد است و امکان تشکیل حفره‌های انقباضی در قطعه وجود دارد ؛ یعنی بیش‌تر در قسمت میانی محصول، حفره (مک) به‌وجود می‌آید.

۲ــ اگر سرعت سردکردن زیاد باشد، ممکن است فاز شیشه (آمورف) زیادی تشکیل شود. می‌دانید که سرعت تبلور مذاب‌های سرامیکی پایین و دمای لازم برای ذوب مواد دیرگداز متفاوت است، اما عموماً از 1800° تا 2500° تغییر می‌کند ؛ بنابراین، با توجه به شرایط، برای کارهای آزمایشگاهی از کوره‌های الکتریکی القایی و در مقیاس صنعتی، از کوره‌های قوس الکتریکی استفاده می‌شود.

در کوره‌های القایی، به دلیل داشتن هدایت الکتریکی، از بدنه‌ی گرافیتی یا کربنی استفاده می‌شود. اما در کوره‌های قوس،به هدایت الکتریکی پاتیل یا بدنه‌ی کوره نیاز نیست. زیرا بین دو الکترود و یا بین یک الکترود و مواد اولیه (به شرط هادی بودن) قوس الکتریکی ایجاد می‌شود و حرارت ناشی از این عمل باعث ذوب مواد می‌گردد.

بعد از این که مواد اولیه ذوب شد، آن‌ها را به داخل قالب‌هامی‌ریزند و شکل می‌دهند. قالب‌های مورداستفاده برای ذوب و ریخته‌گری می‌تواند ماسه‌ای و گاهی فلزی نیز باشند.

هم‌چنین برای ترکیبات دیرگدازتر از آلومینای کلسینه شده یا حتی گرافیت استفاده می‌شود. چون انقباض در این روش زیاد است، محصولات را بزرگ‌تر از حد موردنیاز می‌سازند، سپس آن‌ها را برش داده به اندازه‌ی دل‌خواه درمی‌آورند.

همان‌گونه که می‌دانید، در فرآیند ذوب و ریخته‌گری، چون انجماد از کناره‌های قالب آغاز می‌شود و به تدریج به قسمت‌های میانی می‌رسد، لازم است این نوع محصولات پس از تولید، تحت عملیات حرارتی قرار گیرند تا به خواص مطلوب برسند.

به هر حال، گرچه این روش در مقایسه با ساخت محصولات سنتی کاربرد گسترده‌ای ندارد، اما محصولاتی که از این راه تولید می‌شوند، دارای خواص و ویژگی‌های بسیار مطلوبی هستند و در نوع خود منحصر به‌فردند ؛ بنابراین، تولید آن‌ها فقط با روش ذوب و ریخته‌گری امکان‌پذیر است. نقش این فرآورده‌ها در صنایع سرامیک و ذوب فلزات و ... بسیار چشم‌گیر است. در واقع باید گفت : هر صنعتی که به نوعی با حرارت بالا سر و کار دارد، نیازمند این نوع دیرگدازها (Fused Cast) است ؛ پس، اهمیت این محصولات روز به روز در حال افزایش است. در جدول ۲ــ۴ ویژگی‌های چند نوع از این محصولات را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲ــ۴ــ مقایسه‌ی خواص آجرهای ذوب و ریخته‌گری و زینتر شده

خواص	ذوب و ریخته‌گری شده با ۴۰ درصد ZrO_2 معروف به زاک* مورد مصرف در ساخت تانک کوره‌ی شیشه		به روش پرس شکل داده سپس در کوره زینتر شده است
ترکیب شیمیایی	ZAS٪۴۰	ZAS ٪۳۶	
ZrO_2	۴۰/۴	۳۶/۴	۱۹/۵
Al_2O_3	۴۵/۴	۵۰۱۷	۷۰
SiO_2	۱۲/۹	۱۱/۳	۱۰/۲
قلیایی	۱/۱	۱/۶	تـ
Fe_2O_3	۰/۱	ــ	تـ
TiO_2	۰/۱	ــ	تـ
ناخالصی	ــ	ــ	٪۰/۳
درصد تخلخل	۱	۱	۱۵ــ۲۳
استحکام خمشی (Psi) **	بیش از ۵۰۰۰	بیش از ۵۰۰۰	۲۰۰۰ ــ ۳۳۰۰
مقاومت دربرابر شوک حرارتی	متوسط تا خوب	متوسط تا خوب	خوب تا عالی
مقاومت در برابر سایش	عالی	عالی	متوسط تا خوب

* Z (زیر کونیا)، A (آلومینا)، C حرف اول نام شرکت Corbat Company.

** فشار برحسب پوند بر اینچ مربع

پرسش‌های فصل چهارم

۱ــ به چه دلایلی روش ذوب و ریخته‌گری کاربرد کم‌تری در شکل دادن سرامیک‌ها دارد؟

۲ــ دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده (Fused Cast) در مقایسه با دیگر دیرگدازها، چه ویژگی مهمی دارند؟

۳ــ چرا دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده را بزرگ‌تر از ابعاد مطلوب می‌سازند و سپس آن‌ها را برش می‌دهند؟

۴ــ روش ذوب و ریخته‌گری سرامیک‌ها عموماً در چه کوره‌هایی انجام می‌شود؟

۵ــ روش‌های شکل دادن ظروف شیشه‌ای را نام ببرید.

۶ــ انواع روش‌های شکل دادن شیشه جام را شرح دهید.

۷ــ مزیت شیشه‌ی فلوت (Float) را نسبت به سایر شیشه‌ها شرح دهید.

۸ــ چرا عملیات حرارتی بر روی محصولات شیشه‌ای و ذوب و ریخته‌گری انجام می‌شود؟

شکل ۱۰ــ۴ــ آیا می‌توانید روش شکل دادن هر یک از این محصولات را بیان کنید؟

فصل پنجم

خشک کردن سرامیک‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ خشک‌کردن را تعریف کند.

۲ــ عوامل مؤثر برخشک شدن را بیان کند.

۳ــ انواع آب‌های موجود در قطعات سرامیکی را نام ببرد.

۴ــ مکانیسم انتقال آب از قطعه حین خشک شدن را شرح دهد.

۵ــ حالت چرمینگی قطعه را شرح دهد.

۶ــ دلیل انقباض خشک قطعه را توضیح دهد.

۷ــ مکانیزم‌های انتقال حرارت را نام ببرد.

۸ــ خشک‌کن‌ها را براساس عملیات کاری تقسیم‌بندی کند.

۹ــ خشک‌کن‌ها را براساس مکانیزم انتقال حرارت تقسیم‌بندی کرده نام ببرد.

۱۰ــ نحوه‌ی خروج آب از قطعه‌ی سرامیکی را بازگو کند.

۱۱ــ تأثیر ابعاد قطعه بر روی سرعت خشک شدن را توضیح دهد.

۱۲ــ دلایل بروز عیب در حین فرآیند خشک شدن را نام ببرد و هر یک را شرح دهد.

مقدمه

در فصل‌های پیشین روش‌های مختلف شکل‌دادن سرامیک‌ها را آموخته‌ایم. با دقت در فرآیند شکل دادن و هم‌چنین در مرحله‌ی آماده‌سازی در می‌یابیم که در بیش‌تر موارد از آب استفاده می‌شود. گاه برای آماده‌سازی مواد اولیه و گاه به عنوان محمل برای سیلان و حرکت ذرات جامد در یک دوغاب، زمانی به بروز پلاستیسیته‌ی مواد رسی کمک می‌کند و گاه نیز با مقادیر بسیار کم، رطوبت مورد نیاز فرآیند شکل دادن را توسط پرس تأمین می‌کند.

آب در مراحل مختلف فرآیند ساخت سرامیک‌ها کاربرد گسترده‌ای دارد. اما در پایان مراحل تقریباً در تمامی این کاربردها لازم است تا آب مصرفی از قطعه خارج شود و این عمل عمدتاً در خشک‌کن‌ها صورت می‌گیرد.

خروج آب از قطعه باعث نزدیک‌تر شدن ذرات جامد سرامیکی به یکدیگر و کاهش ابعاد محصول می‌گردد. میزان این انقباض وابستگی مستقیمی به میزان آب مصرفی در مراحل قبلی دارد. ولی سؤالی دراین مورد مطرح است :

آیا خروج آب به هر روشی خشک‌کردن نام دارد؟

آیا کاهش آب دوغاب توسط فیلتر پرس نیز خشک‌کردن نام دارد؟

به طور کلی خشک کردن خروج آب از نمونه‌ی شکل داده شده به طریق تبخیر است. به عبارت دیگر، انتقال حرارت از محیط بر قطعه و انتقال هم‌زمان آب در جهت مخالف فرآیند خشک‌کردن نامیده می‌شود.

بر مبنای همین تعریف خشک‌کردن محصولات سرامیکی می‌تواند به صورت طبیعی در هوای آزاد مانند خشک‌کردن آجرهای ساختمانی، انجام پذیرد. از طرف دیگر خشک‌کردن یک محصول سرامیکی می‌تواند درخشک‌کن‌های تنها پیوسته تونلی یا خشک‌کن‌های غیر پیوسته انجام پذیرد. گاه زمان خشک‌کردن بر چند ده ساعت به طول می‌انجامد و گاه با استفاده از ماکروویو می‌توان زمان خشک‌شدن را به چند دقیقه کاهش داد.

همان‌طورکه گفته شد هم‌زمان با خروج آب، محصول کوچک و کوچک‌تر می‌شود. اما انقباض تا پایان مرحله‌ی خشک‌کردن ادامه نمی‌یابد. در حقیقت خروج بخشی از آب باعث انقباض قطعه می‌شود ولی در مراحل پایانی خشک‌شدن انقباض پایان پذیرفته است. اما نکته‌ی قابل توجه این است که مرحله‌ی خشک‌شدن قطعه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است زیرا تغییرات ابعادی قطعات سرامیکی ممکن است عیوبی مانند تاب، تَرَک و یا دفرمگی ایجاد کند. در حقیقت کنترل دقیق مرحله‌ی خشک‌کردن ضامن تولید محصولاتی بدون عیب یا با ضایعات کم‌تر است.

در تمامی تکنیک‌های خشک‌کردنِ سرامیک‌ها تلاش شده است تا زمان خشک‌کردن کوتاه‌تر و دمای مصرفی کم‌تر شود. کارشناسان و محققان سرامیک می‌کوشند تا به منظور بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن، سریع‌ترین تکنیکی را معرفی نمایند که ضایعات و عیوب را به حداقل برساند.

اغلب در فرآیند آماده‌سازی مواد اولیه، شاهد افزودن آب به آن‌ها هستیم، با این عمل، آماده‌سازی آسان‌تر و بهتر انجام می‌شود ؛ هم‌چنین درصنایع سرامیک‌های سنتی، شکل‌دهی پودر پلاستیک همراه

با عامل کمکی آب صورت می‌گیرد، زیرا این عامل کمکی زمینه‌ی لازم را برای حرکت و لغزش ذرات بر روی یکدیگر فراهم می‌سازد و شکل‌دهی آن‌ها را آسان می‌گرداند. در صورتی که ذرات خشک قابلیت جابه‌جایی بر یکدیگر ندارند و عملاً شکل‌دهی قطعات سرامیکی پیچیده، غیرممکن می‌گردد.

این عامل کمکی پس از آماده‌سازی مواد اولیه و یا شکل‌دهی بدنه‌ی سرامیکی از فرآیند تولید خارج می‌گردد. خروج آب به روش‌های گوناگون و با توجه به نوع آب درون قطعه صورت می‌گیرد. این عمل اگر به‌وسیله‌ی انتقال حرارت صورت پذیرد «فرآیند خشک شدن» نامیده می‌شود.

هم‌چنین خروج آب از نمونه‌ی شکل یافته ــ از طریق تبخیر ــ «خشک کردن» نام دارد.[1]

به عبارت دیگر : **انتقال حرارت از محیط به قطعه و انتقالِ هم‌زمان آب در جهت مخالف را «فرآیند خشک کردن» نامند.**

آب به دلایل مختلف به قطعه وارد می‌گردد و در مراحل مختلف و با روش‌های متفاوت از قطعه خارج می‌شود. شکل و حالت آب در قطعه، روش خروج آب و دمای آن را تعیین می‌کند.

عوامل مؤثر بر خشک شدن سرامیک‌ها

به‌طورکلی عوامل مؤثر بر خشک‌شدن سرامیک‌ها را می‌توان به عوامل بیرونی و درونی، به شرح زیر، طبقه‌بندی نمود :

الف) عوامل بیرونی مؤثر بر فرآیند خشک‌کردن

روش‌های انتقال حرارت و میزان رطوبت و شدت جریان هوا در خشک‌کردن، از جمله عوامل بیرونی به شمار می‌روند.

بدیهی است هرچه از میزان رطوبت موجود در هوا کاسته شود ؛ به عبارت دیگر هرچه هوای خشک کن خشک‌تر باشد، سرعت خشک شدن محصولات بیش‌تر می‌شود. این موضوع را می‌توان در مقایسه‌ی خشک شدن لباس‌های شسته شده در تابستان و زمستان یا در شهرهای مرکزی با هوای خشک و شهرهای کنار دریا با رطوبت زیاد، بهتر درک نمود.

از سوی دیگر افزایش سرعت جریان هوا نقش مؤثری در افزایش سرعت خشک‌کردن دارد. با افزایش سرعت جریان هوا رطوبت تبخیر شده از قطعه دور می‌شود و امکان خروج مجدد بخارات آب فراهم می‌گردد.

در ادامه، روش‌های مختلف انتقال حرارت خواهد آمد.

۱ــ خشک کردن سرامیک‌ها به‌وسیله‌ی امواج مایکروویو نیز صورت می‌گیرد.

ب) عوامل درونی مؤثر بر فرآیند خشک کردن

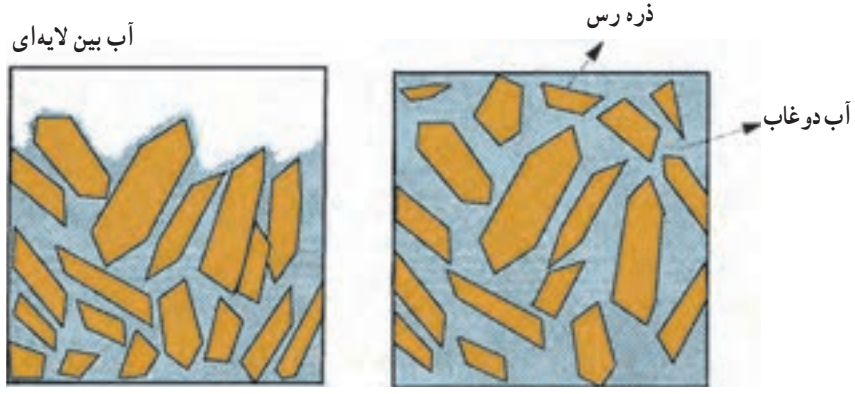
تمامی عواملی که درون قطعه رخ می‌دهد تا آب از لایه‌ی داخلی قطعه به سطوح خارجی منتقل شود عوامل درونی نام گرفته‌اند ؛ از آن جمله می‌توان به چگونگی حرکت آب در داخل قطعه چه به‌صورت مایع و چه به صورت بخار اشاره نمود. اما لازم است انواع آب‌ها و نقش آن‌ها را در خشک‌کردن سرامیک‌ها معرفی نمود.

انواع آب در ساخت سرامیک

ممکن است این برداشت نادرست، که در ساخت یک قطعه، از انواع مختلف آب بهره گرفته می‌شود، به ذهن خطور کند. حال آن که منظور از معرفی انواع آب، اشاره به نقش و وظیفه‌ی قسمتی از آب مصرفی در ساخت سرامیک‌هاست، که رفتار خشک شدن یا دیگر رفتارهای محصول را تبیین می‌نماید. مقادیر زیاد آب ؛ مثلاً در فرآیند ساخت دوغاب، در شکل دادن با رطوبت کم توسط پرس نیمه‌خشک، نقش متفاوتی دارد. در معرفی انواع آب می‌توان از مقادیر زیاد آب به سمت مقادیر کم‌تر آب حرکت کرد.

آب دوغاب (سوسپانسیون): آماده‌سازی مواد اولیه‌ی سرامیکی و بدنه همواره با افزودن حدود ۵۰٪ آب همراه است. آب، ذرات مواد اولیه‌ی موجود در بدنه را کاملاً از یک‌دیگر باز می‌کند و به‌صورت دوغاب (سوسپانسیون) درمی‌آورد. این آب را آب سوسپانسیون یا آب دوغاب نامند که در حین شکل دادن، یا قبل از آن به‌وسیله‌ی قالب یا فیلتر پرس یا ته‌نشین‌سازی، خارج می‌شود و دوغاب به گل تبدیل می‌گردد و معمولاً به مرحله‌ی خشک شدن نیز نمی‌رسد. (شکل ۱ــ۵ــ الف)

آب بین لایه‌ای یا بین ذره‌ای: بعد از آن که آب سوسپانسیون خارج شد ذرات تقریباً به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند و آب به صورت فیلمی نازک (از چند نانو تا چند میکرون) پیرامون ذرات باقی می‌ماند. این آب به «آب بین لایه‌ای» معروف است. (شکل ۱ــ۵ــ ب)



شکل ۱ــ۵

قطعه در این حالت به شکل گل پلاستیک است و بسته به میزان آب گل پلاستیک، هرچه میزان آب کاهش یابد نیروی لازم جهت شکل‌دادن پلاستیک بیش‌تر می‌شود. خروج آب بین لایه‌ای معمولاً منجر به انقباض محصول می‌شود. به‌همین دلیل گاهی به آن «آب انقباضی» نیز گفته می‌شود.

آب تخلخل

با خروج «آب بین لایه‌ای» ذرات به یک‌دیگر می‌پیوندند و انقباض پایان می‌پذیرد و حال آن که قطعه هنوز خشک نشده است. در این حالت قطعه را می‌توان مانند اسفنج فرض کرد، زیرا قطعه دارای حفره‌ها و تخلخل‌های مملو از آب بسیاری است. آب درون حفره‌ها و تخلخل‌ها را «آب تخلخل» نامند. بدیهی است در صورت ادامه‌ی خشک‌کردن با خروج «آب تخلخل» حین خشک‌شدن، انقباض مشاهده نمی‌شود.

آب جذب شده

مولکول آب به دلیل پیوند میان اکسیژن و هیدروژن جهت دار و قطبی است. از سوی دیگر، می‌دانیم ذرات رس دارای بار الکتریکی هستند زیرا در سطح ذرات، پیوندهای اشباع نشده وجود دارد. شکست ذره‌ی رس عامل بار است. بنابراین، اگر مولکول قطبی آب در مجاورت این ذره‌ی رس قرار گیرد پیوند نسبتاً ضعیفی با ذره ایجاد می‌کند. این آب دارای ابعاد مولکولی است و از طریق نیروی فیزیکی «واندروالس» جذب ذره می‌شود. این آب را «آب جذب شده» گویند. حالت جذبی آب باعث می‌شود در دمای بالاتر از ۱۰۰°C از قطعه خارج گردد، زیرا دلیل این امر، همان طورکه گفته شد پیوند نسبتاً ضعیف است.

آب شیمیایی (آب هیدراته): آب یکی از اجزای سازنده‌ی شبکه‌ی مینرال به‌شمار می‌آید و هرچند به‌صورت فیزیکی در این شبکه (مینرال) موجود نیست، اما به صورت OH در آن وجود دارد. اگر به ساختمان کائولینیت نگاه کنیم دو مولکول(H_2O) خواهیم یافت که جزء ساختار شبکه کائولینیت ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) است. این آب عملاً وجود ندارد و نمی‌تواند در دمای پایین از شبکه خارج گردد، زیرا خروج آن مستلزم شکست پیوند (OH) در ساختمان است؛ از این‌رو برای شکست پیوند و تأمین انرژی به دمای بالا نیاز دارد؛ برای مثال، آب شیمیایی کائولینیت در دمای بالاتر از ۴۰۰°C آزاد می‌شود و از آن خارج می‌گردد. در دمای بالاتر از ۴۰۰°C پیوندهای هیدروکسیلی (OH) شکسته می‌شود، و آب تشکیل می‌گردد و در حقیقت در این دما به صورت بخار از مینرال خارج می‌شود.

مکانیسم انتقال و خروج آب از قطعه حین خشک‌شدن

همان‌طورکه قبلاً گفته شد، خروج آب دوغاب (سوسپانسیون) به کمک فیلتر پرس یا قالب گچی انجام می‌شود و عموماً در خشک کن انجام نمی‌شود. تنها در برخی موارد مثل صنعت کاشی دوغاب وارد خشک‌کن پاشیدنی (اسپری درایر) می‌شود تا پودر گرانول مرطوب تهیه شود.

در این حالت حجم زیاد آب دوغاب به طور سریع خشک می‌شود. از آن‌جایی که محصول به‌دست‌آمده به‌صورت پودر است و نه یک محصول ساخته شده، انقباض، تَرَک و دیگر عیوب در آن مشاهده نمی‌شود و یا چندان اهمیتی ندارد ؛ زیرا چنین پودری در فرآیند شکل‌دادن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در حقیقت مراحل ابتدایی خشک‌کردن سرامیک‌ها با خروج آب بین لایه‌ای یا آب انقباض آغاز می‌گردد. هنگامی که یک قطعه‌ی خیس مانند قوری و قندان که به روش ریخته‌گری دوغابی شکل داده شده یا بشقاب و کاسه که به صورت پلاستیک ساخته شده‌اند در خشک‌کن قرار می‌گیرند، ابتدا سطح قطعه شروع به خشک‌شدن می‌کند. در همین حال به‌دلیل به‌وجودآمدن اختلاف درصد آب بین لایه‌ی سطحی و لایه‌ی درونی که معروف به شیب رطوبتی است، آب از درون به سمت بیرون قطعه حرکت می‌کند تا یک‌نواختی رطوبت دوباره برقرار گردد. در این مرحله آب به‌صورت مایع حرکت می‌کند. همزمان با خروج آب از قطعه، درصد رطوبت کلی محصول کاهش می‌یابد و انقباض یا نزدیک شدن ذرات به‌دلیل خروج آب رخ می‌دهد. در تمامی این مرحله از خشک شدن، آب به صورت مایع از درون به سطح می‌آید و با تبخیر از سطح خارج می‌گردد.

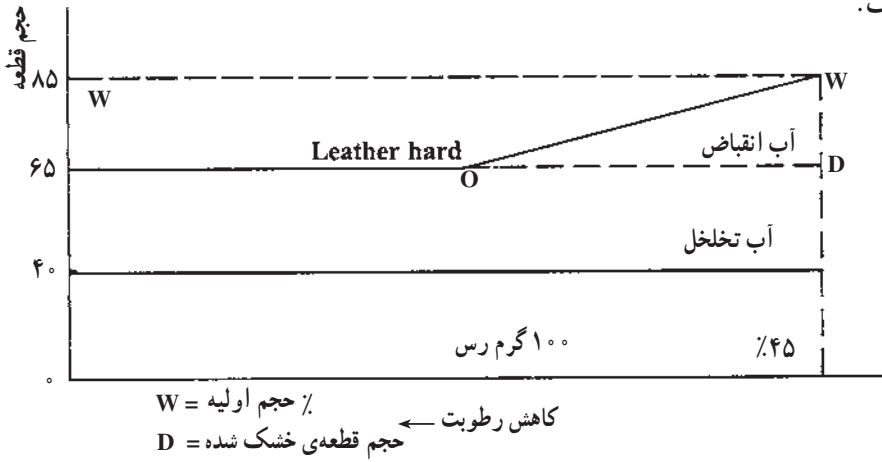
در پایان این مرحله که انقباض هم پایان می‌پذیرد، قطعه‌ی مرطوب تخلخل‌های زیادی دارد و مملو از آب است و قطعه از حالت گل پلاستیک به‌صورت دونم چرمینه درآمده است.

به همین دلیل پایان مرحله‌ی اول خشک شدن در سرامیک، به نقطه‌ی چرمینگی یا نقطه‌ی لدرهارد معروف است. در این مرحله رنگ قطعه روشن‌تر می‌شود و به رنگ خاک خشک یعنی رنگ تقریباً سفید شیری درمی‌آید. تغییر رنگ قطعه حین خشک‌شدن، نشان‌عبور از نقطه‌ی لدرهارد دارد.

در مرحله‌ی چرمینگی قطعه از استحکام نسبی برخوردار است. بنابراین، عملیات پرداخت را می‌توان در این مرحله با رطوبت کم‌تر از حالت چرمینگی آغاز کرد. این نقطه‌ای است که سفالگران سنتی به آن «دونم» می‌گویند.

با ادامه‌ی فرآیند خشک‌کردن، رطوبت موجود در قطعه، ابتدا در لایه‌ی درونی تبخیر می‌شود، سپس به‌صورت بخار خارج می‌گردد. در حقیقت آب درونِ خُلَل و فُرَج تخلیه می‌شود و این کار تا خشک‌شدن کامل قطعه ادامه می‌یابد.

در نمودار زیر تغییرات حجم قطعه، حین خشک‌شدن و نقطه‌ی چرمینگی، نشان داده شده است.



فرض کنید از ۱۰۰ گرم رس خشک و ۴۵٪ رطوبت، یک قطعه سرامیکی مرطوب ساخته شده است و حجم قطعه‌ی ساخته شده، پس از دانسیته مواد اولیه از خشک شدن کامل، ۴۰ سانتی‌مترمکعب باشد. در این صورت حجم قطعه‌ی مرطوب در آغاز مرحله‌ی خشک‌شدن ۸۵ سانتی‌متر مکعب است. با آغاز مرحله‌ی خشک‌کردن، رطوبت کاهش می‌یابد و معادل حجم آب خارج شده حجم قطعه نیز کاسته می‌شود (از W تا O) تا نقطه‌ی مرز لدرهارد برسد که انقباض پایان یافته است که حجم قطعه به ۶۵ سانتی‌مترمکعب می‌رسد درصد رطوبت O با ادامه فرآیند خشک‌کردن (از O تا D)، باقی مانده آب از قطعه مرطوب خارج می‌شود اما حجم قطعه تغییر نمی‌کند ؛ چون از مرز لدرهارد گذشته است. یعنی حجم ثابت می‌شود. در این حالت با خروج رطوبت از تخلخل‌ها، هوا جای آن‌را می‌گیرد. در پایان خشک‌کردن، حجم نهایی قطعه ۶۵ سانتی‌متر مکعب است که ۴۰ سانتی‌مترمکعب آن حجم رس و ۲۵ سانتی‌مترمکعب آن حجم خُلَل و فُرَجِ موجود در قطعه است.

شایان ذکر است که چون در «نقطه‌ی چرمینگی» انقباض پایان می‌پذیرد، احتمال ترک‌خوردن و معیوب شدن نیز کم‌تر می‌شود. از این رو در مرحله‌ی اولیه‌ی خشک‌کردن سرامیک‌ها لازم است تا سرعت خشک‌کردن آهسته باشد و پس از عبور از «نقطه‌ی لدرهارد» می‌توان سرعت خشک کردن را با افزایش دما یا سرعت جریان هوا افزایش داد.

مکانیسم انتقال حرارت

گرما چیست؟ انسان از گذشته‌های بسیار دور در برابر این پرسش قرار داشته است و متناسب

با دانش زمان خود، جوابی به این پرسش داده است.

یونانیان قدیم گرما (آتش) را یکی از عناصر چهارگانه‌ی اولیه‌ی هستی می‌دانستند که جهان از آن ساخته شده است. پس از آن در علم کیمیا از عناصر گرمازا یاد کرد. یعنی برخی از عناصر قابلیت تولید گرما را دارند. سرانجام، با بیان تئوری مولکولی، ماهیت گرما را کاملاً تعریف کردند :

گرما نوعی از انرژی است که به سبب اختلاف دمای دو سیستم، از یک سیستم به سیستم دیگر انتقال می‌یابد.

به‌طور کلی قطعات سرامیکی با انتقال حرارت از بیرون به بدنه‌ی آن‌ها خشک می‌شوند.

گرما به‌روش‌های مختلفی مانند استفاده از مشعل، که با سوخت‌های فسیلی یا گاز کار می‌کنند، الکتریسیته و امواج مایکروویو تولید می‌شود. حتی از گرمای خروجی کوره و اگزوز برای گرم‌کردن خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود. اما چگونگی انتقال حرارت از منبع تولید گرما به محصول در حال خشک‌شدن بسیار اهمیت دارد.

نحوه‌ی انتقال حرارت از خارج به قطعه با سه روش میسر و ممکن خواهد بود :

ـ هدایت،

ـ همرفت (کنوکسیون)،

ـ تشعشع(تابش).

هدایت

اگر ابتدای میله‌ای فلزی را بر روی شعله قرار دهیم پس از مدتی انتهای میله گرم خواهد شد. چگونه این عمل را توجیه می‌کنید؟

هرگاه قسمتی از ماده را گرم کنیم به آن انرژی حرارتی داده‌ایم ؛ به عبارت دیگر، با حرارت دادن، انرژی منتقل شده به‌صورت جنبش مولکولی در ماده ظاهر می‌گردد.

به علت تماس مولکول‌ها با یکدیگر جنبش مولکولی با سهولت به دیگر نقاط منتقل می‌شود و با این عمل، انرژی یا گرما از یک جهت به نقاط دیگر منتقل می‌گردد.

جابه‌جایی انرژی حرارتی که به وسیله‌ی مولکول‌های ماده (جسم جامد) صورت می‌گیرد، «هدایت حرارتی» نام دارد. در این مکانیزمِ انتقال، وجود مولکول‌ها ضروری است، زیرا عامل هدایت‌اند.

هرگاه یک قطعه‌ی سرامیکی را روی سطح گرم قرار دهیم، حرارت از سطح گرم به قطعه و

سپس به داخل قطعه هدایت خواهد شد، زیرا هرگاه میان دو نقطه اختلاف دما وجود داشته باشد انتقال حرارت انجام می‌گیرد و همواره انتقال از نقطه‌ی گرم به نقطه‌ی سرد خواهد بود.

در خشک‌کن‌های کف گرم محصولات شکل‌داده شده را بر روی یک سطح گرم، جهت خشک‌شدن قرار می‌دهند.

همرفت (کنوکسیون)

آیا به نحوه‌ی گرمادهی رادیاتورهای شوفاژ فکر کرده‌اید؟ چگونه هوای اتاق گرم می‌گردد؟ در مکانیزم هدایت وجود جسم جامد و مولکول‌ها ضروری بود، اما در این حالت، مولکول‌ها با یک‌دیگر تماس مستمر ندارند. پس انتقال حرارت چگونه رخ می‌دهد؟

بهترین نمونه‌ی انتقال حرارت با مکانیزم همرفت، نحوه‌ی گرمادهی اتاق از طریق رادیاتورهای گرم است. مولکول‌های هوا از کنار رادیاتورها عبور می‌کنند و گرم می‌شوند. می‌دانیم هوای گرم به دلیل سبک بودن به سمت بالا می‌رود و هوای سرد جانشین آن می‌شود و چرخش مداوم هوای گرم و سرد در اتاق به گرمادهی در کل اتاق منجر می‌گردد.

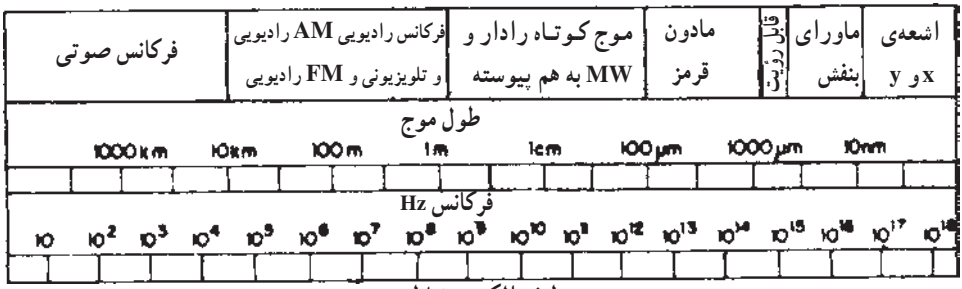
به طور کلی در همرفت (کنوکسیون)، یک سیال (هوا) از روی قطعه عبور می‌نماید. در این حالت، مولکول سیال که گرم است قطعه را گرم می‌کند. لازمه‌ی این مکانیزم وجود سیال و فعال بودن مولکول گاز گرم است. در این انتقال (همرفت)، حرکت و جریان هوا (انتقال جرم) لازم است و هوای گرم در این شیوه، تأمین حرارت لازم را برای خشک شدن قطعه از سطح تأمین می‌کند. خشک‌کن کنوکسیونی در صنایع سرامیک به کار می‌برند و با انتقال هوای داغ به داخل یک محفظه باعث می‌شود هوای گرم به سمت قطعه حرکت کند و موجب گرم‌کردن و نهایتاً خشک‌شدن آن شود.

تشعشع

خورشید مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده‌ی انرژی حرارتی کره‌ی زمین است. حرارت خورشید چگونه انتشار می‌یابد؟

در این مکانیزم، انتقال حرارت از طریق هدایت، مطرح نمی‌گردد. چرا؟ مکانیزم همرفت را نیز نمی‌توان روش مناسب انتقال حرارت دانست، زیرا فاصله‌ی زمین تا ستاره‌ی خورشید را فضای تقریباً خالی از مولکول دربر گرفته است. پس باید مکانیزمی را جست‌وجو کرد که حرارت، بدون نیاز به جسم جامد یا سیال (هوا)، منتقل و منتشر شود و از جسم گرم به جسم سرد، بدون دخالت هوای بین

آن‌ها، انتقال یابد. از سطح خارجی اجسام، انرژی‌ای ساطع می‌شود که می‌تواند از طریق امواج الکترومغناطیس (شکل ۲ــ۵) جابه‌جا گردد.



شکل ۲ــ۵

خروج دایمی انرژی از سطح ماده را «تابش» گویند. انتقال حرارت در مکانیزم تابش یا تشعشع نیاز به مولکول‌های مواد ندارد و همان‌گونه که گفته شد، انتقال انرژی از طریق امواج صورت می‌گیرد. این امواج، مادون قرمز نامیده می‌شوند. همه‌ی اجسام، توانایی تابش (تشعشع) دارند[1]، اما مقدار این توانایی متفاوت است. توانایی انتقال حرارت به‌وسیله‌ی تابش به دلایلی چند مربوط است که خارج از بحث ماست و در مقاطع بالاتر بدان خواهیم پرداخت. خشک‌کن‌های الکتریکی که المنت‌های حرارتی با تشعشع خود قطعه را خشک می‌کند نمونه‌ای از خشک‌کن‌های تشعشعی است.

انتقال حرارت در مکانیزم تشعشع، همانند مکانیزم همرفت، فقط سطح قطعات را گرم می‌کند و انتقال گرما به درون قطعه را از طریق مکانیزم هدایت انجام می‌شود.

گرچه در این قسمت تلاش شده است تا مکانیسم‌های انتقال حرارت به‌طور مجزا معرفی شوند اما در حقیقت هر مکانیسمی به‌تنهایی حرارت را منتقل نمی‌کند. به‌عنوان مثال در خشک‌کن‌های هدایتی، علاوه بر گرم‌شدن قطعات، هوای اطراف هم گرم می‌شود و کنوکسیون رخ می‌دهد. دیگر این‌که هر قطعه، از خود گرمی تشعشع می‌کند و این تابش توسط اجسام سرد جذب می‌شود. در یک رادیاتور شوفاژ، که اتاق را گرم می‌کند، بیش‌تر حرارت انتقالی توسط مکانیسم کنوکسیون صورت می‌گیرد، ضمن این که لوله‌ها و رادیاتور حاوی آب گرم در لوله و کف اتاق را نیز گرم می‌کند. هم‌چنین گرمای رادیاتور با تشعشع خود در گرم کردن اتاق نقش دارد. در حقیقت همه‌ی مکانیسم‌های انتقال حرارت فعال‌اند، اما ممکن است یکی از آن‌ها نقش اصلی را داشته باشد و خشک‌کن ساخته شده به تبعیت از عامل اصلی، خشک‌کن هدایتی، کنوکسیونی و یا تابشی نامگذاری می‌شود.

۱ــ هر جسم به‌طور پیوسته تشعشع می‌نماید ؛ مگر آن که به دمای صفر مطلق برسد.

انواع خشک‌کن‌ها در صنعت سرامیک

از دیرباز سفالگران قطعات ساخته شده را در فضای باز کارگاه‌ها قرار می‌دادند تا خشک و آماده‌ی پخت شوند، اما امروزه استفاده از این شیوه غیراقتصادی است و هم‌چنین زمان بسیاری را صرف می‌کند تا قطعه کاملاً خشک شود. اجرای این شیوه در کارخانجات بزرگ و با تولید بالا ناممکن است زیرا فضای بسیار وسیعی را برای خشک کردن قطعات تولیدی لازم دارد. از سوی دیگر خشک شدن قطعات در آب و هوای مرطوب به راحتی میسر نیست. بنابراین، طراحی و ساخت اتاقک‌هایی با ابعاد مختلف برای خشک کردن قطعات ضروری است. طراحی و تولید خشک‌کن‌ها براساس نوع، حجم و ابعاد قطعاتی که باید خشک شوند انجام گرفته است.

خشک‌کن‌ها به روش‌های متفاوت طبقه‌بندی شده‌اند، اما بهترین دسته‌بندی خشک‌کن‌ها، طبقه‌بندی براساس عملکرد آن‌هاست.

خشک‌کن‌ها از نظر عملکرد دو نوع‌اند : خشک‌کن‌های پیوسته (مداوم) و غیر پیوسته (غیرمداوم).

خشک‌کن‌های غیرپیوسته (متناوب)

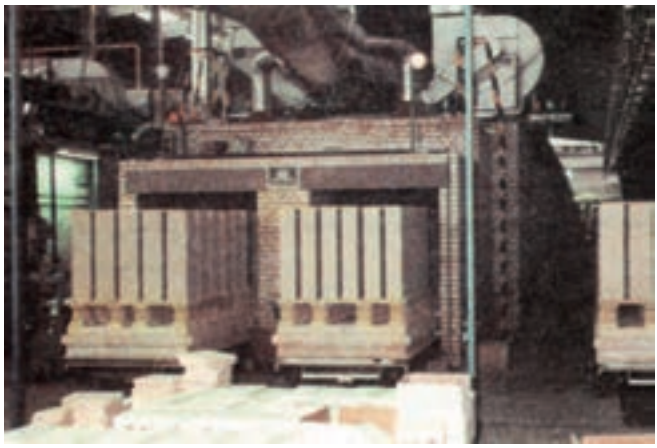
خشک‌کن‌های غیرپیوسته ساختمان ساده‌ای دارند. در این خشک‌کن‌ها قطعات خشک‌شدنی در اتاقک خشک‌کن قرار می‌گیرد ؛ سپس خشک‌کن روشن و گرم می‌شود (تغییر مقدار رطوبت قطعه به جریان هوا و زمان قطعه در خشک‌کن بستگی دارد). در این خشک‌کن‌ها، وضعیت خشک‌شدن را می‌توان با تغییردما یا هوای درون خشک‌کن، در هر لحظه تنظیم کرد. گفتنی است قطعات در حین خشک شدن هم‌چنان در خشک‌کن هستند و پس از پایان مرحله‌ی خشک‌شدن از آن خارج می‌شوند. خشک‌کن‌های غیرپیوسته (شکل ۳ــ۵)می‌توانند بزرگ و یا مشابه خشک‌کن‌های آزمایشگاهی کوچک باشند.

شکل ۳ــ۵ــ خشک‌کن غیرپیوسته (مرحله‌ای)

خشک‌کن‌های پیوسته

دما در خشک‌کن‌های پیوسته در تمامی نقاط یکسان است. اما با حرکت محصولات، دما افزایش می‌یابد و در پایان مجدداً کاسته می‌شود و سپس قطعه‌ی خشک را از آن بیرون می‌آورند. خشک‌کن‌های پیوسته اغلب دایره‌ای شکل یا تونلی (شکل ۴ــ۵) هستند. خشک‌کن‌های تونلی معروف‌ترین خشک‌کن‌های پیوسته در صنعت سرامیک هستند. در این خشک‌کن‌ها قطعات تر به‌طور مداوم وارد و از سوی دیگر به صورت خشک‌خارج می‌شوند و برخلاف خشک‌کن‌های متناوب، قطعات در حین خشک‌شدن در حرکت‌اند.

خشک‌کن‌های پیوسته در مقایسه با خشک‌کن‌های غیرپیوسته (متناوب) کاربرد بیش‌تری در صنعت دارند، زیرا در آن‌ها مواد یا قطعات به صورت یک‌نواخت‌تر خشک می‌شوند و فرآیند خشک شدن بهتر کنترل می‌گردد ؛ هم‌چنین آن‌ها را به‌گونه‌ای ساده‌تر می‌توان به صورت اتوماتیک درآورد. نکته‌ی دیگر این که انرژی مصرفی آن‌ها کم‌تر است. بنابراین می‌توان گفت : غالباً خشک‌کن‌های مداوم بازده بیش‌تری نسبت به خشک‌کن‌های متناوب دارند. اما به هر حال هر دو نوع خشک‌کن، بسته به کاربرد آن‌ها، انتخاب و به‌کار گرفته می‌شوند.



شکل ۴ــ۵ــ خشک‌کن تونلی دوقلو برای خشک‌کردن کاشی

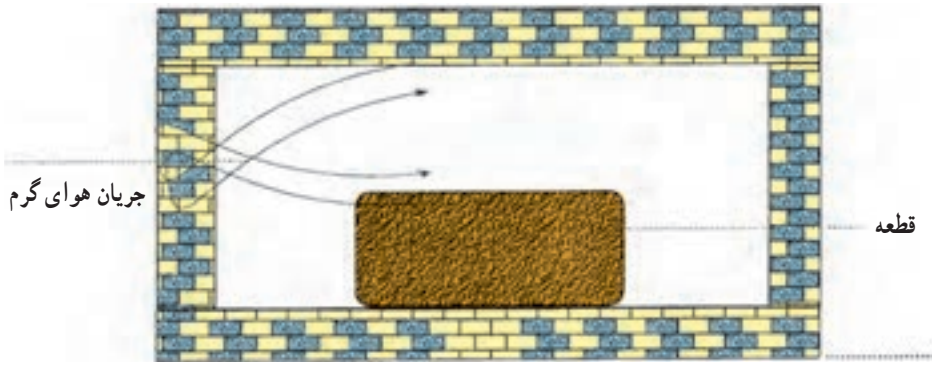
مکانیسم خشک‌کن‌ها

با مکانیسم‌های مختلف انتقال گرما آشنا شدیم. خشک‌کن‌ها نیز بر همان اساس طراحی و ساخته شده‌اند. خشک‌کن‌های صنایع سرامیک، قطعات شکل داده شده یا مواد اولیه‌ی آماده‌سازی

شده را خشک می‌کنند.

خشک‌کن‌های مداوم و متناوب را براساس مکانیسم انتقال حرارت، می‌توان به انواع مختلفی طبقه‌بندی نمود ؛ برخی از این خشک‌کن‌ها عبارت‌اند از :

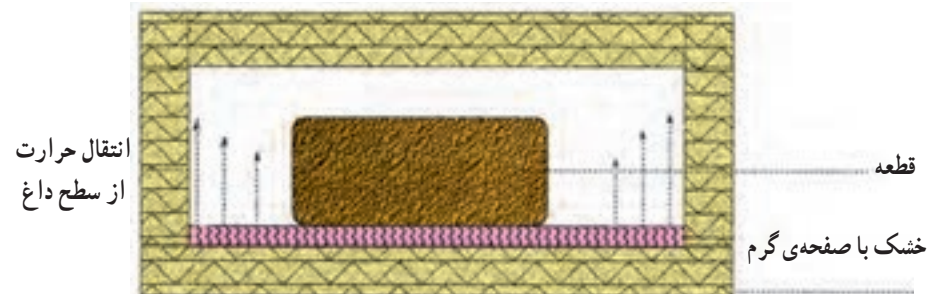
الف ــ خشک‌کن‌های کنوکسیونی(همرفتی): این خشک‌کن‌ها حرارت را با جابه‌جایی گاز گرم (هوا) به سطح قطعه‌ی سرامیکی یا مواد اولیه‌ی مرطوب انتقال می‌دهند. معمولاً در این خشک‌کن‌ها هوا از روی ماده‌ی تر عبور داده می‌شود تا رطوبت ماده خارج گردد (شکل ۵ــ۵). برای صرفه‌جویی انرژی در این خشک‌کن‌ها مقداری از هوای خروجی مجدداً به خشک‌کن برگشت داده می‌شود.



شکل ۵ــ۵

معمولاً در این خشک‌کن‌ها از هوای داغ به‌صورت عامل خشک‌کننده استفاده می‌شود و می‌توان با صرف انرژی هوای داغ تولید کرد و یا می‌توان از حرارت اگزوزها و گازهای خروجی کوره نیز بهره گرفت.

ب ــ خشک‌کن‌های هدایتی (تماسی): این خشک‌کن‌ها براساس «مکانیسم تماسی» طراحی شده‌اند و انتقال حرارت را از یک سطح داغ به کف قطعه‌ی تر منتقل می‌کنند. سطح داغ خشک‌کن که به «خشک‌کن‌های کف گرم» نیز معروف است، به‌صورت سطح نواری، صفحه‌ای استوانه‌ای یا دیواره‌ای، طراحی و ساخته می‌شود. کلیه‌ی خشک‌کن‌هایی که بر این اساس طراحی شده‌اند دارای یک سطح داغ‌اند و معمولاً گرمای مورد نیاز را از طریق بخار داغ، مایعات یا فلزات گداخته (المان‌های حرارتی) تأمین می‌کنند و هنگامی که قطعات، درون این خشک‌کن‌ها و بر روی سطح گرم قرار می‌گیرند حرارت لازم برای تبخیر رطوبت ماده از سطح داغ به قطعه منتقل می‌گردد (شکل ۶ــ۵).



شکل ۶ــ۵

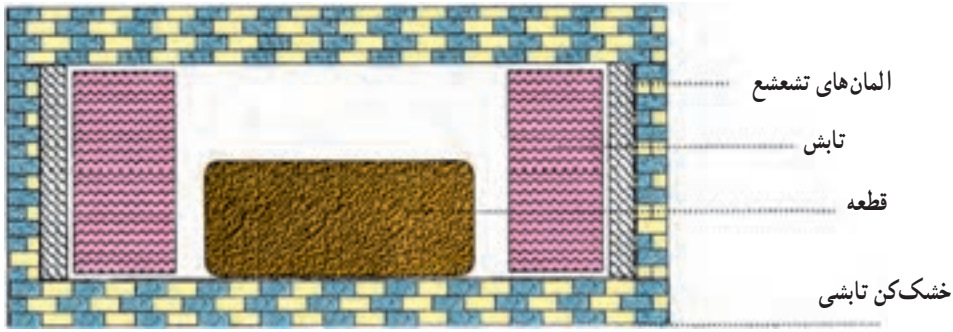
همان‌گونه که اشاره شد در این روش، حرارت منتقل شده به قطعه از سطح قطعه به درون قطعه نفوذ می‌کند ؛ از این‌رو این نوع خشک‌کن‌ها در مقایسه با خشک‌کن‌های انتقالی (همرفت) از بازده بیش‌تری برخوردارند.

چرا بازده خشک‌کن‌های هدایتی بیش‌تر از خشک‌کن‌های همرفتی است؟

ج ــ خشک‌کن‌های تشعشعی (تابشی): پیش از این مکانیسم انتقال تابشی توضیح داده شد. این خشک‌کن‌ها نیز بر آن اساس طراحی شده‌اند و برای تبخیر رطوبت ماده انرژی لازم را از طریق تابش (مانند امواج مادون قرمز) تأمین می‌کند.

لامپ‌های حرارتی، المان‌های حرارتی، سطح گرم و نظایر آن، می‌توانند از عوامل تابش باشند.

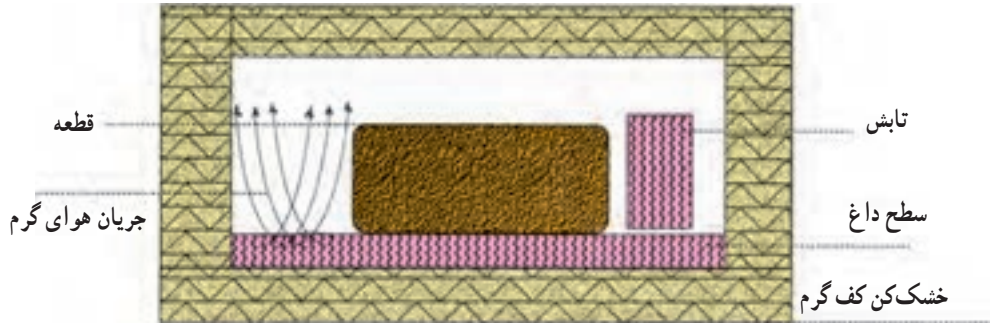
هرگاه قطعه‌ای در درون این خشک‌کن‌ها قرار گیرد در اثر تابش، سطح ماده گرم می‌شود و مولکول‌های ماده تحریک و مرتعش می‌گردند و حرارت به درون ماده نیز نفوذ می‌کند، اما عمق این نفوذ زیاد نیست. به همین دلیل، در این نوع خشک‌کن‌ها سطح ماده گرم می‌شود و بدین وسیله مواد نازک و با ضخامت کم ؛ مانند لعاب (پوشش‌ها و رنگ) خشک می‌شوند (شکل ۷ــ۵).



شکل ۷ــ۵

گفتنی است سرعت انتقال حرارت به کمک تابش بسیار سریع‌تر از روش‌های دیگر است. به‌همین دلیل درخشک کردن قطعات بزرگ وحجیم از خشک‌کن‌های تشعشعی کم‌تر استفاده می‌شود.

باید توجه داشت خشک‌کنی که براساس شیوه‌ای خاص طراحی می‌شود فقط به یک روش حرارت را انتقال نمی‌دهد ؛ برای نمونه، یک خشک‌کن آزمایشگاهی را درنظر بگیرید :



شکل ۸ــ۵

این خشک‌کن (شکل ۸ــ۵) براساس کف گرم و مکانیسم هدایت طراحی گردیده است، اما با اندکی دقت می‌توان دریافت که سطح داغ خشک‌کن مقداری انرژی را به‌صورت تابش نیز تولید می‌کند و این انرژی از طریق امواج الکترومغناطیسی (مادون قرمز) به قطعه‌ی تر می‌رسد.

هم‌چنین هوای داخل محفظه‌ی خشک‌کن درمجاورت سطح داغ گرم شده به سیال فعال (گرم) تبدیل می‌گردد. این سیال انرژی حرارتی را از طریق همرفت (انتقال) به قطعه منتقل می‌نماید. پس خشک‌کنی که براساس مکانیسم هدایت طراحی شده بود به نوعی توسط مکانیسم‌های دیگر نیز حرارت را هدایت می‌کند.

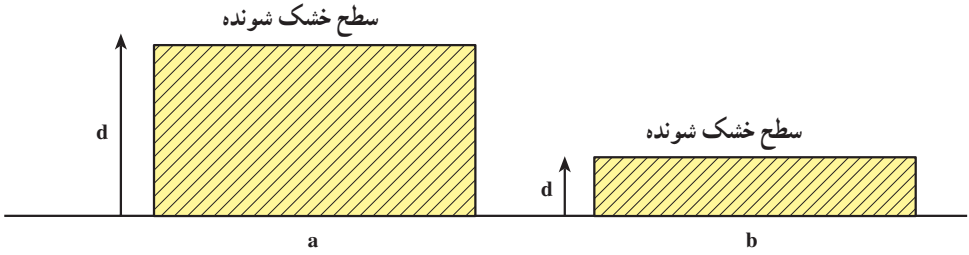
همان گونه که ملاحظه شد خشک‌کن‌ها براساس مکانیسم مشخص طراحی می‌شوند، اما در انتقال حرارت، از روش‌های دیگر انتقال حرارت نیز بهره می‌گیرند.

بررسی قطعات در حین فرآیند خشک‌شدن

هر قطعه‌ی سرامیکی درون خشک‌کن، دارای رطوبت است. این رطوبت باید به کمک حرارت منتشر شود و از (خشک‌کن) تبخیر و از قطعه خارج گردد. اگر به فرآیند خروج آب بیش‌تر دقت کنیم درخواهیم یافت رطوبت در ابتدا از سطح قطعه تبخیر و خارج می‌گردد. از سوی دیگر می‌دانیم، قطعه دارای تخلخل‌های زیادی است. اغلب این تخلخل‌ها همانند مسیرهای باریک به سطح قطعه راه

دارند و همانند لوله‌های بسیار باریک (لوله‌ی مویین) مملو از آب، قطعه را دربر گرفته‌اند. این آب از درون آن‌ها می‌تواند از درون به سطح قطعه حرکت کند. در این حالت تمامی انرژی داده شده به قطعه صرف تبخیر آب می‌شود. به معنای دیگر، در مرحله‌ی اول خشک‌شدن و تا قبل از «نقطه‌ی چرمینگی» دمای قطعه تقریباً ثابت می‌ماند. اما با کاهش رطوبت قطعه و هنگامی که دیگر پیوستگی آب درون قطعه از بین رود، یعنی آب بخار شده از سطح توسط لایه‌های درونی، جبران نمی‌شود. پس لایه‌ی سطحی قطعه خشک‌تر می‌شود، در حالتی که رطوبت درون قطعه بیش‌تر است و با زیادشدن شیب رطوبتی، سطح قطعه گرم می‌شود و حرارت را به داخل هدایت می‌کند. در این حالت آب درون قطعه تبخیر می‌شود و از منافذ آن به‌صورت بخار خارج می‌شود.

تأثیر ابعاد قطعه، حین خشک شدن: با افزایش ضخامت یک قطعه مانند شکل ۹ــ۵ مسیر انتقال رطوبت از درون قطعه به بیرون طولانی‌تر می‌شود. پس انتظار می‌رود قطعه‌ی a که از قطعه‌ی b ضخیم‌تر است، دیرتر خشک شود ؛ یعنی سرعت خشک‌شدن قطعه‌ی a کم‌تر است.



d= فاصله‌ای که آب برای رسیدن به سطح طی می‌کند.

شکل ۹ــ۵

میزان خروج آب از واحد سطح در واحد زمان را «سرعت خشک‌شدن» یا «سرعت خشک‌کردن» می‌گویند.

سرعت خشک شدن یک قطعه سرامیکی همیشه ثابت نیست. در حقیقت در مراحل اولیه‌ی خشک شدن آب سریع‌تر و راحت‌تر از قطعه خارج می‌شود، اما هرچه قطعه خشک‌تر شود سرعت خشک شدن آن نیز کاهش می‌یابد به عبارت دیگر تمایل یک قطعه‌ی مرطوب برای از دست‌دادن آب بیش‌تر از قطعه‌ی نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک است. در قطعات بزرگ و بلوک‌های دیرگداز برای کمک به خروج آب از قطعه، از موادی به نام کمک خشک‌کن استفاده می‌کنند. افزودن نیم درصد کربنات و بیکربنات سدیم کمک زیادی به خشک شدن محصولات حجیم می‌کند. با گرم شدن قطعه، کمک‌خشک‌کن‌ها به‌صورت بخار درمی‌آید و مسیر لوله‌ای موئین را پاک‌سازی و باز می‌کنند. این

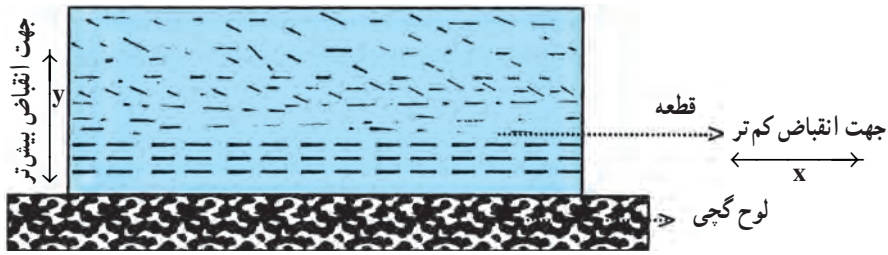
کار کمک شایانی به انتقال آب می‌کند، چه به‌صورت مایع یا بخار از لوله‌ی موئین و خشک شدن محصولات را سریع‌تر و کم‌خطرتر انجام می‌دهد.

عیوب قطعه حین خشک شدن

طی فرآیند خشک شدن، عیوبی مانند پیچش (دفرمه شدن) و تَرَک در قطعات ظاهر می‌شود. برای بروز این عیوب سه دلیل می‌توان ذکر کرد :

۱ــ انقباض غیریکنواخت: به شکل ۱۰ــ۵ نگاه کنید ؛ در یک فرآیند ریخته‌گری دوغابی، ذرات رس به سمت لوح گچی کشیده می‌شوند و تقریباً به‌صورت لایه‌های موازی روی هم قرار می‌گیرند. آب زیادی بین لایه‌های ورقه‌ای‌شکل رس قرار دارد که با خشک شدن خارج می‌گردد. بنابراین انقباض در جهت y و عمود بر ضخامت قطعه بسیار بیش‌تر از انقباض در جهت x است.

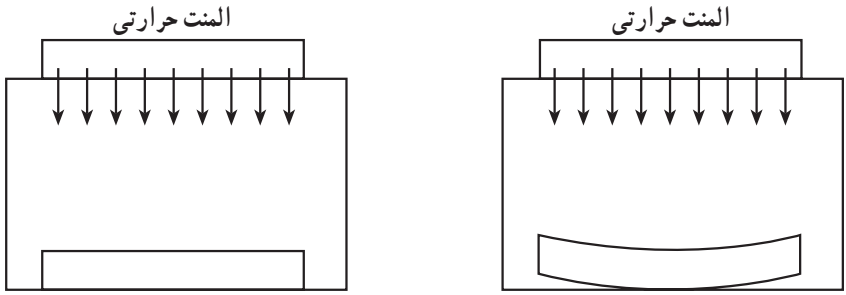
این اختلاف انقباض در جهت‌های مختلف، که به انقباض غیریکنواخت معروف شده ممکن است به بروز تَرَک یا دفرمه شدن قطعه بینجامد.



شکل ۱۰ــ۵

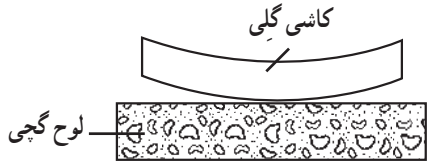
۲ــ خشک کردن غیریکنواخت: اگر یک کاشی در یک خشک کن تابشی، که اشعه‌ی مادون قرمز از بالا بر روی آن می‌تابد، قرار داده شود (شکل ۱۱ــ۵) سطح با لایه‌ی آن ضمن جذب گرما سریعاً خشک می‌شود و موجب انقباض می‌گردد. درحالی‌که سطح پائینی آن به‌کندی خشک می‌شود. در حقیقت شرایط یک‌نواختی برای خشک شدن در قطعه نیست. در این حالت کاشی تاب بر می‌دارد و در ادامه ممکن است به بروز تَرَک نیز منجر گردد.

۳ــ غیریک‌نواختی در خشک شدن: خشک شدن سریع یک کاشی بر روی لوح گچی موجب می‌شود در سطح آن تحدّب به‌وجود آید. این عیب در شکل ۱۲ــ۵ نشان داده شده است.

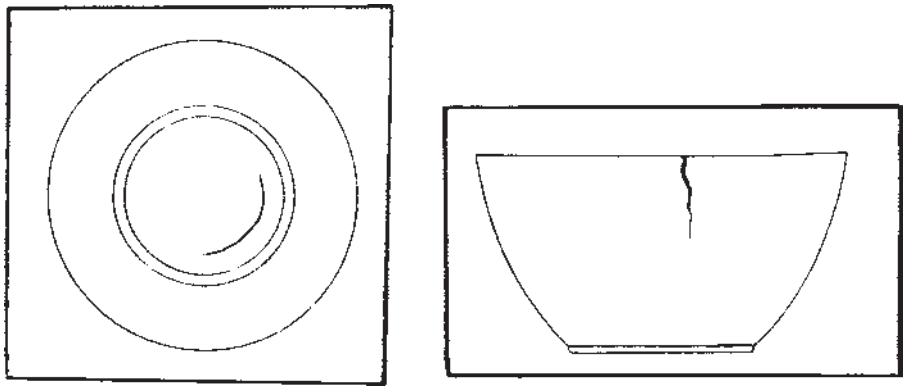


ب الف

شکل۱۱ــ۵



شکل۱۲ــ۵



ترک خشک شدن در تهٔ یک قطعه ترک خشک شدن در لبهٔ یک قطعه

شکل۱۳ــ۵

پرسش‌های فصل پنجم

۱ــ خشک کردن قطعات سرامیکی را تعریف کنید.
۲ــ انواع آب‌ها در قطعات سرامیکی را نام ببرید.
۳ــ آب سوسپانسیون چیست و در چه مرحله‌ای از قطعه خارج می‌شود؟
۴ــ آیا قطعه با از دست دادن آب بین لایه‌ای قابل شکل‌دهی مجدد است؟ چرا؟
۵ــ چرا آب جذب شده در دماهای بالاتر از $100^{\circ}C$ در قطعه باقی است؟
۶ــ آب شیمیایی چیست و در چه دمایی از قطعه خارج می‌شود؟
۷ــ حالت لدرهارد قطعه را توضیح دهید.
۸ــ مکانیسم‌های انتقال حرارت را نام ببرید و هر یک را شرح دهید.
۹ــ کدام یک از مکانیسم‌های انتقال حرارت بازده بیش‌تری دارد؟
۱۰ــ اساس کار خشک‌کن‌های مداوم و غیرمداوم را شرح دهید.
۱۱ــ انتقال حرارت و خشک شدن قطعه در یک خشک‌کن صفحه‌ی گرم آزمایشگاهی، چگونه صورت می‌گیرد؟
۱۲ــ ابعاد قطعه چه تأثیری بر روی خشک شدن قطعه دارد؟
۱۳ــ دلایل ایجاد عیوب در مرحله‌ی خشک شدن را شرح دهید.
۱۴ــ علت تاب برداشتن قطعه در حین خشک شدن چیست؟

فصل ششم

پخت سرامیک‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ مراحل پخت قطعه‌ی سرامیکی را در کوره نام ببرد.

۲ــ خشک شدن قطعه در مرحله‌ی پخت را توضیح دهد.

۳ــ سوختن و خروج مواد آلی از قطعه در مرحله‌ی پخت را شرح دهد.

۴ــ خروج کربنات‌ها و سولفات‌ها را از قطعه بیان کند.

۵ــ هم‌جوشی یا زینترینگ را توضیح دهد.

۶ــ تغییرات حجمی قطعه را در مراحل پخت نام ببرد.

۷ــ دلایل انبساط حجمی قطعه را در حین پخت توضیح دهد.

۸ــ دلایل انقباض حجمی قطعه را در حین پخت شرح دهد.

۹ــ عیوب قطعه در مرحله‌ی پخت را نام ببرد.

۱۰ــ دلایل دفرمگی قطعات را شرح دهد.

۱۱ــ انواع کوره‌های پخت را براساس نوع کار، تقسیم‌بندی کند.

۱۲ــ نحوه‌ی کار کوره‌های متناوب را شرح دهد.

۱۳ــ نحوه‌ی کار کوره‌های پیوسته را توضیح دهد.

۱۴ــ مزایا و محدودیت‌های کوره‌های متناوب و مداوم را مقایسه کند.

۱۵ــ سوخت کوره‌ها را نام ببرد.

۱۶ــ سوخت‌های جامد کوره‌ها را نام ببرد.

۱۷ــ سوخت‌های مایع کوره‌ها را نام ببرد.

۱۸ــ سوخت‌های گازی کوره‌ها را نام ببرد.

۱۹ــ کاربرد الکتریسیته یا منبع انرژی کوره‌ها را توضیح دهد.

مقدمه

قطعات سرامیکی پس از خشک شدن فاقد استحکام کافی‌اند و اگر کم‌ترین نیرویی به آن‌ها وارد آید خرد می‌شوند و درهم می‌شکنند. یا اگر مجدداً با رطوبت تماس پیدا کنند ممکن است دفرمه و یا تخریب شوند.

برای استحکام کافی باید آن‌ها را پخت کرد. معمولاً این عمل در دمای بالاتر از $900^{\circ}C$ انجام می‌شود. پخت قطعات سرامیکی بدون لعاب را «پخت بیسکویت» نامند.

اغلب سفال‌ها، دیرگدازها و محصولات بدون لعاب تنها یکبار پخت می‌شوند. در حالی که قطعات لعاب‌دار عموماً با دو پخت ساخته می‌شود در پخت بیسکویت قطعه برای حمل و نقل و لعاب‌زنی استحکام کافی پیدا می‌کند و پس از اعمال لعاب، پخت لعابی به منظور تأمین سطح شیشه‌ای انجام می‌گیرد.

در برخی از سرامیک‌ها، که نیاز به تزیین و دکور دارند، لازم است برای بار سوم و گاه بیش‌تر،آن‌ها را پخت نمود که به «پخت دکور» معروف است.

شایان ذکر است در محصولاتی که استحکام خشک مناسبی دارند ؛ مثل چینی‌های بهداشتی، پخت بدنه و لعاب به‌طور هم‌زمان انجام می‌گیرد. این نوع محصولات «تک‌پخت» نام گرفته‌اند.

بررسی تأثیرحرارت بر قطعه‌ی در حال پخت

قطعات پس از خشک شدن، برای استحکام موردنظر باید در کوره پخت شوند. تأثیر فرآیند پخت بر روی قطعات را در پنج محور می‌توان توضیح داد :

۱ــ خشک شدن کامل و خروج آب متبلور

قطعه پس از مرحله‌ی خشک شدن وارد کوره می‌شود. گرچه قطعه‌ها ظاهراً خشک به‌نظر می‌آیند، اما مقداری رطوبت در خود دارند و باید کاملاً خشک شوند. می‌دانیم هوای محیط همواره درصدی رطوبت دارد. بنابراین، اگر حتی قطعه‌ی خشک در هوای آزاد قرار گیرد، مقداری از رطوبت هوا را جذب می‌کند و آن را در تخلخل‌های خود به مایع تبدیل می‌نماید و این چنین مرطوب می‌شود.

از سوی دیگر در مرحله‌ی خشک کردن تمام آب‌های جذب شده نمی‌توانند در آن دما از قطعه خارج شوند. در ضمن، آب شیمیایی یا تبلور تا دمای بالاتر از $400^{\circ}C$ در قطعه باقی خواهد بود.

بنابراین، در اولین مرحله‌ی پخت، ضروری است قطعه از رطوبت‌های مذکور کاملاً عاری

شود. البته باید توجه داشت این عمل با کم‌ترین سرعت و به آرامی صورت گیرد تا احتمال بروز عیوب در قطعه به حداقل رسد. در این مرحله، به دلیل شکسته شدن پیوند OH (آب تبلور) استحکام قطعه کاهش می‌یابد و خروج سریع آب به صورت بخار می‌تواند حتی با تخریب قطعه همراه باشد.

پس لازم است زمان مرحله‌ی اول پخت، طولانی باشد و به تدریج از سرعت افزایش دما در کوره کاسته شود تا به هنگام خشک شدن سلامت قطعه حفظ شود.

۲ــ سوختن و خروج ناخالصی‌های آلی از قطعه

مواد اولیه‌ی سرامیکی حاوی ناخالصی‌های فراوان است، از جمله ناخالصی‌های آلی در رس‌ها و چسب‌ها یا بیندرها. این مواد در دمای حدود $۷۵۰^{\circ}C$ با اکسیژن اتمسفر کوره ترکیب می‌شوند و می‌سوزند و از قطعه خارج می‌شوند.[۱]

خروج این مواد از قطعه همراه با تخلخل است ؛ ضمن آن که عدم خروج کامل آن باعث بروز عیوب رنگی در قطعه می‌گردد. همان‌طور که گفته شد خروج آب تبلور، استحکام قطعه را کاهش می‌دهد و در آن تخلخل‌هایی ایجاد می‌نماید. با خروج مواد آلی باز هم حجم تخلخل افزایش می‌یابد در حالی که استحکام قطعه بسیار پایین است.

۳ــ خروج کربنات‌ها و سولفات‌ها از قطعه

پس از مرحله‌ی خروج مواد آلی،خروج کربنات‌ها و سولفات‌ها آغاز می‌گردد. واکنش تجزیه‌ی کربنات‌ها از دمای $۴۰۰^{\circ}C$ شروع می‌شود :

$$MgCO_3 \xrightarrow{۴۰۸^{\circ}C} MgO + CO_2 \uparrow$$

دمای تجزیه‌ی کربنات‌ها عموماً همان دمای تجزیه‌ی کربنات کلسیم در نظر گرفته می‌شود.

$$CaCO_3 \xrightarrow{۸۹۴^{\circ}C} CaO + CO_2 \uparrow$$

واکنش تجزیه‌ی کربنات کلسیم در حدود دمای $۹۰۰^{\circ}C$ انجام می‌شود، اما دمای عملی واکنش، به اتمسفر، شکل، اندازه و ذرات بستگی دارد. بنابراین، ممکن است واکنش از دمای پایین‌تر از آن‌چه گفته شد، آغاز شود. یا آن که در دمای بالاتر از $۱۰۰۰^{\circ}C$ ، نیز ادامه یابد.

سولفات‌ها نیز در دمای اندکی بالاتر از قطعه خارج می‌گردد، اما عموماً مقدار آن‌ها در

۱ــ باید اتمسفر کوره تا دمای $۷۰۰^{\circ}C$ حاوی اکسیژن لازم باشد (محیط اکسیدی)

اغلب بدنه‌های سنتی کم است و کم‌تر نیز به آن توجه می‌شود، ولی وجود سولفات بیش‌تر سبب بروز عیب در بدنه خواهد شد.

۴ــ هم‌جوشی و یک‌پارچگی قطعه یا زینترینگ

در مراحل قبلی بحث تجزیه و خروج مواد از قطعه ملاحظه شده از جمله این که قطعه‌ای متخلخل با استحکام کم حاصل شد. اما در این مرحله با افزایش دما، ذرات ریز در دمایی پایین‌تر از «نقطه‌ی ذوب» و در مجاورت مواد کمک ذوب می‌توانند با یک‌دیگر جوش بخورند و به عبارت دیگر دو ذره‌ی جامد در محل اتصال با یک‌دیگر به دلایل مختلف، از قبیل «افزایش دما، فشار و تغییر انرژی و ذوب سطحی» پیوند برقرار کنند. در چنین شرایطی، هم‌جوشی با پیشرفت زمان رشد می‌کند و به سبب متراکم شدن ذرات، حجم کلی قطعه کاهش می‌یابد و از میزان تخلخل‌های قطعه کاسته می‌شود؛ درنتیجه دانسیته قطعه افزایش می‌یابد.

اما باید دانست هم‌جوشی ممکن است با تولید فاز مایع همراه باشد. توضیح این که گدازآورهای موجود در فرمولاسیون بدنه، تدریج نرم و سپس ذوب می‌شوند و آن‌گاه فاز یا فاز مایع شیشه‌ای را تولید می‌نمایند.

به‌طور کلی فاز مایع با نفوذ به محل‌های خالی قطعه می‌تواند تا ۹۰٪ کل حجم قطعه باشد، البته همین مقدار فاز مایع سبب پر شدن خلل و منافذ قطعه خواهد شد؛ بنابراین، پس از این مرحله با کاهش حجم قطعه و افزایش استحکام آن روبه‌رو می‌شویم، زیرا در پایان مرحله‌ی هم‌جوشی (زینترینگ یا زینتر شدن) ذرات کاملاً به‌یک‌دیگر متصل و یک‌پارچه می‌گردند و بسیاری از تخلخل‌ها پر می‌شود.

در مراحل پایان پخت، انقباض پدید می‌آید و حجم قطعه کاهش می‌یابد، ضمن این که یک‌پارچگی و تراکم، استحکام آن را افزایش می‌دهد.

۵ــ استحاله‌های فازی[۱]

با حرارت دادن در مواد ، استحاله یا تغییر فاز مشاهده می‌شود. این استحاله و تغییر وتحول فازی در مواد گاه با تغییرات حجمی نسبتاً زیادی همراه است. این تغییرات اگر کنترل شده نباشد بسیار مخرب خواهد بود. به عنوان مثال در میان مواد موجود در آمیزهای سرامیکی، سیلیس دارای دو استحاله‌ی فازی است که در دمای محدوده‌ی پخت صورت می‌گیرد؛ از این‌رو، آشنایی با این استحاله‌ها (کوارتز و کریستوبالیت) بسیار مهم است.

۱ــ تغییر، تحول و تبدیل ساختمانی هر ماده از شکلی به شکل دیگر، در دمای مختلف، «استحاله» نام دارد.

سیلیس از اصلی‌ترین مواد اولیه در فرمولاسیون بدنه‌های سرامیکی به‌شمار می‌آید. در کتاب «مواد اولیه» با این ماده و مدیفیکاسیون‌های آن آشنا شدید.

کوارتز پایدارترین و فراوان‌ترین شکل سیلیس در حالت طبیعی است و در فرمولاسیون آمیز نیز دارای درصد بیش‌تری است.

کوارتز دارای دو شکل «کوارتز آلفا» و «کوارتز بتا» است. در دمای محیط و حالت پایدار فاز آلفا پایدار است .کوارتز آلفا در دماهای بالا به فاز بتا تبدیل می‌گردد. اگر کوارتز آزاد در فرمولاسیون آمیز وجود داشته باشد در حین فرآیند پخت با افزایش دما، قابلیت استحاله‌ی فازی α به β ایجاد خواهد شد و در دماهای $573^{\circ}C$ کوارتز آزاد از فاز α به β تبدیل می‌گردد. این تغییر به‌صورت چرخش ساختمانی است و با تغییرات و انبساط حجمی زیادی همراه است.[1] اگر سرعت افزایش دما کنترل نشود و تغییرات به آرامی صورت نگیرد، هم‌چنین مقدار کوارتز آزاد در بدنه زیاد باشد، انبساط حجمی ایجاد شده در قطعه زیاد و سریع خواهد بود ؛ در نتیجه سبب ترک و شکست در قطعه می‌شود.

از سوی دیگر، این استحاله به‌صورت برگشت‌پذیر (جابه‌جاساز) صورت می‌گیرد ؛ یعنی به دلیل افزایش دما و انرژی در قطعه، طول پیوند و زاویه‌ی اتم‌های سازنده‌ی قطعه نسبت به یک‌دیگر تغییر می‌کند و چرخشی در قطعه حاصل می‌شود. درنتیجه حجم قطعه تغییر می‌یابد. اما چون این استحاله با تغییر شکل شبکه (تخریب شبکه و بازسازی آن) همراه نیست، با کاهش دما اتم‌ها به حالت اولیه باز می‌گردند ؛ از این‌رو، این استحاله‌ها را برگشت‌پذیر می‌نامند.

بنابراین، باید توجه داشت بعد از مرحله‌ی پخت اگر کوارتز آزاد در قطعه باقی مانده باشد در حین فرآیند سرد کردن قطعه و در دمای $573^{\circ}C$ قابلیت تبدیل فاز β به α خواهد بود و اگر این استحاله صورت گیرد، همان‌گونه که در حالت اول با افزایش حجم همراه بود، در این مرحله، کاهش حجمی قطعه پدیدار می‌شود ؛ بنابراین، ضروری است سرعت کاهش دمای قطعه، با کنترل دقیقی صورت بگیرد تا امکان بروز عیب در قطعه به حداقل برسد.

استحاله‌های متفاوتی حین پخت در سرامیک‌ها روی می‌دهد که آشنایی با آن‌ها می‌تواند ما را در تنظیم و ارائه‌ی یک برنامه پخت مطلوب راهنمایی کند.

بررسی تغییرات حجمی قطعه در حین پخت

در فرآیند پخت، حجم و ابعاد قطعه در اثر حرارت، تغییرات زیادی می‌کند. بطورکلی ابعاد

۱ــ حدود ۲/۴٪

نهایی قطعات سرامیکی پس از پخت کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که می‌دانیم مواد در اثر حرارت، انبساط می‌یابند. در حقیقت کلیه‌ی ذرات سرامیکی در یک قطعه در اثر حرارت منبسط می‌شوند (انبساط حرارتی). اما انقباض کلی به‌دلیل تشکیل فاز مذاب و پرکردن تخلخل‌ها، بسیار بیش‌تر از انبساط حرارتی ذرات است. با کاهش دما انبساط حرارتی برگشت پذیر می‌شود، اما انقباض ناشی از پخت سرامیک‌ها بازگشت‌ناپذیر است. انقباض پخت در زبان انگلیسی شرینکیج به معنای «آب رفتگی» یا «درهم فرو رفتن» نام گرفته است و در کارخانجات تولیدی هم از این عبارت استفاده می‌شود.

با توجه به کوچک بودن انبساط حرارتی در مقایسه با انقباض سرامیک‌ها حین پخت محصولات متداول سرامیکی، می‌توان از انبساط حرارتی چشم‌پوشی کرد ولی در ساخت سرامیک‌های پیشرفته و مهندسی که اندازه و ابعاد محصول اهمیت زیادی دارند باید مورد توجه بیش‌تری قرار گیرد.

انقباض پخت

اگر بار دیگر به مرحله‌ی خشک کردن قطعه نظری بیفکنیم، در خواهیم یافت انقباض از تر به خشک از ابتدای فرآیند خشک شدن آغاز می‌شود و تا مرحله‌ی لدرهارد ادامه می‌یابد و در مراحل پایانی خشک شدن، انقباض محسوس در قطعه صورت نمی‌گیرد.

اما در مرحله‌ی پخت با شروع فرآیند هم‌جوشی (زینترینگ) انقباض افزایش می‌یابد تا مراحل پایانی پخت، کاهش حجم قطعه صورت می‌گیرد. همان‌گونه که گفته شد، با افزایش دما و تولید فاز مایع ذرات درهم فرومی‌روند و به یک‌دیگر متصل می‌گردند ؛ هم‌چنین با فاز مایع، تخلخل‌ها پرمی‌شوند. براثر در هم فرورفتن ذرات و پرشدن خُلَل و منافذ، حجم کلی قطعه منقبض می‌شود.

آن‌چه در این انقباض بسیار مهم است عدم تناسب در زمان کاهش ابعاد قطعه و زمان کاهش وزن آن است. همان‌گونه که گفته شد، در مراحل اولیه با خروجی مواد فرّار، کاهش وزن قطعه رخ می‌دهد و انقباض محسوسی صورت نمی‌گیرد، اما در مرحله‌ی آخر پخت با پیشرفت زینترینگ، تخلخل‌ها پرتر و قطعه کوچک‌تر می‌شود.

بررسی عیوب قطعه در مرحله‌ی پخت

اگر انبساط یا انقباض حجمی به آرامی و کنترل شده صورت نگیرد یا این تغییرات به صورت یک‌نواخت در قطعه رخ ندهد، با عیوب مختلفی مانند تاب ، ترک یا دفرمگی در قطعات مواجه خواهیم شد.

مهم‌ترین عوامل تاب در قطعات

یک‌نواختی انتقال حرارت: پیش از این گفته شد اگر تغییرات حجمی یک‌نواخت نباشد قطعه دچار تنش و شوک می‌شود. برای مثال یک قوری چینی (پرسلان) را درنظر بگیرید، اگر آن را برروی اجاق گاز قرار دهید چه اتفاقی رخ خواهد داد؟ چرا؟

این اتفاق در کوره نیز ممکن است رخ دهد. اگر انتقال حرارت به‌طور یک‌نواخت صورت نگیرد، یک طرف قطعه نسبت به طرف دیگر آن گرم‌تر می‌شود و انقباض در دو سمت قطعه نیز متفاوت می‌گردد. درنتیجه در قطعه شوک حرارتی ایجاد می‌شود و ممکن است بیش از توانایی تحمل قطعه باشد، و باعث ترک و شکست قطعه می‌شود. در این حالت قوری بر روی اجاق خواهد شکست.

نحوه‌ی چیدن قطعات در کوره

اگر قطعات بر کف کوره چیده شوند سطح زیرین قطعه (پایه‌ی ظرف) نسبت به دیگر سطوح قابلیت تحرک کم‌تری خواهد داشت. این سطح، هم وزن قطعه را متحمل شده است و هم بر روی سطحی قرار دارد که با تغییرات دما تقریباً هیچ انقباضی ندارد ؛ از این‌رو سبب انقباض کم‌تر پایه‌ی قطعه خواهد شد. پس در قسمت فوقانی قطعه، انقباض بیش‌تر و در سطح زیرین آن انقباض کم‌تر است. در صورت بروز انقباض غیر یک‌نواخت ممکن است در قطعه دفرمگی ایجاد شود، اما اگر این قطعه بر روی سطحی (صفحه‌ای) پخت نشده ازجنس خود، قرار گیرد در حین مراحل پخت، قطعه همراه با صفحه‌ی زیرین خود منقبض و منبسط می‌گردد ؛ در نتیجه، انقباضِ غیریک‌نواخت، در قطعه به‌وجود نخواهد آمد و عیوب در قطعه ایجاد نخواهد شد.

قطعات مدور توخالی، مانند فنجان در اثر انقباض پخت ممکن است شکل یک‌نواخت را از دست بدهند. برای جلوگیری از این دفرمگی باید از دیسک‌های سرامیکی بر روی فنجان استفاده کرد. البته می‌توان فنجان‌ها را دوبه‌دو برروی هم قرار داد تا به‌صورت یک‌نواخت پخت گردند و شکل مدور خود را حفظ نمایند (شکل۱ــ۶).

شکل ۱ــ۶

بایستی توجه داشت تمامی عیوب مشاهده شده پس از پخت ممکن است مربوط به این مرحله نباشند. در حقیقت بسیاری از تَرَک‌های ریز و عیوب به‌وجود آمده در مرحله‌ی شکل دادن یا خشک‌کردن، در مرحله پخت خود را نشان می دهند.

برای رفع یا کنترل عیوب محصولات سرامیکی پس از پخت لازم است تا هم در مراحل قبلی دقت کافی اعمال شود و هم برنامه ی پخت متناسب با تحولات درونی محصول به طور صحیح طراحی و اجرا کرد.

برنامه یا منحنی پخت

دانستیم با کنترل سرعت تغییرات حجمی در قطعه ، عیوب کم‌تری را به وجود می‌آید ؛ از این رو برای کنترل سرعت تغییرات باید درجه حرارت را کنترل کرد.

انتخاب سرعت مناسب برای تغییرات درجه‌ی حرارت ــ به‌منظور جلوگیری از بروز عیوب در قطعه ــ الزامی است و اگر رابطه‌ی صحیح زمان و تغییرات درجه‌ی حرارت، در طول مرحله‌ی پخت، برقرار نباشد خطر معیوب شدن قطعات، همواره وجود خواهد داشت.

خروج نامناسب آب شیمیایی، نیازمند کنترل سرعت افزایش دما در کوره است تا به آرامی این آب از قطعه خارج گردد و قطعه تخریب نشود. در دمای مختلف استحاله‌های فازی رخ می‌دهد و تغییرات حجمی زیادی را در قطعه ایجاد می‌کند. برای جلوگیری از تخریب قطعه باید سرعت این استحاله‌ها را کنترل کرد. به هنگام فرآیند پخت، مواد آلی با اکسیژن درون کوره ترکیب می‌گردد و می‌سوزد ؛ در نتیجه، واکنش گرمازا ایجاد می‌شود و افزایش دما را سرعت می‌بخشد. به همین سبب، این افزایش دما باید کنترل شود.

همان‌گونه که ملاحظه شد، در مراحل مختلف پخت، برای افزایش دما در واحد زمان، به برنامه‌ای نیاز داریم که به آن «برنامه‌ی پخت» یا «منحنی پخت» گویند. انتخاب درست و صحیح این برنامه موجب کاهش بروز عیوب در قطعه در حین مراحل پخت خواهد شد. برنامه‌ی پخت براساس نوع بدنه، نحوه‌ی آماده‌سازی و شیوه‌ی شکل‌دهی قطعه، نوع، حجم و امکانات کوره و نظایر آن تهیه می‌گردد. در صفحه‌ی ۱۲۳ یک منحنی (برنامه) پخت مشاهده می‌شود.

انواع کوره‌های پخت صنایع سرامیک

کوره‌های پخت صنایع سرامیک دارای محیط بسته‌ای هستند و با محیط اطراف، از نظر حرارتی کاملاً ایزوله شده‌اند. به عبارت دیگر، انتقال حرارت از داخل به خارج و به عکس، به حداقل

ممکن می‌رسد تا فرآورده‌های سرامیکی در درون این محیط چیده شوند و با افزایش دما پخت گردند.

برای این منظور جداره‌ی کوره‌های سرامیکی از مواد دیرگداز ساخته شده‌اند تا در برابر درجه‌ی حرارت بالا مقاومت بیش‌تری داشته باشند. کوره‌های صنایع سرامیک از لحاظ نوع کار، دمای پخت، و نوع سوخت، حرارت‌دهی، نوع قطعات در حال پخت و همانند آن، متفاوت‌اند و براساس این تفاوت‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند.

کوره‌های پخت سرامیک براساس «نوع کار» بر دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند : «کوره‌های متناوب» و «کوره‌های پیوسته». از سوی دیگر بسته به زمان پخت کوره‌ها به دو نوع کوره‌های متداول و کوره‌های پخت سریع طبقه‌بندی می‌شوند.

کوره‌های متناوب

کوره‌های متناوب یا غیرمداوم، اتاقک بسته‌ای است که با توجه به کاربرد آن دارای ابعاد مختلف است. این کوره‌ها به صورت تناوبی (غیرمداوم) کار می‌کنند و مراحل کار با آن‌ها را می‌توان به پنج قسمت تقسیم‌بندی کرد :

۱ــ قطعات در کوره‌ی سرد چیده می‌شوند.

۲ــ کوره روشن می‌شود و قطعات تا دمای پخت گرم می‌شوند.

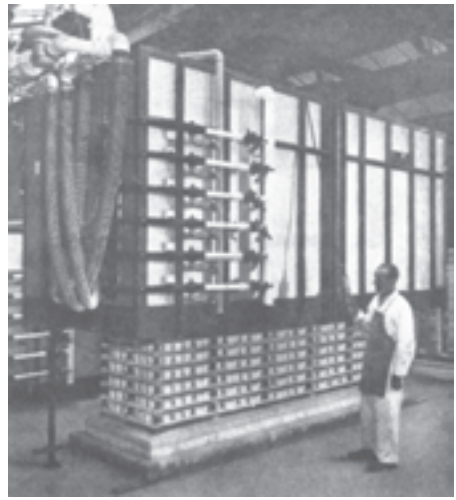
۳ــ درصورت نیاز تا زمان مشخص در آن دما می‌مانند.

۴ــ کوره خاموش و سرد می‌شود.

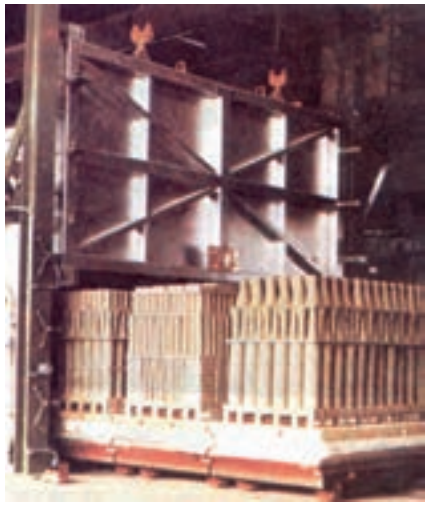
۵ــ قطعات پخت شده پس از خنک شدن (دمای محیط) تخلیه می‌گردند.

در آغاز، کوره‌های سرامیکی متناوب سردند و باید سوخت زیادی مصرف شود تا گرم شوند. پس از رسیدن به دمای مورد نیاز، مجدداً کوره‌ها سرد و قطعات خارج می‌شوند. ملاحظه می‌کنید در این روش برای هر بار پخت، انرژی زیادی مصرف می‌شود و با سرد کردن کوره انرژی بسیاری تلف می‌گردد. اما از سوی دیگر، ابعاد و حجم کوره، قیمت پایین و سادگی ساختمان آن سبب گردیده است تا هنوز این کوره‌ها در کارخانجات و کارگاه‌های کوچک کاربرد فراوانی داشته باشند.

در صفحه‌ی بعد تصاویری از کوره‌های متناوب نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۶ــ کوره‌های جعبه‌ای، در این کوره دیواره‌ها جابه‌جا شده بالا و پایین می‌رود.



شکل ۳ــ۶ــ کوره‌ی پخت دیرگدازهای سرامیکی (واگنی) درب ورودی به وسیله‌ی دو عدد سیم بکسل بالا و پایین می‌شود.

کوره‌های پیوسته: روشن و خاموش شدن متناوب کوره‌ها، اتلاف انرژی بسیاری را در پی داشت، بنابراین، مهندسان به فکر ساخت و طراحی کوره‌هایی افتادند که اتلاف انرژی در آن به حداقل برسد و همواره کوره روشن باشد.

برای این منظور، مهندسی آلمانی به نام «هوفمن»[۱] در سال ۱۸۵۶ میلادی کوره‌ای را طراحی کرده که به نام خود او به «کوره‌ی هوفمن» مشهور گردید.

کوره‌های هوفمن براساس جلوگیری از اتلاف حرارتی طراحی گردیده بود. آن‌ها از چند کوره‌ی متناوب (محفظه‌ی پخت) به‌صورت زنجیره‌ای درکنار یک‌دیگر طراحی شده بودند و در نتیجه، مجموعه‌ای بسته را در کنار هم ایجاد می‌کردند. این کوره‌ها را به‌گونه‌ای در مجاورت یک‌دیگر قرار می‌دادند تا فضای داخلی آن‌ها با یک‌دیگر مرتبط گردد و جریان هوای درونی آن‌ها به راحتی به دیگر محفظه‌ها انتقال یابد.

در کوره‌های هوفمن روند فرآیند پخت به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌گردید تا اگر این کوره دارای چهار محفظه باشد،[۲] اولین محفظه در مرحله‌ی سرد شدن قرار گیرد ؛ محفظه‌ی دوم در حال گرم شدن باشد و از حرارت اتلافی محفظه‌ی اول که در حال سرد شدن است استفاده نماید ؛ محفظه‌ی سوم

۱ــ Friedrich Hoffmann

۲ــ محفظه‌ی پخت از سه واگن هم‌اندازه ساخته شده است.

بالاترین دما رابرای پخت قطعات درون خود دارا باشد. محفظه‌ی چهارم در حال تخلیه و بارگیری قرار گیرد. بدین ترتیب، در این کوره‌ها اتلاف حرارتی در مقایسه با کوره‌های متناوب، کم‌تر است. قطعات در کوره‌های هوفمن ثابت است و جریان حرارتی (شعله‌ای) از یک اتاقک به اتاقک دیگر پی‌درپی در حرکت است و درون محفظه‌های پخت جریان دارد ؛ از این‌رو، با سرد شدن یک محفظه (محفظه‌ی پخت) حرارت هدر نمی‌رود و حرارت اضافی به محفظه بعدی منتقل می‌شود بنابراین اتلاف حرارتی کم‌تری صورت می‌گیرد. اما این نکته را نباید از یاد برد، قطعاتی که درون این کوره‌ها پخت می‌شوند باید در برابر شوک حرارتی تحمل بالایی داشته باشند، زیرا با جریان هوا در کوره، شیب حرارتی زیادی به‌وجود می‌آید و قطعات را با شوک حرارتی روبه‌رو می‌کند، بنابراین، از آن‌ها کم‌تر برای پخت قطعات ظریف سرامیکی استفاده می‌شود و اغلب برای کوره‌های آجرپزی به‌کار گرفته می‌شوند.

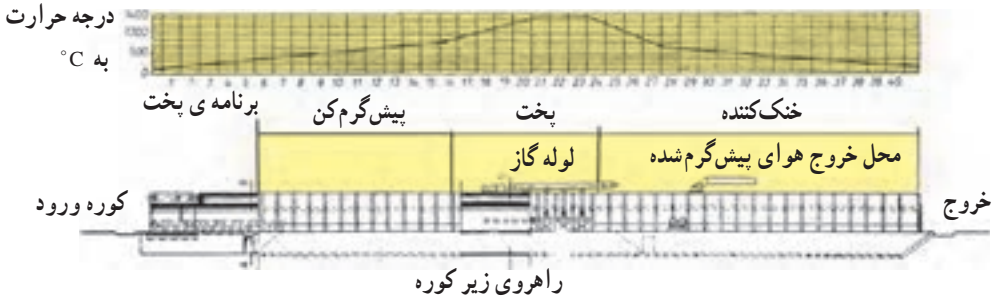
برای برطرف ساختن کاستی‌های کوره‌های هوفمن، کوره‌هایی طراحی و ساخته شد که شکلی همانند تونل دارد و از این‌رو به «کوره‌های تونلی» مشهور شده است. در کوره‌های تونلی محصولات و قطعات سرامیکی بر روی واگن قرار می‌گیرند و در محفظه‌ی کوره حرکت می‌کنند، بنابراین، کوره‌های تونلی دارای طول و حجم بزرگی بودند. کوره‌های تونلی با درنظر گرفتن سه منطقه طراحی شده است تا قطعه به آرامی «گرم»، «پخت» و «سرد» گردد و تغییرات حرارتی بر روی قطعات به آرامی صورت گیرد ؛ هم‌چنین کم‌ترین شوک و تنش در آن‌ها ایجاد گردد تا از احتمال بروز عیوب در قطعات کاسته شود. در منطقه‌ی اولیه‌ی کوره، قطعات به آرامی گرم می‌شوند و کاملاً خشک می‌گردند تا از این طریق، تنش‌ها و عیوبی که در مباحث قبل بیان گردید، در قطعات ایجاد نگردد. این قسمت از کوره به نام منطقه‌ی «پیش‌گرم کن» کوره معروف است. در «پیش گرم‌کن» قطعات قبل از پخت، گرم و خشک می‌شوند و سپس وارد منطقه‌ی دوم کوره می‌گردند.

قطعات در منطقه‌ی دوم به حرکت در می‌آیند و با پیش‌روی درمنطقه‌ی پخت، دمای آن‌ها افزایش می‌یابد تا به حداکثر دمای مورد نیاز پخت برسند[1]، سپس در ادامه‌ی پیش‌روی قطعه در کوره، دما کاهش می‌یابد و قطعات وارد منطقه‌ی سوم می‌شوند. در منطقه‌ی خنک کننده دمای قطعات به آرامی کاهش می‌یابد تا در هنگام خروج قطعه، اختلاف دمای قطعه و محیط بیرون باعث بروز عیب در آن‌ها نگردد. کوره‌های تونلی به‌گونه‌ای طراحی گردیده‌اند که هوا از منطقه‌ی خنک‌کننده بر قطعه وزیده می‌شود و این جریان هوا وارد منطقه‌ی پخت شده‌ی گرم می‌گردد و با ورود هوای گرم در

۱ــ منطقه‌ای از کوره که دارای بالاترین دماست به «جهنم کوره» معروف است.

منطقه‌ی «پیش‌گرم» آن قسمت ازکوره را نیزگرم می‌کند. بنابراین در کوره‌های تونلی از جریان هوا به بهترین نحو ممکن استفاده می‌شود تا از حرارت کوره، بیش‌ترین بهره عاید گردد و اتلاف حرارتی به حداقل خود برسد.

در شکل ۴ــ۶ سه منطقه از کوره‌ی تونلی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴ــ۶

کوره‌های تونلی در مقایسه با کوره‌های متناوب، بازده حرارتی بیش‌تری دارند، اما احداث و ساخت آن‌ها پر هزینه است و فضای بیش‌تری را اشغال می‌کند.[۱] البته باید کوره‌های تونلی در طول شبانه‌روز روشن باشد زیرا روشن و خاموش کردن متناوب آن‌ها، هزینه‌ی بالایی دربرخواهد داشت. زمان طولانی پخت که تا سه روز نیز می‌انجامد از عیوب اصلی این کوره‌ها به‌شمار می‌آید.

شکل ۵ــ۶

۱ــ طول کوره‌های تونلی متداول حدود ۸۰ متر است و طول انواع قدیمی آن‌ها به ۲۱۰ متر نیز می‌رسید.

بنابراین، لازم بود عیوب از در کوره‌های تونلی برطرف شود. متعاقباً طراحی کوره‌هایی با طول و حجم کم‌تر کاستی‌های موجود در کوره‌های تونلی را برطرف ساخت. در این کوره‌ها دیگر واگن وجود ندارد، بلکه قطعات بر روی غلتک (رولر) از جنس سرامیک‌های دیرگداز قرار می‌گیرند و با چرخش آن‌ها قطعات درون کوره پیش می‌روند. زمان پخت در کوره‌های جدید بسیار کم شده است ؛ از این‌رو، این کوره‌ها با نام «کوره‌های پخت سریع» مشهورند. قطعات در کوره‌های پخت سریع مانند کاشی، کم‌تر از یک ساعت پخت می‌شوند و از کوره خارج می‌گردند. برای پیشرفت و اصلاح و تکمیل کوره‌های پخت سریع، تلاش فراوانی صورت گرفته است تا جایی که به پخت فوق‌العاده سریع قطعات (در حدود ۱۵تا ۲۵دقیقه) نیز دست یافتند (کوره‌های مایکروویو).

سوخت کوره‌ها

یکی از عوامل تفکیک و تقسیم‌بندی کوره‌ها، براساس نوع سوخت مصرفی آن‌هاست.
انرژی حرارتی کوره‌ها با استفاده از سوخت‌های جامد، مایع و گاز یا الکتریسیته تأمین می‌شود.

سوخت‌های جامد

منابع تولید انرژی سوخت‌های جامد عبارت‌اند از : کک و آنتراسیت، زغال سنگ‌قهوه‌ای (لیگنیت) و تورب، چوب و زغال چوب. با سوختن این مواد در کوره‌ها، انرژی زیادی حاصل می‌شود و از آن جهت پخت قطعات سرامیکی استفاده می‌گردد. شایان ذکر است در کوره‌های سنتی استفاده از سوخت جامد مرسوم بوده است و به دلایل مختلف از قبیل :

۱ــ تولید رطوبت در حین پخت (چوب)،
۲ــ گران و پرهزینه بودن (کک در مقایسه با چوب و زغال)،
۳ــ ذخایر کم در کشورهای صنعتی (زغال سنگ و چوب)،
۴ــ تولید خاکستر در محیط کوره،
۵ــ تولید گازهای مزاحم در اتمسفر کوره و تغییر خواص قطعات سرامیکی و نسوزهای کوره،

این مواد به‌عنوان منابع تولید انرژی کم‌تر استفاده می‌شود و مصرف آن‌ها، به‌عنوان ماده‌ی سوختنی، در کوره‌های نوین محدود شده است.

جدول ۱ــ۶ ارزش گرمادهی سوخت‌های جامد را نشان داده است.

جدول ۱ــ۶

ماده‌ی سوختی	ارزش حرارتی $\frac{kj}{kg}$
چوب	۱۸۸۵۰
تورب	۲۳۹۰۰
زغال سنگ قهوه‌ای	۲۵۵۵۰
آنتراسیت	۳۳۵۰۰
کک	۳۳۹۰۰

سوخت‌های مایع

مایعات اشتعال‌پذیر که غالباً ریشه‌ی آلی دارند و حاوی هیدروکربن‌های حاصل از نفت خام‌اند سوخت‌های مناسبی در صنایع پخت سرامیک به‌شمار می‌آیند.

نفت سفید، گازوییل و نفت کوره (مازوت) از مایعات مهم سوختنی هستند که با سوختن در کوره‌های صنایع سرامیکی انرژی مورد نیاز پخت قطعات را تأمین می‌کنند.

ذخایر ناکافی، گران بودن و تولید گاز با سولفور مزاحم در اتمسفر کوره، مهم‌ترین عواملی هستند که مصرف این مواد را محدود ساخته است، اما این مواد در کشورهای دارای ذخایر نفتی یکی از منابع اصلی سوخت به‌شمار می‌آید و در کارگاه‌های کوچک به‌کار گرفته می‌شوند.

چون ترکیبات نفت، که مواد سوختی از آن‌ها به‌دست می‌آید متفاوت است، خصوصیات انرژی‌دهی مواد سوختنی نیز با یک‌دیگر متفاوت‌اند ؛ بنابراین، نمی‌توان عددی ثابت برای ارزش گرمادهی هر یک از سوخت‌ها ارائه داد ؛ با این همه، تمامی انواع آن‌ها (سوخت‌های مایع) دارای ارزش حرارتی در محدوده‌ی $۴۲۰۰۰ - ۴۳۰۰۰ \frac{kj}{kg}$ هستند.

سوخت‌های گازی

گازها رایج‌ترین و متداول‌ترین سوخت‌ها در پخت صنایع سرامیکی‌اند. استفاده از این مواد سوختی هزینه‌های تولید را کاهش داده، به دلیل عدم تولید خاکستر و گازهای مضر، مانند گوگرد، کیفیت محصولات را بالا برده است. گازهای طبیعی، مایع، گازهای کوره بلند، گاز زغال‌سنگ و گاز آب از گازهای مهم سوختنی هستند که در صنایع سرامیکی کاربرد دارند. کشور ایران، دومین کشور

دارنده‌ی منابع و ذخایر گازی در دنیاست ؛ از این‌رو این ماده سوختی بهترین سوخت کوره‌های پیش‌رفته‌ی پخت سرامیک محسوب می‌شود که درکشور ما رایج است.

رایج‌ترین گازهای مصرفی در کوره‌ها

رایج‌ترین گازهای مورد مصرف، هیدروکربن‌ها (پروپان و بوتان) هستند که از نفت یا به صورت طبیعی به‌دست می‌آیند. این مواد به راحتی در حرارت و فشار معین[1] مایع می‌شوند و مجدداً درحین سوختن به راحتی به گاز تبدیل می‌گردند. پس حمل و نقل آن‌ها به راحتی صورت می‌گیرد ؛ هم‌چنین استفاده و احتراق آن‌ها در کوره‌ها به سهولت انجام می‌پذیرد. از سوی دیگر، از سوختن آن‌ها انرژی حرارتی بسیار بالا تولید می‌شود.

جدول ۲ــ۶ــ ارزش حرارتی سوخت‌های گازی

نام سوخت	ارزش گرمادهی $K\frac{cal}{m}$
گاز آب	>۲۶۷۰
گاز زغال سنگ	۴۴۵۰
گاز طبیعی	>۱۴۲۴۰
گاز پروپان خالص	≅ ۲۴۲۴۰
گاز بوتان خالص	≅ ۳۰۵۰۰

الکتریسیته

الکتریسیته نیز یکی از منابع مهم تولید انرژی برای کوره‌های پخت سرامیکی به‌شمار می‌آید. کوره‌های الکتریکی انرژی حرارتی بالایی را ایجاد می‌کنند و بازده حرارتی بسیار بالایی دارند. انرژی حرارتی تولید شده، از طریق جریان برق در المان‌ها، حرارت ایجاد می‌کند و همانند اجاق‌های برقی دارای المان‌های حرارتی است به طوری که در برابر جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می‌دهد و این مقاومت سبب تولید گرما می‌گردد.

کوره‌ی الکتریکی در مقایسه با اجاق‌های برقی دارای المان‌های حرارتی بیش‌تر و قوی‌تری است ؛ از این‌رو، الکتریسیته بیش‌تری مصرف می‌کند.

۱ــ دارای فشار و دمای بحرانی پایینی هستند.

بنابراین، هزینه‌ی تأمین انرژی کوره‌ی الکتریکی بسیار بالاست و قیمت محصولاتی که در این کوره‌ها پخت می‌شوند نیز گران خواهد بود. سه عامل مهم محدودیت در استفاده از این منبع انرژی عبارت‌اند از :

۱ــ بالا بردن هزینه‌ی برق،

۲ــ عمر کوتاه المان‌های حرارتی،

۳ــ گران قیمت بودن المان‌های حرارتی.

این سه عامل سبب شده‌اند کوره‌های الکتریکی در کارخانجات بزرگ کم‌تر به کار گرفته شود ؛ با این همه،تمیزی سوخت وکنترل اتمسفر کوره، ساده و سهل‌الوصول بودن سوخت، نیز بازده و راندمان حرارتی بسیار بالا، سبب به‌کارگیری الکتریسیته به مثابه‌ی منبع تولید انرژی در وضعیت‌های خاص است.

حتی در کارگاه‌های کوچک استفاده از کوره‌های الکتریکی نیز مرسوم است.

کنترل برنامه‌ی پخت، اتمسفر کوره و بررسی تغییرات قطعه در حین فرآیند پخت، از عوامل بسیار مهمی است که کاربرد کوره‌های الکتریکی را در آزمایشگاه‌ها و آزمایشگاه کارخانجات امری ضروری ساخته است.

پیشرفت‌های دهه‌ی اخیر در کلیه‌ی صنایع، به‌خصوص در صنعت سرامیک امکان استفاده از کوره‌های مایکروویو را فراهم کرده است. در این کوره‌ها تولیدکننده امواج مایکروویو انرژی خود را به صورت تابش امواج به قطعه منتقل می‌کنند. انرژی جذب‌شده در قطعه به افزایش دما منجر می‌شود و نهایتاً پخت محصول به زمان کوتاهی کاهش می‌یابد. به‌طورکلی انتخاب نوع و اندازه‌ی کوره در پخت سرامیک‌های مختلف براساس فاکتورهایی نظیر سوخت قابل دسترس، دمای مورد نیاز پخت، جنس محصول و فاکتورهای اقتصادی تعیین می‌شود. در حقیقت کلیه‌ی ملاحظات فنی و اقتصادی در انتخاب کوره‌ی مناسب دخالت دارند. به‌عنوان مثال در یک کشور مثل ایران با ذخایر گاز فراوان کوره‌های گازسوز ارجحیت بیش‌تری دارند. از سوی دیگر در محصولاتی که به اتمسفر کوره بسیار حساس‌اند، لازم است از کوره‌های الکتریکی یا مایکروویو استفاده کنند.

طراحی، ساخت و بهره‌برداری مناسب از کوره‌های صنعتی در صنعت سرامیک از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به گونه‌ای که یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای ارزیابی محصولات سرامیکی به مرحله‌ی پخت آن بستگی دارد.

شکل ۶ــ۶ــ کوره‌های آزمایشگاهی مافل «تابش غیرمستقیم حرارت به قطعه»

شکل ۷ــ۶ــ کوره‌های آزمایشگاهی غیر مافل «تابش مستقیم حرارت به قطعه»

پرسش‌های فصل ششم

۱ــ مراحل پخت قطعات در کوره را نام ببرید و هر یک را به اختصار شرح دهید.
۲ــ هم‌جوشی یا زینترینگ را تعریف کنید.
۳ــ دلیل انقباض پخت قطعات را شرح دهید.
۴ــ علت انبساط حرارتی قطعه در حین پخت را توضیح دهید.
۵ــ علت انبساط حجمی قطعه در حین پخت را شرح دهید.
۶ــ مهم‌ترین عوامل پیچیدگی و دفرمگی در قطعات، هنگام پخت، چیست؟
۷ــ چگونه عدم یک‌نواختی انتقال حرارت، قطعه را دفرمه می‌سازد؟
۸ــ برای جلوگیری از بروز دفرمگی، قطعات را چگونه درکوره می‌چینند و می‌پزند؟
۹ــ برنامه‌ی پخت کوره‌های سرامیکی را تعریف کنید.
۱۰ــ انواع کوره‌ها براساس نوع و زمان کار کدام‌اند؟
۱۱ــ مراحل پخت در کوره‌ی متناوب را نام ببرید.
۱۲ــ چگونه کوره‌های هوفمن از اتلاف حرارت جلوگیری می‌کند؟
۱۳ــ نحوه‌ی پخت در کوره‌های تونلی را نام ببرید.
۱۴ــ مناطق مختلف کوره‌های تونلی را نام ببرید.

واژه نامه

accelerater	شتاب‌دهنده، تسریع کننده
amorphous	آمورف
annealing	تنش‌زدایی (آنیل کردن)
anthracite	آنتراسیت
batch extruder	اکسترودر مرحله‌ای
biscuite	بیسکویت
black core	عیب مغز سیاه
blow - blow	روش دمش ــ دمش
body	بدنه
bone china	چینی استخوانی
bounded water	آب جذب‌شده
burner block	بلوک مشعل
casting	ریخته‌گری
chemical water	آب شیمیایی
clay broadener	گل‌پهن‌کن
colburn	روش کُلبرن
cold isostatic press (CIP)	روش پرس ایزواستاتیک سرد
conduction	هدایت
continuous dryer	خشک‌کن پیوسته
convection	کنوکسیون (همرفت)
crack	ترک
De - airing pugmill	پاگمیل هوازدا
decomposition	تجزیه
decoration firing	پخت دکور
defects	عیوب
deflocculated slip	دوغاب روان‌سازی‌شده
deflocculation	روانسازی
deformation	دفرمگی (بی‌شکلی)
densification	افزایش دانسیته قطعه
die	سمبه
drian casting	ریخته‌گری تخلیه‌ای

drying	خشک‌کردن
dry pressing	پرس خشک
electric insulator	مقرّه
element	المنت
evaporation	تبخیر
fast firing	پخت سریع
filter press	فیلتر پرس
firing	پخت
firing atmosphere	اتمسفر پخت
firing defects	عیوب پخت
firing fuel	سوخت کوره
firing schedule (program)	برنامه پخت
firing stages (steps)	مراحل پخت
firing strength	استحکام پخت
firing zones	مناطق کوره پخت
float	شناور (فلوت)
flux	کمک‌ذوب (فلاکس)
fused cast	ذوب و ریخته‌گری‌شده
fusion casting	روش ذوب و ریخته‌گری
glazed	لعابدار
glaze firing (glost firing)	پخت لعاب
granole	گرانول
hand made - manual	روش دستی
heat transfer	انتقال حرارت
heat treatment	عملیات حرارتی
hoffman kiln	کوره هوفمن
hollow	توخالی
hollow casting	ریخته‌گری توخالی
hollow cylinder	استوانه توخالی
homogeneous	همگن‌سازی
hot isostatic press (HIP)	پرس ایزواستاتیک گرم
interparticle water	آب بین‌ذره‌ای
isostatic press	پرس ایزو استاتیک
jigger	جیگر
jiggering	شکل‌دادن به‌وسیله جیگر
jolly	جولی

jollying	شکل‌دادن به‌وسیله جولی
kiln (furnace) arrangement	چیدمان
lamination	لایه‌لایه‌شدن
lattice water	آب شیمیایی (آب هیدراته)
leather hard	لدرهارد (چرمینگی)
lignite	زغال‌سنگ قهوه‌ای (لیگنیت)
Liquid phase	فاز مایع
manual shaping	شکل‌دادن دستی
mixer	مخلوط‌کن
mold / mould	قالب
molten glass	شیشه یا مذاب شیشه
molten metal	مذاب فلز
multi - pieces mould	قالب چند تکه
Peat	تورب
permeable (porous) mould	قالب متخلخل
phase transformation	استحاله‌های فازی
plasticity factor	عدد پلاستیسیته
plastic shaping	شکل‌دهی پلاستیک
plate	بشقاب
porosity water	آب تخلخل
pottery wheel	چرخ کوزه‌گری
pre shaping	پیش‌شکل‌دادن
press	پرس‌کردن
press - blow	روش پرس ــ دمش
pugmill	پاگمیل
radiation	تشعشع (تابش)
ramming	کوبیدن
refractory	دیرگداز
retarder	کند کننده
roller	غلتک (رولر)
roller machine	ماشین رولر
rotating	گردان
saggar	ساگار
screw extruder	اکسترودر حلزونی
semidry pressing	پرس نیمه‌خشک
shales	کُک

shaping	شکل‌دادن
shrinkage	در هم فرو رفتن
sinter	زنیتر
slag	سرباره
slip	دوغاب
slip casting	ریخته‌گری دوغابی
sodium carbonate	کربنات سدیم
sodium salts	نمک‌های سدیم
sodium silicate	سیلیکات سدیم
sodium sulfate	سولفات سدیم
solid casting	ریخته‌گری دوغابی توپر
solid cylinder	استوانه توپر
spindle	اسپیندل
spray dryer	اسپری درایر (خشک‌کن پاشیدنی)
star type crack	ترک شمعدانی (ستاره‌ای)
stencil	شابلون
store	ذخیره‌سازی، انبارکردن
s - type crack	ترک S شکل
suspension water	آب سوسپانسیون
symmetrical bodies	ظروف متقارن
thermal conductivity	هدایت حرارت
thermal expansion	انبساط حرارتی
thermo couple	ترموکوپل
tile	کاشی
trimming / polishing	پرداخت‌کردن
tungsten carbide	کاربید تنگستن
tunnle kiln	کوره تونلی
turning	تراش (خراطی)
vaccuming	هواگیری
viscosity	ویسکوزیته
void	حفره (مُک)
wood	چوب (و زغال)

منابع و مآخذ

منابع فارسی

۱ــ مارقوسیان، واهاک کاسپاری. «دیرگدازها»/ جهاد دانشگاهی صنعتی شریف/ نوبت چاپ چهارم / ۱۳۶۹.

۲ــ رحیمی، افسون ؛ متین، مهران. «تکنولوژی سرامیک‌های ظریف»/ شرکت خاک چینی ایران، نوبت چاپ دوم / ۱۳۸۳.

۳ــ سرپولکی، حسین. «شکل دادن پلاستیک سرامیک‌ها».

۴ــ تشکری، شعبانعلی. «سرامیک برای اهل فن»/ انتشارات گویا/ نوبت اول/ ۱۳۷۰.

منابع خارجی Refrences

۱ ــ Singer,Felix; Singer,Sonya. "Industrial Ceramics" / Chapman & Hall LTD/1960.

۲ ــ F. H. Norton "Introducton To elements of Ceramics".

۳ ــ S.Reed, James, Wileg,Jon "Principles of Ceramic Processing".

۴ ــ F. H. Norton "Fine Ceramic".

۵ ــ Ryan, W.; Read ford,C. "Whitewares: Production, Testing And Quality Contral" / Pergamon Press/1989.

۶ ــ Dinsdale, Allen. "Pottery Scierice, Materials, Processes & Products"/ 1986.

۷ ــ F. H. Norton "Refractories".

واژه‌نامه کتاب شکل‌دادن و پخت سرامیک‌ها

amorphous	آمورف
annealing	تنش‌زدایی (آنیل کردن)
anthracite	آنتراسیت
batchextruder	اکسترودر مرحله‌ای
biscuite	بیسکویت
black core	عیب مغز سیاه
blow - blow	روش دمش ــ دمش
body	بدنه
bone china	چینی استخوانی
bounded water	آب جذب‌شده
burner block	بلوک مشعل
casting	ریخته‌گری
chemical water	آب شیمیایی
clay broadener	گل‌پهن‌کن
colburn	روش کُلبرن
cold isostatic press (CIP)	روش پرس ایزواستاتیک سرد
conduction	هدایت
continuous dryer	خشک‌کن پیوسته
convection	کنوکسیون (همرفت)
crack	ترک
De - airing pugmill	پاگمیل هوازدا
decomposition	تجزیه
decoration fring	پخت دکور
defects	عیوب
deflocculated slip	دوغاب روان‌سازی‌شده
deflocculation	روانسازی
deformation	دفرمگی (بی‌شکلی)
densification	افزایش دانسیته قطعه
die	سمبه
drian casting	ریخته‌گری تخلیه‌ای
drying	خشک‌کردن
dry pressing	پرس خشک
electric insulator	مقرّه

element	المنت
evaporation	تبخیر
fast firing	پخت سریع
filter press	فیلتر پرس
firing	پخت
firing atmosphere	اتمسفر پخت
firing defects	عیوب پخت
fitring fuel	سوخت کوره
firing schedule (program)	برنامه پخت
firing stages (steps)	مراحل پخت
firing strength	استحکام پخت
fiting zones	مناطق کوره پخت
float	شناور (فلوت)
flux	کمک‌ذوب (فلاکس)
fused cast	ذوب و ریخته‌گری‌شده
fusion casting	روش ذوب و ریخته‌گری
glazed	لعابدار
glaze firing (glost fitring)	پخت لعاب
granole	گرانول
hand made - manual	روش دستی
heat transfer	انتقال حرارت
heat treatment	عملیات حرارتی
hoffman kiln	کوره هوفمن
hollow	توخالی
hollow casting	ریخته‌گری توخالی
hollow cylinder	استوانه توخالی
homogeneous	همگن‌سازی
hot isostatic press (HIP)	پرس ایزواستاتیک گرم
interparticle water	آب بین‌ذره‌ای
isostatic press	پرس ایزو استاتیک
jigger	جیگر
jiggering	شکل‌دادن به‌وسیله جیگر
jolly	جولی
jollying	شکل‌دادن به‌وسیله جولی
kiln (furnace) arrangement	چیدمان
lamination	لایه‌لایه‌شدن

lattice water	آب شیمیایی (آب هیدراته)
leather hard	لدرهارد (چرمینگی)
lignite	ذغال‌سنگ قهوه‌ای (لیگنیت)
Liquid phase	فاز مایع
manual shaping	شکل‌دادن دستی
mixer	مخلوط‌کن
mold / mould	قالب
molten glass	شیشه یا مذاب شیشه
molten metal	مذاب فلز
multi - pieces mould	قالب چند تکه
Peat	تورب
permeable (porous) mould	قالب متخلخل
phase transformation	استحاله‌های فازی
plasticity factor	عدد پلاستی‌سیته
plastic shaping	شکل‌دهی پلاستیک
plate	بشقاب
porosity water	آب تخلخل
pottery wheel	چرخ کوزه‌گری
pre shaping	پیش‌شکل‌دادن
press	پرس‌کردن
press - blow	روش پرس ــ دمش
pugmill	پاگمیل
radiation	تشعشع (تابش)
ramming	کوبیدن
refractory	دیرگداز
roller	غلتک (رولر)
roller machine	ماشین رولر
rotating	گردان
saggar	ساگار
screw extruder	اکسترودر حلزونی
semidry pressing	پرس نیمه‌خشک
shales	کُک
shaping	شکل‌دادن
shrinkage	در هم فرو رفتن
sinter	زینتر

slag	سرباره
slip	دوغاب
slip casting	ریخته‌گری دوغابی
sodium carbonate	کربنات سدیم
sodium salts	نمک‌های سدیم
sodium silicate	سیلیکات سدیم
sodium sulfate	سولفات سدیم
solid casting	ریخته‌گری دوغابی توپر
solid cylinder	استوانه توپر
spindle	اسپیندل
spray dryer	اسپری درایر (خشک‌کن پاشیدنی)
star type creack	ترک شمعدانی (ستاره‌ای)
stencil	شابلون
store	ذخیره‌سازی، انبارکردن
s - type crack	ترک S شکل
suspension water	آب سوسپانسیون
symmetrical bodies	ظروف متقارن
thermal conductivity	هدایت حرارت
thermal expansion	انبساط حرارتی
thermo couple	ترموکوپل
tile	کاشی
trimming / polishing	پرداخت‌کردن
tungsten carbide	کاربید تنگستن
tunnle kiln	کوره تونلی
turning	تراش (خراطی)
vaccuming	هواگیری
viscosity	ویسکوزیته
void	حفره (مُک)
wood	چوب (و ذغال)