بسم الله الرحمن الرحیم

تولید سرامیک به روش پلاستیک

رشتهٔ سرامیک

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه ای

پایه دهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: تولید سرامیک به روش پلاستیک ـ ۲۱۰۵۱۱

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: غلامرضا امامی میبدی، هادی برزگر بفرویی، حمید تقی پور ارمکی، ندیٰ دیده‌ور، محمود سالاریه، ناصر ضیاییان مفید (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

غلامرضا امامی میبدی، هادی برزگر بفرویی، سمیرا دادستان، محمود سالاریه، شراره شادان فر، الهام صمدبین و ناصر ضیاییان مفید (اعضای گروه تألیف) ـ مهران غفاری (ویراستار فنی)، محمد محمودی (ویراستار ادبی)

مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: سیدمرتضی میرمجیدی (رسام فنی) ـ فرشته حسن‌خانی‌قوام (صفحه آرا) ـ نسرین اصغری (عکاس) ـ سمیه نصری (طراح جلد)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)
تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ چهارم ۱۳۹۸

کلیهٔ حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۷- ۲۶۸۹ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2689–7**

ملت شریف ما اگر در این انقلاب پیروز شود باید دست از آستین برآرد و به‌کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام‌خمینی (قُدِّسَ‌سِرُّهُ)

فهرست

- پودمان ۱ – تعیین پلاستیسیته ۱
- پودمان ۲ – شکل‌دهی به روش اکستروژن ۳۳
- پودمان ۳ – شکل‌دهی به روش تراش ۶۳
- پودمان ۴ – شکل‌دهی به روش جیگِر و جولی ۸۷
- پودمان ۵ – شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی ۱۱۵

سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته سرامیک طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال دهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هریک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است :

پودمان اول : با عنوان «تعیین پلاستیسیته» که ابتدا مفهوم پلاستیسیته و سپس به عوامل مؤثر بر پلاستیسیته اشاره شده است و در ادامه به شیوه‌های تعیین دقیق پلاستیسیته پرداخته می‌شود.

پودمان دوم : «شکل‌دهی به روش اکستروژن» نام دارد، که در آن مفهوم اکستروژن، کاربرد و ویژگی‌های محصولات تولیدی با این روش آموزش داده شده است و در ادامه به ابزار و تجهیزات و روش شکل‌دهی با این روش پرداخته می‌شود.

پودمان سوم : دارای عنوان «شکل‌دهی به روش تراش» است. در این پودمان ابتدا روش تراش و کاربرد آن آموزش داده شده و در ادامه، مکانیزم و مراحل شکل‌دهی با این روش شرح داده شده است.

پودمان چهارم : «شکل‌دهی به روش جیگر و جولی» نام دارد. ابتدا تاریخچه دستگاه و اجزای جیگر و جولی شرح داده شده و در ادامه، روش شکل‌دهی با استفاده از دستگاه رولر آموزش داده شده است.

پودمان پنجم : با عنوان «شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی» می‌باشد که در آن، هنرجویان ابتدا با محصولات دستگاه قالب‌گیری تزریقی و اجزای آن آشنا می‌شوند و سپس مکانیزم و مراحل شکل‌دهی این روش آورده شده است.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

گروه مؤلفان

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی ــ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته است :

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی تعیین پلاستیسیته

۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها

۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این کتاب دومین کتاب کارگاهی است که ویژهٔ رشته سرامیک تألیف شده است و شما در طول دو سال تحصیلی پیش رو چهار کتاب کارگاهی و با شایستگی‌های متفاوت را آموزش خواهید دید. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت در شغل و حرفه برای آینده بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی کنید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده دراین کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی تولید سرامیک به روش پلاستیک شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌کند و نمرهٔ قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است.

همچنین علاوه‌بر کتاب درسیِ شما، امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی، کتاب همراه هنرجو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده کنید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. سایر اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی www.tvoccd.medu.ir می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی

و بستهٔ آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به‌کار گیرید.

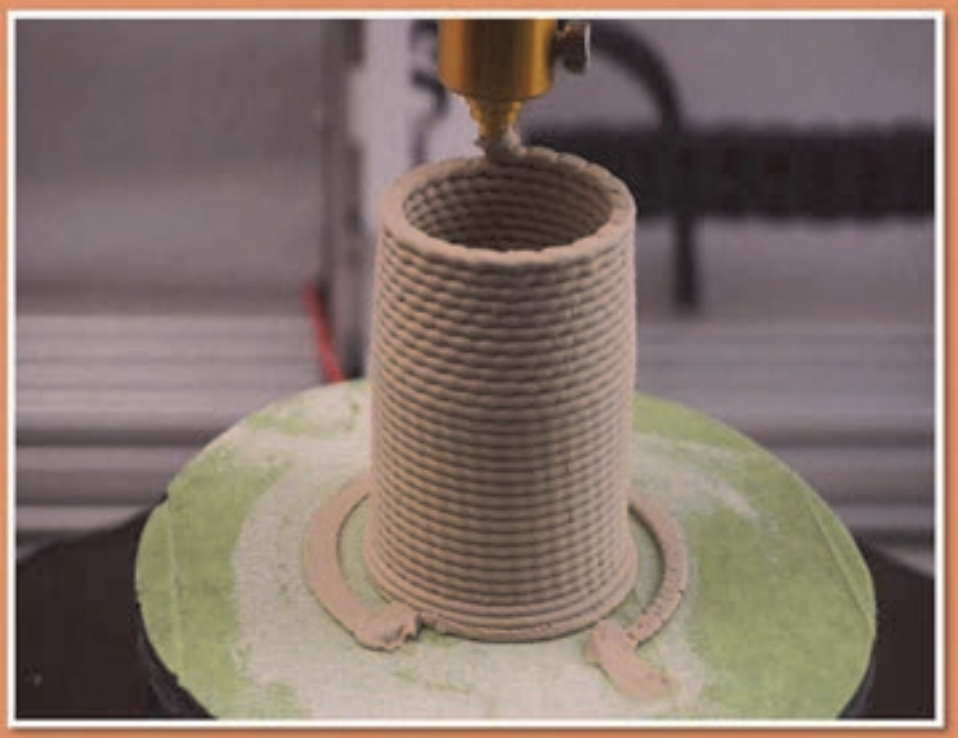
رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است بنابراین توصیه‌های هنرآموز محترمتان را در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

تعیین پلاستیسیته



از جمله ویژگی‌های مهم برای شکل‌دهی و تولید انواع محصولات قابلیت شکل‌پذیری (پلاستیسیته) است؛ بنابراین پلاستیسیته مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف با توجه به نوع محصول و روش شکل‌دهی آن متفاوت است. برای تعیین پلاستیسیته آزمون‌های زیادی پیشنهاد شده است. متداول‌ترین این آزمون‌ها بر اساس اندازه‌گیری مقدار رطوبت لازم برای ایجاد پلاستیسیته است.

واحد یادگیری ۱
شایستگی تعیین پلاستیسیته

شایستگی تعیین پلاستیسیته و یادگیری مهارت آن :

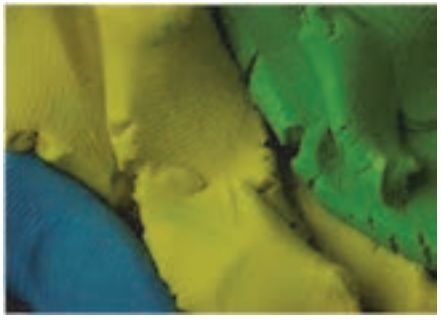
هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت تعیین پلاستیسیته به روش‌های مختلف است که در تولید سرامیک‌ها به روش پلاستیک مورد توجه قرار دارد. بررسی عوامل مؤثر بر پلاستیسیته رس و همچنین تعیین پلاستیسیته با روش‌های متداول در این واحد درنظر گرفته شده است.

استاندارد عملکرد:

انجام آزمون‌های تعیین پلاستیسیته مطابق با استاندارد ملی ایران

به تصاویر زیر نگاه کنید و به سؤالات پاسخ دهید:

- به نظر شما قابلیت شکل‌پذیری این خمیرهای بازی یکسان است؟



۱

۲

- به نظر شما کدام حالت برای شکل‌دهی خمیر نان مناسب‌تر است؟

۳

۴

- برای تولید یک محصول سرامیکی به روش پلاستیک کدام گِل مناسب‌تر است؟

۵

۶

در تمامی تصاویری که تاکنون دیده‌اید قابلیت شکل پذیری یا پلاستیسیته گِل اهمیت دارد.

تعریف پلاستیسیته

پلاستیسیته[1] ویژگی‌ای است که یک ماده را قادر می‌سازد تا در اثر یک نیروی خارجی تغییر شکل یافته به طوری که بعد از حذف یا کاهش نیرو همچنان شکل خود را حفظ کند بدون آنکه از هم گسیخته شود.

فکر کنید

آیا پلاستیسیتهٔ گل به کار رفته برای شکل‌دهی در شکل زیر مناسب بوده است؟

الف ب

شکل ۱

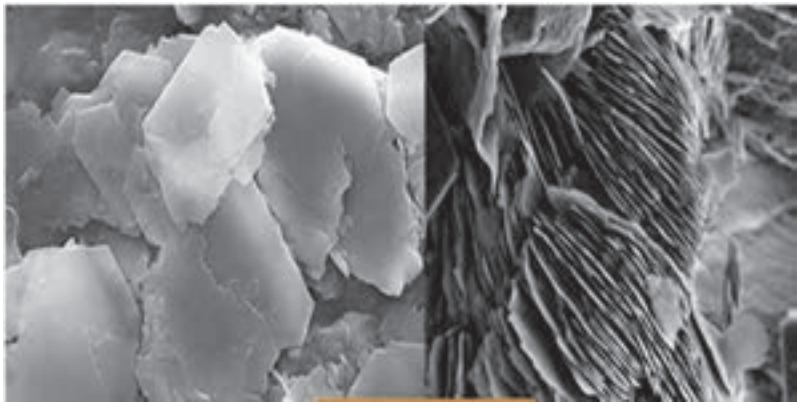
مواد اولیهٔ صنعت سرامیک را از نظر پلاستیسیته می‌توان به سه دسته پلاستیک، نیمه‌پلاستیک و غیرپلاستیک تقسیم‌بندی کرد که در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی مواد اولیه صنعت سرامیک از نظر پلاستیسیته

دسته بندی براساس پلاستیسیته	ماده اولیه
پلاستیک	کائولن
	بال‌کلی
	رس‌های قرمز
	رس دیرگداز
	بنتونیت
نیمه‌پلاستیک	تالک
	پیروفیلیت
غیرپلاستیک	سیلیس
	آلومینا
	فلدسپات‌ها

۱-Plasticity

مهم‌ترین ویژگی رس‌ها خاصیت پلاستیسیته است. در شکل۲ تصاویر میکروسکوپی کائولن نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل۲ مشاهده می‌شود، شکل ذرات رس ورقه‌ای است که با افزودن آب به سهولت می‌توانند بر روی هم بلغزند.

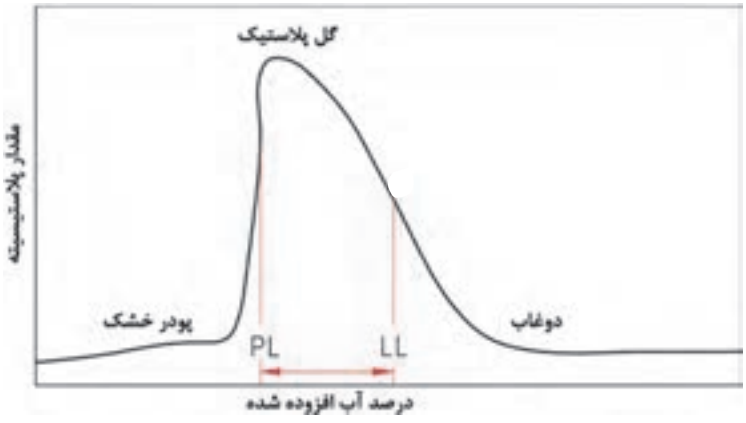


شکل ۲-تصویر میکروسکوپی کائولن

آب پلاستیسیته

رطوبت رس با درنظرگرفتن میزان آب افزوده شده تغییر می‌کند. با افزودن آب، رس از حالت خشک به حالت نیمه‌خشک، پلاستیک و دوغاب تبدیل می‌شود.

مقدار آبی که باعث می‌شود گل خاصیت پلاستیسیته داشته باشد، آب پلاستیسیته نامیده می‌شود. مقدار آب پلاستیسیته محدودهٔ مشخصی دارد که اصطلاحاً به آن «محدودهٔ آب پلاستیسیته» گفته می‌شود. همان طور که در شکل۳ مشاهده می‌کنید، اگر مقدار آب مصرفی کمتر از این محدوده باشد پلاستیسیته کاهش می‌یابد و گل بسیار سفت می‌شود. همچنین اگر مقدار آب مصرفی بیشتر از محدودهٔ آب پلاستیسیته باشد، گل مورد نظر بیش از حد نرم شده و استحکام قطعه حاصل از آن مناسب نخواهد بود. در این شکل محدوده آب پلاستیسیته با Pl-LL[1] نشان داده شده است.



شکل ۳-تغییرات پلاستیسیته رس با میزان آب افزوده شده

۱- Plastic Limit

مقدار آب پلاستیسیته به نوع رس بستگی دارد. در جدول ۲ محدودهٔ آب پلاستیسیته رس‌های مختلف بیان شده است.

جدول۲- درصد آب پلاستیسیتهٔ رس‌های مختلف

نوع رس	درصد آب پلاستیسیته
کائولن شسته‌نشده	۳۶-۴۵
کائولن شسته‌شده	۴۴-۴۷
بال‌کلی	۳۵-۵۳
رس‌های نسوز	۳۲/۵-۳۸
رس‌های آجری	۱۴/۵-۳۷/۵

فکر کنید

چرا درصد آب پلاستیسیته در کائولن شسته شده نسبت به کائولن شسته نشده بیشتر است؟

پلاستی‌سایزر[۱]

در صورتی که مواد اولیه تأمین کنندهٔ پلاستیسیته مورد نظر برای تولید بدنه سرامیکی نباشند، لازم است که مواد دیگری به مخلوط مواد اولیه افزوده شود. افزودنی‌ها، مواد اصلی تشکیل‌دهندهٔ اجزای بدنه‌های سرامیکی نیستند اما برای ایجاد ویژگی مورد نظر در بدنه نقش بسزایی دارند. از جملهٔ این افزودنی‌ها، پلاستی‌سایزرها هستند. پلاستی‌سایزرها با ایجاد لایه نازکی بین ذرّات، پلاستیسیته را افزایش می‌دهند.

انواع پلاستی‌سایزرها عمدتاً به صورت ترکیبات آلی هستند. البته پلاستی‌سایزرهای غیرآلی نظیر فسفات‌ها و سودا نیز کاربرد دارند. در جدول۳ انواع پلاستی‌سایزرها معرفی شده است.

جدول۳- برخی از پلاستی‌سایزرهای متداول در مقایسه با آب

پلاستی‌سایزر	نقطه جوش($^{\circ}C$)	پلاستی‌سایزر	نقطه جوش($^{\circ}C$)
آب	۱۰۰	گلیسرول	۲۹۰
اتیلن گلیکول	۱۹۷	ترا اتیلن گلیکول	۳۲۷
دی اتیلن گلیکول	۲۴۵	تری اتیل گلیکول	۲۸۸
دی متیل فنالات	۲۸۴	دی بوتیل فنالات	۳۴۰

۱-Plasticizer

گفتگو کنید

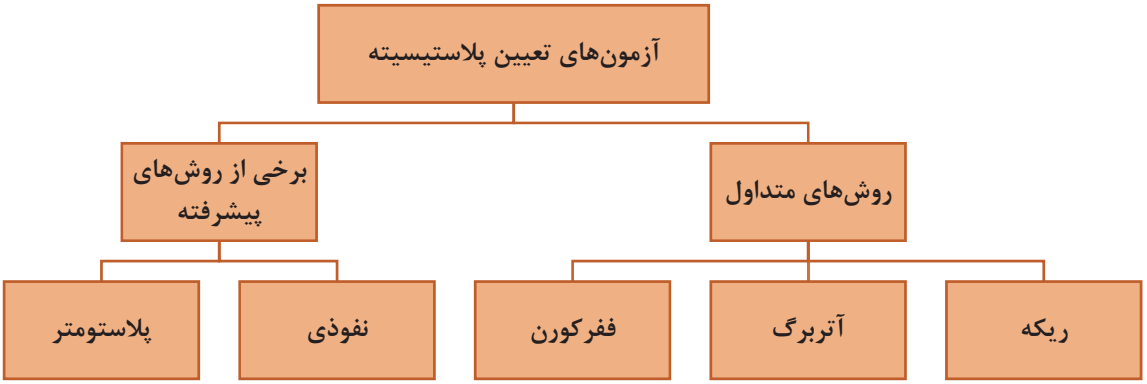
چرا نقطهٔ جوش پلاستی سایزرها اهمیت دارد؟

روش‌های تعیین پلاستیسیته

شکل ۴- دستگاه‌های کاربردی برای تعیین پلاستیسیته

- آیا تعیین دقیق پلاستیسیته دارای اهمیت است؟
- آیا پلاستیسیته گل را می‌توان به طور دقیق با دست و بررسی ظاهری گل تعیین کرد؟

میزان پلاستیسیته برای تولید بدنه‌های مختلف به روش پلاستیک اهمیت دارد. روش‌های مختلفی برای تعیین پلاستیسیته مطرح شده است. انواع آزمون‌های تعیین پلاستیسیته در نمودار یک آمده است.



نمودار ۱ - نمودار انواع روش‌های متداول و پیشرفته تعیین پلاستیسیته

در بین روش‌های متداول، ریکه و آتربرگ غیردستگاهی بوده و روش ففرکورن از جمله روش‌های دستگاهی است.

۱- تعیین پلاستیسیته به روش ریکه[۱]

در این روش میزان پلاستیسیته براساس بررسی گل با درصد رطوبت مختلف تعیین می‌شود و با بررسی ظاهر گل و لمس کردن آن و انجام محاسبات، عدد پلاستیسیته به دست می‌آید.

۱-Rieke

حالت اول و دوم ریکه به ترتیب زیر بررسی می‌شود:
حالت اول ریکه: حالتی از گل پلاستیک است که در مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست است(شکل ۵).

شکل۵ – حالت اول اریکه

حالت دوم ریکه: حالتی از گل پلاستیک است که در سطح گل ترک‌های واضح و مشخص باشد(شکل ۶).

شکل ۶– حالت دوم اریکه

پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، عدد ریکه تفاضل درصد آب در دو حالت اول و دوم است.

فکر کنید

کدام یک از نمونه‌های شکل ۷ برای تعیین نمونهٔ حالت اول ریکه مناسب است؟

الف

ب

شکل ۷

شرح آزمون ریکه

- مرحلهٔ اول: تهیه دوغاب و تعیین حالت اول و دوم ریکه

در ابتدا خاک مورد نظر در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده می‌شود؛ زمان خشک کردن باید به قدری طولانی شود تا خاک تغییر وزن نداشته باشد. سپس دوغاب همگنی تهیه و بر روی لوح گچی پهن می‌شود. پس از زیر و رو کردن و ورز دادن، گل یکنواختی حاصل می‌شود.
دو حالت برای گل وجود دارد:

۱- در صورت چسبیدن گل به دست، شرایط برای تعیین حالت اول ریکه فراهم است. بنابراین در این حالت می‌توان گل را به قدری بر روی سطح لوح گچی ورز داد تا به حالت مرز چسبیدن و نچسبیدن به دست برسد.
۲- در این مرحله می‌توان حالت دوم ریکه را تعیین کرد با ورز دادن گل بر روی سطوح گچی، بر روی گل ترک‌هایی به وضوح ظاهر خواهد شد.

- مرحلهٔ دوم: تعیین وزن تر و خشک حالت اول و دوم ریکه

برای تعیین عدد ریکه باید جدولی مطابق جدول ۴ رسم کرده و وزن نمونه‌های مختلف را در آن یادداشت کرد. وزن‌های خشک پس از قرار دادن نمونه‌ها در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس تعیین می‌شود.

جدول۴- وزن تر و خشک نمونه در حالت اول و دوم ریکه

نمونه	W_{R_1}: وزن تر در حالت اول ریکه (g)	W_{R_2}: وزن خشک در حالت اول ریکه (g)	W_{R_3}: وزن تر در حالت دوم ریکه (g)	W_{R_4}: وزن خشک در حالت دوم ریکه(g)

- مرحلهٔ سوم: محاسبهٔ درصد رطوبت بر مبنای خشک

با توجه به جدول ۴ و رابطه ۱ و ۲، درصد رطوبت بر مبنای خشک برای حالت اول ریکه و حالت دوم ریکه محاسبه می‌شود.

رابطه ۱: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول ریکه (مرز چسبیدن و نچسبیدن گل به دست)

رابطه ۱: $$M_{d_1} = \frac{W_{R_1} - W_{R_2}}{W_{R_2}} \times ۱۰۰$$

رابطه ۲: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت دوم ریکه (ظاهر شدن ترک بر روی سطح گل)

رابطه ۲: $$M_{d_2} = \frac{W_{R_3} - W_{R_4}}{W_{R_4}} \times ۱۰۰$$

- مرحلهٔ چهارم: تعیین عدد پلاستیسیته ریکه

در مرحله آخر عدد پلاستیسیته ریکه با توجه به درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه (M_{d_1}, M_{d_2}) و مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

رابطه ۳ : $$R = M_{d_1} - M_{d_2}$$

نکته

برای اطمینان از نتایج به دست آمده، آزمون ریکه چند بار تکرار می‌شود و میانگین نتایج به عنوان عدد پلاستیسیته گزارش می‌شود.

هر چه عدد ریکه بالاتر باشد، گل مورد نظر پلاستیسیته بالاتری خواهد داشت. در جدول ۵ عدد ریکه خاک‌های مختلف آمده شده است.

جدول۵- عدد ریکه رس‌های مختلف

خاک	عدد ریکه
کائولن	۴-۷
بال‌کلی	۹-۱۱
رس قرمز	۱۰-۱۴

فکر کنید

چه خطاهایی ممکن است در تعیین پلاستیسیته به روش ریکه ایجاد شود؟ روش‌های برطرف کردن آنها را بیان کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: تعیین پلاستیسیته کائولن به روش ریکه

مواد و ابزار: کائولن، آب، الک مش ۶۰، ترازو، ظرف، لوح گچی، کاردک، کولیس، خشک کن

شرح فعالیت:

۱- ابتدا مقداری از کائولن را از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید. سپس ۵۰۰ گرم از کائولن خشک شده و ۵۰۰ سی‌سی آب بردارید و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید. دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با کاردک یا دست به‌خوبی آن را زیر و رو کنید تا گل همگنی ایجاد شود.

۲- پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، نمونه‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی۲ سانتی‌متر و قطر ۵۰ میلی‌متر تهیه کنید و نمونه‌ها را کدگذاری کنید (R_1 و R_2: حالت اول و دوم ریکه).

۳- وزن‌تر نمونه بلافاصله پس از ساخت نمونه‌ها اندازه‌گیری شود.

۴- نمونه‌ها را در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید و وزن خشک آنها را یادداشت کنید.

۵- درصد رطوبت را بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه و عدد ریکه را محاسبه کنید.

نکته

نکته ۱: همواره برای تهیهٔ دوغاب، خاک را داخل آب بریزید.

نکته ۲: از تمیز بودن لوح گچی و کاردک اطمینان حاصل کنید.

نکته ۳: مراقب باشید که کاردک باعث کنده شدن سطح لوح گچی و ورود گچ به گل نشود.

نکته ۴: برای جلوگیری از اشتباه در شناسایی نمونه‌ها، هنگام کدگذاری آنها نام گروه خود را روی نمونه حک کنید

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: تعیین پلاستیسیته بال‌کلی به روش ریکه
مواد و ابزار: بال‌کلی، آب، الک. مش ۶۰، ترازو، ظرف، لوح گچی، کاردک، کولیس، خشک کن
شرح فعالیت:
۱- ابتدا مقداری از بال‌کلی را از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید. سپس ۵۰۰ گرم از بالکلی خشک شده و ۵۰۰ سی‌سی آب بردارید و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید. دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با کاردک یا دست به خوبی آن را زیر و رو کنید تا گل همگنی ایجاد شود.
۲- پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، نمونه‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی۲ سانتی‌متر و قطر ۵۰ میلی‌متر تهیه کنید و آنها را کدگذاری کنید (R_1 و R_2: حالت اول و دوم ریکه).
۳- وزن‌تر نمونه بلافاصله پس از ساخت نمونه‌ها اندازه‌گیری شود.
۴- نمونه‌ها را در خشک کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید و وزن خشک آنها را یادداشت کنید.
۵- درصد رطوبت را بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه و عدد ریکه را محاسبه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: تعیین پلاستیسیته بنتونیت به روش ریکه
مواد و ابزار: بنتونیت، الک مش ۶۰، آب، لوح گچی، کاردک، ترازو، خط‌کش، خشک‌کن
شرح فعالیت:
۱- ابتدا مقدار مناسبی از بنتونیت را از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن در دمای ۵۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید. سپس ۵۰۰ گرم از بنتونیت خشک شده و ۳۰۰ سی‌سی آب بردارید و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید و دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با کاردک به خوبی زیر و رو کنید تا گل همگنی ایجاد شود.
۲- پس از تعیین حالت اول و دوم ریکه، نمونه‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی ۲ سانتی‌متر و قطر ۵۰ میلی‌متر تهیه کنید و آنها را کدگذاری کنید (R_1 و R_2: حالت اول و دوم ریکه).
۳- وزن تر نمونه بلافاصله پس از ساخت نمونه‌ها اندازه‌گیری شود.
۴- نمونه‌ها را در خشک‌کن در دمای ۱۱۰درجهٔ سلسیوس قرار دهید و وزن خشک آنها را یادداشت کنید.
۵- درصد رطوبت را بر مبنای خشک در حالت اول و دوم ریکه و عدد ریکه محاسبه کنید.

۲-تعیین پلاستیسیته به روش آتربرگ[۱]

روش آتربرگ مانند ریکه یک روش غیردستگاهی است و عدد پلاستیسیته آن معمولاً به روش ریکه نزدیک است.

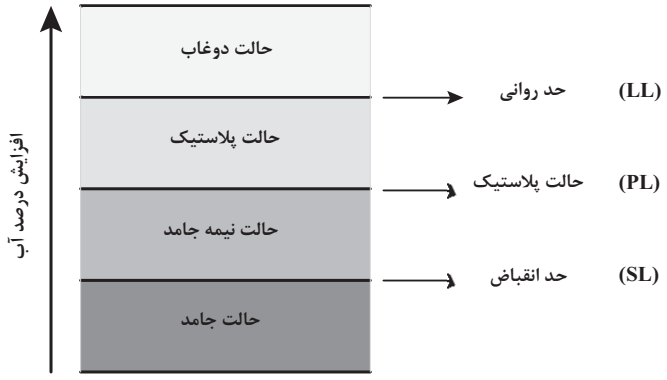
۱-Atterberg

سه محدوده برای مقدار رطوبت موجود در خاک می‌توان تعریف کرد: حد انقباض(SL[1])، حد پلاستیک (PL[2]) و حد روانی (LL[3]) (شکل ۸).

حد انقباض: میزان رطوبتی است که در آن رطوبت خاک رفتاری بین نیمه‌جامد و جامد دارد.

حد پلاستیک: میزان رطوبتی است که در آن رطوبت خاک رفتاری بین پلاستیک و نیمه‌جامد دارد.

حد روانی: میزان آبی است که در آن رطوبت خاک رفتاری بین پلاستیک و دوغاب دارد.



شکل ۸- حالت‌های مختلف خاک براساس رطوبت

در سنجش پلاستیسیته به روش آتربرگ، درصد رطوبت در دو حد پلاستیک و حد روانی اندازه‌گیری می‌شود. برای همین منظور اختلاف درصد آب در دو حالت تعیین شود: حالت اول «مرز یکی شدن شیار» و حالت دوم «ظهور اولین ترک‌ها» است.

شکل ۹- حالت اول و دوم آتربرگ

۱-Solid limite
۲-Plastic limite
۳-Liquldelimite

آیا می دانید

روش آتربرگ اولین بار توسط آلبرت آتربرگ ابداع شد. او دریافت که پلاستیسیته از ویژگی‌های خاص مواد رسی است تلاش کرد با طراحی این روش این خاصیت مورد اندازه‌گیری قرار گیرد.

شرح آزمون آتربرگ

در این آزمون تعیین درصد آب برای دو حالت مرز یکی شدن شیار و ظهور اولین ترک‌ها اهمیت دارد. بنابراین باید درصد آب این دو حالت با توجه به وزن تر و خشک آنها تعیین شود.

- مرحله اول: تهیه گل

در ابتدا خاک مورد نظر در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده می‌شود. زمان خشک کردن باید به قدری طولانی شود تا خاک تغییر وزن نداشته باشد. سپس دوغاب همگنی تهیه شده و بر روی لوح گچی پهن می‌شود و با زیر و رو کردن و ورز دادن گل یکنواختی به دست می‌آید (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- تهیهٔ گل یکنواخت با دوغاب

- مرحله دوم: تعیین حالت اول آتربرگ

اگر گل پلاستیک به دست بچسبد باید ورز دادن تا حدی ادامه یابد که با کاهش رطوبت، گل به دست نچسبد؛ در این حالت امکان تعیین حالت «مرز یکی شدن شیار» فراهم شده است. در این حالت گل را به صورت دایره یا تخت درآورده و سطح آن را با کاردک صاف کنید (شکل ۱۱).

سپس با تیغهٔ کاردک شیاری ایجاد کرده و چند ضربه بر روی آن وارد کنید. اگر شیار ایجاد شده کمی جمع شود ولی لبهٔ دو نصفهٔ گل به یکدیگر نرسد، در این حالت مرحلهٔ اول آتربرگ (مرز یکی

شکل۱۱

شدن شیار) به دست آمده است (شکل ۱۲).
پس از رسیدن به مرحلهٔ اول آتربرگ، تکه‌ای از گل را برداشته و بعد از کدگذاری، وزن آن را یادداشت کنید. سپس آن تـکه گـل را داخـل خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شود. سپس وزن خشک نمونه‌ها را یادداشت کنید.

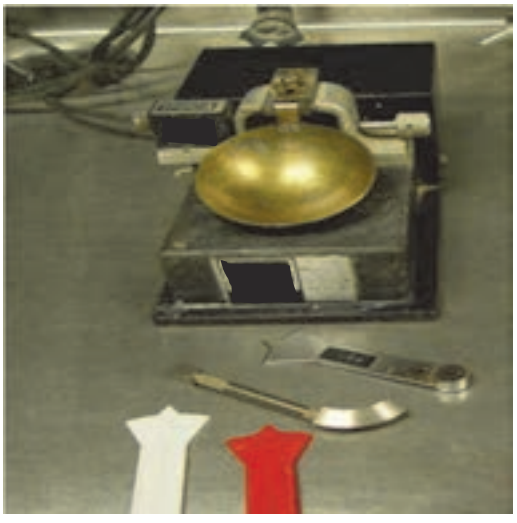
شکل ۱۲

نکته

اگر شیار ایجاد شده کاملاً به هم چسبید، حالت مرز یکی شدن شیار به دست نیامده است. در این صورت دوباره گل ورز داده می‌شود تا شیار بر روی گل ایجاد شود.

نکته

به منظور تعیین دقیق مرز یکی شدن شیار، از ظرف‌هایی معروف به جام کاساگرانده[۱] و شیارزن استفاده می‌شود که در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- جام کاساگرانده و شیارزن

۱- Casagrande

➢ مرحله سوم: تعیین حالت دوم آتربرگ

برای تعیین حالت دوم آتربرگ، مقداری گل را برداشته و به قدری ورز داده شود تا اولین ترک‌ها بر روی سطح آن ظاهر شود. در این حالت وزن آن با ترازو اندازه-گیری و یادداشت می‌شود. سپس فتیله را داخل خشک‌کن با دمای ۱۱۰درجهٔ سلسیوس به مدت تقریباً ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شود. در پایان، وزن خشک‌شده آن را یادداشت کنید (شکل ۱۴ را مشاهده کنید).

شکل ۱۴- بررسی فتیله در روش آتربرگ

➢ مرحله چهارم: محاسبات و تعیین عدد پلاستیسیته آتربرگ

برای تعیین عدد پلاستیسیته باید درصد رطوبت بر مبنای خشک محاسبه شود. روش محاسبهٔ درصد رطوبت بر مبنای خشک مشابه روش ریکه است.

در ابتدا جدول ۶ کامل می‌شود.

جدول ۶- وزن تر و خشک نمونه‌ها در حالت اول و دوم آتربرگ

نمونه	W_{A_1}: وزن تر در حالت اول آتربرگ (g)	W_{A_2}: وزن خشک در حالت اول آتربرگ (g)	W_{A_3}: وزن تر در حالت دوم آتربرگ (g)	W_{A_4}: وزن خشک در حالت دوم آتربرگ (g)

سپس با توجه به جدول ۶ و رابطه‌های شماره ۴ و ۵، درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول و دوم آتربرگ تعیین می‌شود.

رابطه ۴: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول آتربرگ (مرز یکی شدن شیار)

رابطه ۴:
$$M_{d_1} = \frac{W_{A_1} - W_{A_2}}{W_{A_2}} \times ۱۰۰$$

رابطه ۵: درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت دوم آتربرگ (ظاهر شدن ترک)

رابطه ۵:
$$M_{d_2} = \frac{W_{A_3} - W_{A_4}}{W_{A_4}} \times ۱۰۰$$

برای محاسبه عدد پلاستیسیته آتربرگ از رابطهٔ ۶ به‌دست می‌آید. در این رابطه M_{d_1} درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت اول آتربرگ و M_{d_2} درصد رطوبت بر مبنای خشک در حالت دوم آتربرگ است.

رابطه ۶ : عدد پلاستیسیته به روش آتربرگ
$$A = M_{d_1} - M_{d_2}$$

نکته

برای تعیین دقیق‌تر عدد پلاستیسیته به روش آتربرگ باید این آزمون را چندین بار تکرار کرد و میانگین اعداد به‌دست آمده را به عنوان عدد پلاستیسیته گزارش کرد.

در آزمون آتربرگ هر چه عدد به‌دست آمده بزرگ‌تر باشد، گل مورد نظر پلاستیسیته بالاتری خواهد داشت. در جدول ۷ عدد آتربرگ خاک‌های مختلف بیان شده است.

جدول۷ - عدد آتربرگ رس‌های مختلف

خاک	عدد آتربرگ
کائولن	۱۰-۲۲
ایلیت	۳۰-۵۵
مونت موریونیت	۵۹-۱۰۰

فکر کنید

به نظر شما چه خطاهایی در آزمون آتربرگ ممکن است وجود داشته باشد؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: تعیین پلاستیسیته کائولن به روش آتربرگ

مواد و ابزار: کائولن، آب، الک مش ۶۰، لوح گچی، کاردک، ترازو، خط‌کش، کاساگرانده یا کفهٔ الک، کاشی لعابدار، کاردک، خشک‌کن

شرح فعالیت:

ابتدا مقداری کائولن را از الک مش ۶۰ عبور داده و در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده شود. سپس ۵۰۰گرم کائولن خشک شده و ۵۰۰ سی‌سی آب برداشته و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید.

سپس، مطابق با شرح آزمون آتربرگ (مراحل ۱ تا ۴) عدد پلاستیسیته را محاسبه کنید.

نکته

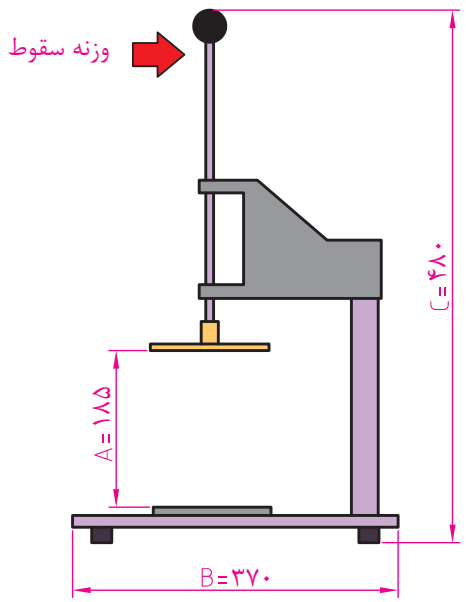
مدت زمان قرارگیری نمونه داخل خشک‌کن باید به قدری باشد که کاهش وزن نداشته باشد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: تعیین پلاستیسیته بال‌کلی به روش آتربرگ
مواد و ابزار: بال‌کلی، آب، الک مش ۶۰، لوح گچی، کاردک، ترازو، خط‌کش، کاساگرانده یا کفهٔ الک، کاشی لعابدار، کاردک، خشک‌کن
شرح فعالیت:
ابتدا مقداری بالکلی را از الک مش ۶۰ عبور داده در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده شود. سپس ۵۰۰ گرم بال‌کلی خشک شده و ۵۰۰ سی‌سی آب برداشته و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید.
پس از آن مطابق شرح آزمون آتربرگ (مراحل ۱ تا ۴) عدد پلاستیسیته را محاسبه کنید.

تعیین عدد پلاستیسیته به روش ففرکورن

یکی از مهم‌ترین آزمون‌های اندازه‌گیری پلاستیسیته، آزمون ففرکورن است. در شکل ۱۶، تصویر و مشخصات دستگاه ففرکورن نشان داده شده است. در این روش، استوانه‌ای گلی با ابعاد مناسب به وسیلهٔ قالب مخصوص (نمونه‌ساز) ساخته می‌شود که بر روی آن یک وزنه به جرم۱۱۹۲ گرم از ارتفاع استاندارد ۱۸۵ میلی‌متری (در شکل با A نشان داده شده) سقوط می‌کند.



شکل ۱۵- دستگاه ففرکورن (A: ارتفاع کف وزنه سقوط از محل قرارگیری نمونه)

شرح آزمون ففرکورن

- مرحله اول: تهیهٔ گل

در ابتدا دوغاب همگنی تهیه شده و بر روی لوح گچی پهن می‌شود. پس از زیر و رو کردن و ورز دادن، گل یکنواختی حاصل می‌شود. زمانی که گل به‌دست نچسبد، می‌توان نمونه‌های آزمون را تهیه کرد.

➢ مرحلهٔ دوم: ساخت نمونه

پس از آماده شدن گل با استفاده از قالب ففرکورن (یک استوانه به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر و قطر ۳۳ میلی‌متر) حداقل ۶ نمونه ساخته می‌شود.

شکل ۱۶- دستگاه ففرکورن و قالب نمونه‌ساز

➢ مرحلهٔ سوم: تعیین ارتفاع ثانویه

در این مرحله نمونه‌ها در دستگاه ففرکورن قرار داده شده و ضامن وزنه آزاد می‌شود تا روی استوانه گلی سقوط کند و ارتفاع ثانویه اندازه‌گیری می‌شود. سپس نمونه‌ها کدگذاری شده و بلافاصله وزن آنها یادداشت می‌شود.

پس از آن، نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک، درون خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار می‌گیرند و سپس وزن خشک نمونه‌ها به وسیلهٔ ترازو تعیین می‌شود.

تمامی اطلاعات حاصل از این مرحله در جدولی مانند جدول ۸ یادداشت می‌شود.

جدول ۸- اطلاعات لازم برای تعیین پلاستیسیته به روش ففرکورن

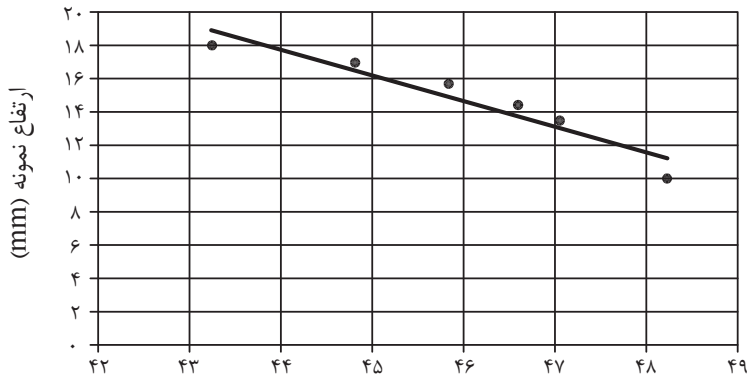
نمونه	h_1 : ارتفاع اولیه (mm)	h_2 : ارتفاع ثانویه (mm)	W_1 : وزن تر (g)	W_2 : وزن خشک (g)
۱	۴۰			
۲	۴۰			
۳	۴۰			
۴	۴۰			
۵	۴۰			
۶	۴۰			

➢ مرحله چهارم: تعیین عدد پلاستیسیته ففرکورن و درصد آب کارپذیری

با توجه به وزن تر و خشک نمونه‌ها، درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه‌ها محاسبه می‌شود. سپس در یک نمودار، ارتفاع نمونه بر حسب درصد رطوبت بر مبنای خشک را مشخص کرده و نزدیک‌ترین خط به نقاط مورد نظر ترسیم می‌شود. با توجه به این خط، درصد رطوبت بر مبنای خشک در ارتفاع ۱۲ میلی‌متر نشان دهندهٔ عدد پلاستیسیته ففرکورن است و درصد رطوبت بر مبنای خشک در ارتفاع ۱۶ میلی‌متر درصد آب کارپذیری ففرکورن را نشان می‌دهد.

نکته

نمونه‌های آماده شده باید در محدوده‌های ارتفاع شامل کمتر از ۱۲، بین ۱۲ و ۱۶ و بیشتر از ۱۶ میلی‌متر باشند.



نمودار۲- درصد رطوبت بر مبنای خشک و ارتفاع نمونه

در جدول۹، عدد پلاستیسیته ففرکورن و درصد آب‌کارپذیری رس‌های مختلف بیان شده است.

جدول۹- عدد پلاستیسیته و درصد آب‌کارپذیری خاک‌های مختلف به روش ففرکورن

خاک	عدد پلاستیسیته	درصد آب‌کارپذیری
کائولن (شسته شده)	۱۴-۲۲	۴۳-۴۸
بال‌کلی	۳۲-۷۲	۳۰-۵۲
زنوز	۲۵-۴۷	۲۲-۳۲

گفتگو کنید

دربارهٔ ارتباط عدد پلاستیسیتهٔ ففرکورن و درصد آب کارپذیری رس‌های مختلف بحث کنید.

نکته

روش ففرکورن برای تعیین پلاستیسیته بدنه‌های حاوی مواد غیر رسی که معمولاً برای تهیهٔ مواد پیشرفته کاربرد دارند، مناسب نیست. دلیل این موضوع، پلاستیسیتهٔ کم این نمونه‌ها است که دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶: تعیین پلاستیسیته کائولن به روش ففرکورن

مواد و ابزار: کائولن، آب، الک مش ۶۰ ، لوح گچی، کاردک، ترازو، کولیس، کاشی لعابدار، خشک‌کن

شرح فعالیت:

۱- مقداری خاک کائولن از الک مش ۶۰ عبور داده و در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار داده شود.

۲- ۵۰۰ گرم کائولن خشک شده و ۵۰۰ سی‌سی آب اندازه‌گیری کرده و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه شود.

۳- دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با زیر و رو کردن آن، گل یکنواختی تهیه شود.

۴- با استفاده از نمونه ساز حداقل ۶ نمونه تهیه کنید و هر یک کدگذاری شود.

۵- سپس وزنه و ارتفاع سقوط وزنه دستگاه ففرکورن را ارزیابی کنید.

۶- هر یک از نمونه‌ها را در دستگاه ففرکورن قرار داده و وزنه را آزاد کنید تا بر روی نمونه سقوط کند.

۷- ارتفاع ثانویه و وزن هر یک از نمونه‌ها را یادداشت کرده و سپس آنها را داخل خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید و سپس وزن خشک آنها را یادداشت کنید.

۸- با توجه به شرح آزمون، درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه‌ها را به‌دست آورده و نتایج را بر روی کاغذ شطرنجی رسم کنید و سپس عدد پلاستیسیته و درصد آب کارپذیری را تعیین کنید.

نکته

نکته ۱: قبل از تهیه نمونه‌ها، داخل نمونه ساز را با مقدار کمی روغن چرب کنید.

نکته ۲: سطح زیرین وزنه را قبل از سقوط روغن‌کاری کنید (به مقدار بسیار کم).

نکته ۳: خشک‌کن را از لحاظ جریان هوا بررسی کنید و خشک‌کن نباید از بخار آب اشباع شده باشد.

نکته ۴: گل روغنی شده را نباید به بقیه گل بازگرداند.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷: تعیین پلاستیسیته بال‌کلی به روش ففرکورن

مواد و ابزار: الک مش ۶۰ ، بال‌کلی، آب، لوح گچی، کاردک، ترازو، کولیس، کاشی لعابدار، خشک‌کن

شرح فعالیت:

۱- مقداری بال‌کلی را از الک مش ۶۰ عبور داده و در خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.

۲- ۵۰۰گرم بالکلی خشک شده و ۵۰۰ سی‌سی آب اندازه‌گیری کرده و در یک ظرف مناسب دوغاب همگنی تهیه کنید.

۳- دوغاب را بر روی لوح گچی پهن کرده و با زیر و رو کردن آن گل یکنواختی تهیه کنید.

۴- با استفاده از نمونه ساز حداقل ۶ نمونه تهیه کنید و هر یک کدگذاری شود.

۵- وزنه و ارتفاع سقوط وزنهٔ دستگاه ففرکورن را ارزیابی کنید.

۶- هر یک از نمونه‌ها را در دستگاه ففرکورن قرار داده و وزنه را آزاد کنید تا بر روی نمونه سقوط کند.

۷- ارتفاع ثانویه و وزن هر یک از نمونه‌ها را یادداشت کرده و سپس آنها را داخل خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید و سپس وزن خشک آنها را یادداشت کنید.

۸- با توجه به شرح آزمون، درصد رطوبت بر مبنای خشک نمونه‌ها را به‌دست آورده و نتایج را بر روی کاغذ شطرنجی رسم کنید و سپس عدد پلاستیسیته و درصد آب کارپذیری را تعیین کنید.

فعالیت کلاسی

عدد پلاستیسیته که از فعالیت‌های کارگاهی ۱ تا ۷ به‌دست آورده‌اید را در جدول زیر یادداشت کنید و دربارهٔ نتایج گروه‌های مختلف بحث و گفت‌وگو کنید.

روش تعیین پلاستیسیته / نوع خاک	روش ریکه	روش آتربرگ	روش ففرکورن
کائولن			
بال‌کلی			

عوامل مؤثر بر پلاستیسیته

آیا می‌توان بدون تغییر آمیز (مخلوط مواد اولیه) میزان پلاستیسیته را تغییر داد؟

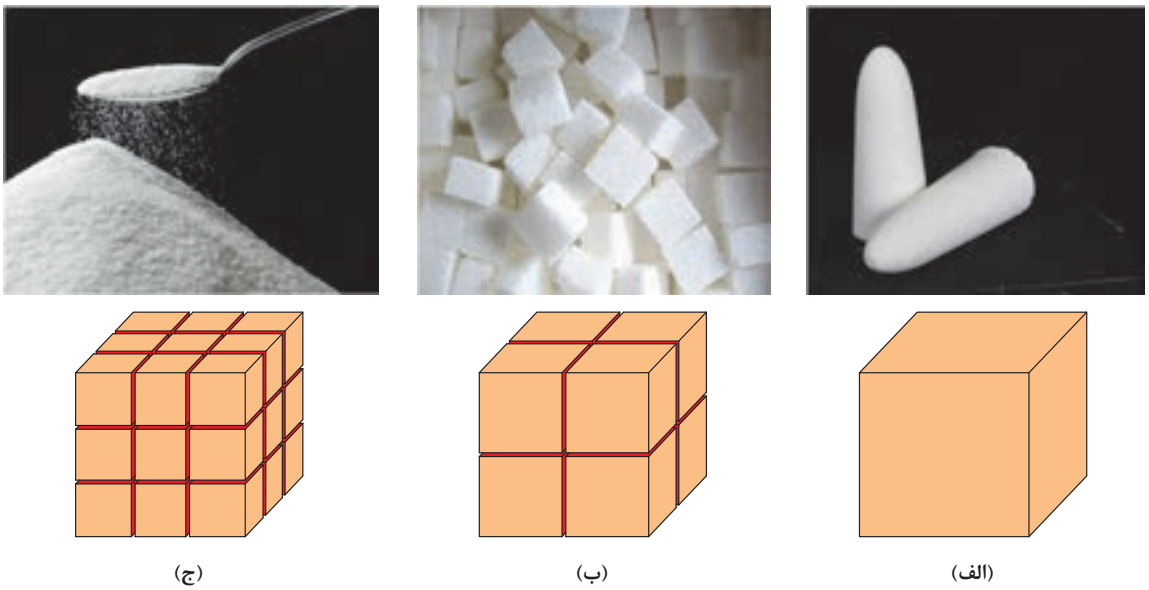
مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پلاستیسیته در نمودار ۳ آمده است.

نمودار ۳- عوامل مؤثر بر پلاستیسیته

در این قسمت هر یک از عوامل مؤثر بر پلاستیسیته بررسی شده است:

۱- اندازه ذرّات

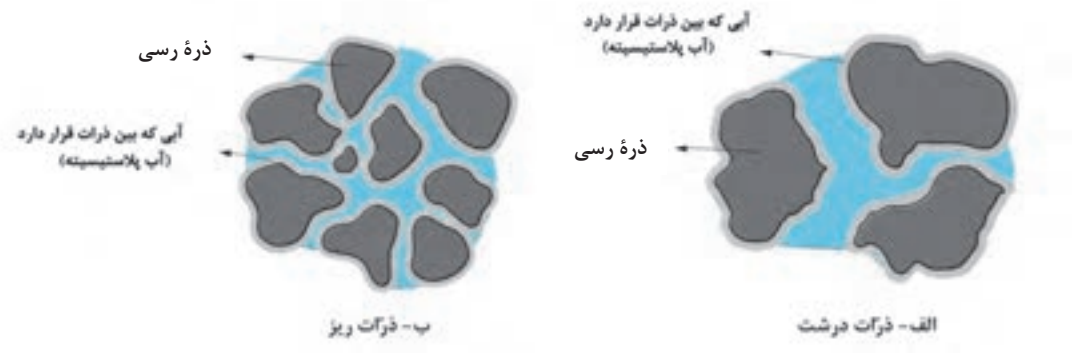
کدام یک از تصاویر شکل ۱۷ سطح بیشتری دارد؟



(الف) (ب) (ج)

شکل ۱۷

با ریز شدن، سطح ذرّات افزایش می‌یابد و امکان قرارگیری آب بین ذرّات بیشتر می‌شود. بنابراین ذرّات راحت‌تر بر روی هم می‌لغزند و قابلیت پلاستیسیته افزایش می‌یابد (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- قرارگیری آب بین ذرات در دو حالت: الف -ذرّات ریز ب- ذرّات درشت

نکته

کوارتز و فلدسپات با وجود اینکه خاصیت پلاستیک ندارند، اگر بیش از حد ریزدانه شوند، خاصیت پلاستیسیته بسیار کمی از خود نشان می‌دهند اما باید توجه داشت که خاصیت پلاستیسیته آنها قابل مقایسه با رس‌ها نیست.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۸: مقایسهٔ اثر اندازهٔ ذرّات بر پلاستیسیته

مواد و ابزار: دو عدد ظرف، کائولن، سیلیس، آب، الک مش ۴۰ و ۱۰۰، ترازو، خشک‌کن، دستگاه ففرکورن

شرح فعالیت:

۱- مقداری خاک کائولن بردارید و از الک ۴۰ عبور دهید. سپس در خشک‌کن با دمای ۱۱۰درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید.

۲- مقداری سیلیس بردارید و مقداری از آن را از الک مش ۴۰ و مقداری از آن را از الک مش ۱۰۰ عبور دهید.

۳- دو ظرف جداگانه بردارید و هر یک را کدگذاری کنید. در ظرف شماره یک ۳۰۰ سی‌سی آب بریزید و با ۳۰۰ گرم کائولن خشک شده و ۱۰۰ گرم سیلیس عبور کرده از الک مش ۴۰ مخلوط کنید.

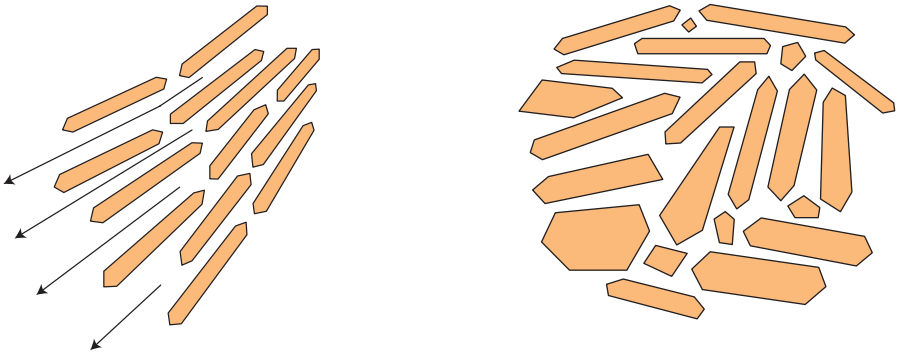
۴- در ظرف شماره ۲، ۳۰۰ سی‌سی آب بریزید و با ۲۰۰ گرم کائولن خشک شده و ۱۰۰ گرم سیلیس عبور کرده از الک مش ۱۰۰ مخلوط کنید.

۵- دوغاب‌های به‌دست آمده را به طور جداگانه بر روی لوح گچی پخش کنید و با زیر و رو کردن آن، گل‌های یکنواختی به دست آورید.

۶- سپس با توجه به شرح آزمون ففرکورن، عدد پلاستیسیتهٔ هر یک از گل‌ها را به‌دست آورید و نتایج را مقایسه کنید.

۲- توزیع اندازهٔ ذرّات

هنگامی که محدوده اندازه ذرّات بسیار ریز و نزدیک به هم باشد، مقدار پلاستیسیته افزایش می‌یابد. زیرا در این حالت اصطکاک بین آنها بسیار کم می‌شود و راحت‌تر بر روی هم می‌لغزند (شکل ۱۹).



الف- ذرّات با اندازه‌های مختلف

ب- ذرّات با اندازهٔ یکسان

شکل ۱۹- توزیع اندازهٔ ذرّات

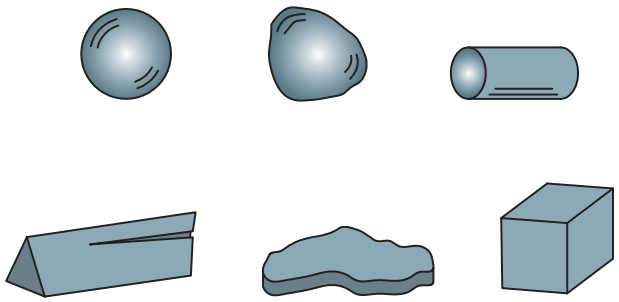
فکر کنید

هنگامی که اندازهٔ ذرّات بسیار ریز و نزدیک به هم باشد، استحکام قطعه شکل‌دهی شده مناسب خواهد بود؟

۳- شکل ذرّات

به تصویر زیر نگاه کنید:

سطح تماس ذرّات در کدام شکل بیشتر می‌شود؟

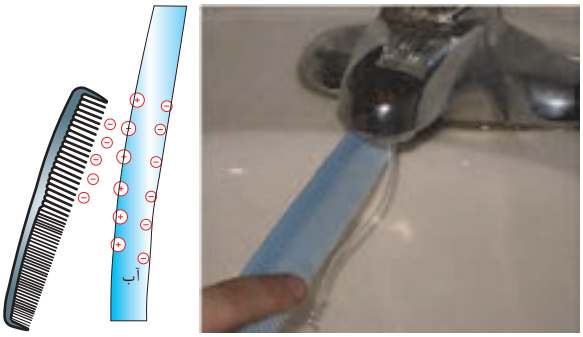


شکل ۲۰- اشکال مختلف ذرّات

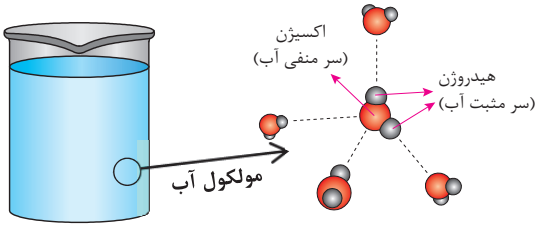
میزان سطح تماس ذرّات با توجه به شکل آنها تغییر می‌کند. هر چه شکل ذرّات به کروی بودن نزدیک‌تر باشد، سطح تماس بین ذرّات کاهش خواهد یافت و میزان آبی که در بین ذرّات کروی قرار دارند کاهش می‌یابد، بنابراین خاصیت پلاستیسیته کم می‌شود.

۴- نوع و درصد مایع افزوده شده

به تصویر زیر نگاه کنید:
انحراف جریان آب در مقابل شانه باردار شده به کدام ویژگی آب مربوط می‌شود؟

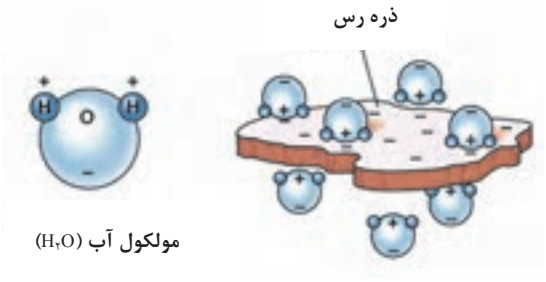


نوع و میزان مایعی که در بین ذرّات رس قرار می‌گیرد، از جمله عوامل مؤثر بر پلاستیسیته است. در مایعات قطبی، ذرّات تشکیل‌دهنده قطبی بوده و دارای سر مثبت و منفی هستند که با نیروی جاذبهٔ الکترواستاتیکی یکدیگر را جذب می‌کنند(شکل ۲۱).



شکل ۲۱- ذرّات تشکیل‌دهنده مولکول‌های آب

همانطور که در شکل ۲۲ می‌بینید، در سطح ذرّات رس بار منفی و در لبه‌ها بار مثبت وجود دارد که باعث جذب مولکول‌های مایعات قطبی می‌شود. اما در حلال‌های غیرقطبی، ذرّات تشکیل دهندهٔ آن غیرقطبی هستند و تنها نیروی جاذبهٔ ضعیف واندروالسی بین آنها وجود دارد. بنابراین هنگامی که مولکول‌های مایعات قطبی مانند آب و الکل در بین ذرّات رسی قرار می‌گیرند، باعث لغزش و سهولت حرکت صفحات رسی و ایجاد خاصیت پلاستیسیته می‌شوند؛ در حالی که مایعات غیرقطبی مانند کربن‌تتراکلرید[۱] یا بنزن[۲] خاصیت پلاستیسیته ایجاد نمی‌کنند.



شکل ۲۲- بارهای موجود در سطح ذرهٔ رس

۱-CCl_4
۲-C_6H_6

گفتگو کنید

دربارهٔ تأثیر میزان آب افزوده شده بر پلاستیسیته رس بحث و گفت‌وگو کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۹: اثر نوع مایع افزوده شده بر پلاستیسیته
مواد و ابزار: دو عدد ظرف، الک مش ۶۰ ، بال‌کلی، آب، مایع غیرقطبی نظیرتولوئن، ترازو، خشک‌کن.
شرح فعالیت:
۱- مقداری بال‌کلی بردارید و از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.
۲- دو ظرف جداگانه بردارید و هر یک را کدگذاری کنید.
۳- در ظرف شماره ۱، ۵۰۰ سی‌سی آب بریزید و داخل آن ۵۰۰ گرم بال‌کلی خشک شده بریزید و از آن دوغاب همگنی تهیه کنید.
۴- در ظرف شماره ۲، ۳۰۰ سی‌سی تولوئن بریزید و داخل آن ۵۰۰ گرم بال‌کلی خشک شده بریزید و از آن دوغاب همگنی تهیه کنید.
۵- هر یک از دوغاب‌ها را به طور جداگانه بر روی لوح گچی پهن کنید و به وسیله دست یا کاردک زیرورو کنید تا آب اضافی آن جذب شود و گل همگنی به دست آید.
۶- سپس با توجه به شرح آزمون ففرکورن، عدد پلاستیسیته هر یک از گل‌ها را به‌دست آورید و نتایج به‌دست آمده را مقایسه کنید.

نکته

در صورت استفاده از کاردک، مراقب باشید سطح لوح گچی کنده نشود.

نکته ایمنی

در هنگام استفاده از مایعات غیرقطبی از دستکش و ماسک استفاده کنید.
برخی از مایعات غیرقطبی مانند بنزن شدیداً سمّی هستند؛ هیچ‌گاه از این مایعات استفاده نکنید.
اغلب مایعات آلی مانند بنزن و تولوئن آتش‌گیر هستند.

۵- نحوهٔ آماده سازی گل
برای تهیه گل، روش‌های مختلفی وجود دارد که متداول‌ترین آنها شامل موارد زیر است:
در روش اول، دوغابی از آب و رس تهیه شده و بر روی لوح گچی پهن می‌شود. سپس با زیر و رو کردن گل، رطوبت آن جذب لوح گچی می‌شود و گل یکنواختی به‌دست می‌آید (شکل ۲۳).

شکل ۲۳

در روش دوم، گل پلاستیک با افزودن مقدار کمتری آب به خاک تهیه می‌شود. در این روش مقدار آب افزوده‌شده کمتر از دوغاب است و با زیر و رو کردن و ورز دادن می‌توان گل یکنواختی تهیه کرد (شکل ۲۴).

شکل ۲۴

گلی که از روش اول به دست می‌آید، از لحاظ توزیع رطوبت در قسمت‌های مختلف گل یکنواخت‌تر است؛ بنابراین پلاستیسیته بهتری خواهد داشت که برای شکل‌دهی مناسب‌تر است.

نکته

بالمیل کردن دوغاب باعث افزایش یکنواختی و پلاستیسیتهٔ گِل می‌شود.

۶- مقدار و نوع کانی‌رسی

بدیهی است که با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای رس‌ها، مقدار بیشتر کانی‌های رسی خاصیت پلاستیسیتهٔ بیشتری را به همراه خواهد داشت؛ در حالی که وجود مواد غیرپلاستیک مانند فلدسپات‌ها خاصیت پلاستیسیته آمیز را کاهش می‌دهند. در نمودار شکل ۲۵ رایج‌ترین کانی‌های رسی معرفی شده است.

شکل ۲۵- رایج‌ترین کانی‌های رسی

تحقیق کنید

خاک‌های حاوی کانی مونت موریونیت چه کاربردهایی در صنایع مختلف دارند؟ چرا؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱۰: تعیین جذب آب خاک‌های مختلف

مواد و ابزار: دو عدد ظرف، الک مش ۶۰ ، بال‌کلی، تالک، فلدسپات، آب، ترازو، خشک‌کن

شرح فعالیت:

۱- مقداری بال‌کلی، تالک و فلدسپات بردارید و هر یک را جداگانه از الک مش ۶۰ عبور دهید و در خشک کن بادمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.

۲- سپس سه ظرف جداگانه بردارید و هر یک را کدگذاری کنید.

۳- در ظرف شماره ۱، ۳۰۰ سی‌سی آب بریزید و با ۵۰۰ گرم بال‌کلی خشک شده مخلوط کنید و به‌خوبی هم بزنید.

۴- در ظرف شماره ۲، ۳۰۰ سی‌سی آب بریزید و با ۵۰۰ گرم تالک خشک شده مخلوط کنید و به‌خوبی هم بزنید.

۵- در ظرف شماره ۳، ۳۰۰ سی‌سی آب بریزید و با ۵۰۰ گرم فلدسپات خشک شده مخلوط کنید و به‌خوبی هم بزنید.

۶- میزان ته نشین شدن هر یک از دوغاب ها و ارتباط آنها را با جذب آب تعیین کنید.

نکته ایمنی

هنگام الک کردن خاک از ماسک استفاده کنید.

از سالم بودن هواکش‌ها در محیط کارگاه اطمینان حاصل کنید.

۷- مدت زمان خواباندن گل

خواباندن گل باعث افزایش پلاستیسیته می‌گردد که دلیل آن نفوذ بیشتر آب به تمامی قسمت‌های گل و همچنین تجزیهٔ مواد آلی به وسیلهٔ باکتری‌های موجود در رس است. باکتری‌ها با ایجاد کپک باعث لغزندگی ذرّات رس می‌شوند که بوی نامطبوعی نیز ایجاد می‌کند.

شکل ۲۶- خواباندن گل

آیا می دانید

اندازه‌گیری دقیق پلاستیسیته کار دشواری است، بنابراین با توجه به سایر ویژگی‌ها مانند رطوبت، استحکام و فشار وارد شده بر قطعه می‌توان پلاستیسیتهٔ گل را تعیین کرد. پلاستیسیته در روش‌های ریکه، آتربرگ و ففرکورن براساس رطوبت تعیین می‌شود. در این قسمت سایر روش‌های پلاستیسیته نظیر روش نفوذی و روش پلاستومتر آمده است. تعیین پلاستیسیته در روش نفوذی و پلاستومتر با اندازه‌گیری میزان فشار وارد شده بر آمیز تعیین می‌شود.

روش نفوذی

در این روش از یک ابزار برای نفوذ در گل استفاده می‌شود. این ابزار تحت نیروی مشخصی به درون نمونه مورد نظر وارد می‌شود. مقدار فشاری که برای نفوذ به درون نمونه به‌کار می‌رود، به عنوان معیار پلاستیسیته در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲۷).

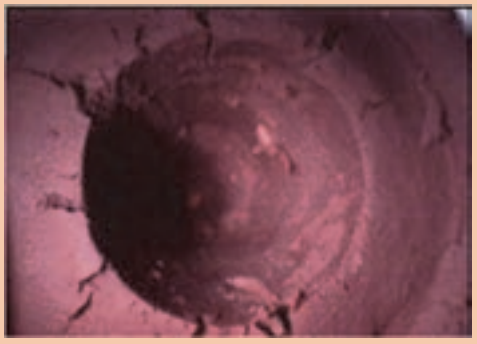
شکل ۲۷- روش نفوذی

دستگاه‌های نفوذسنج به طور گسترده در صنایع سرامیک کاربرد دارند. در شکل ۲۸ انواع دستگاه‌های نفوذسنج نشان داده شده است.

شکل ۲۸- انواع دستگاه‌های نفوذسنج

آیا می دانید

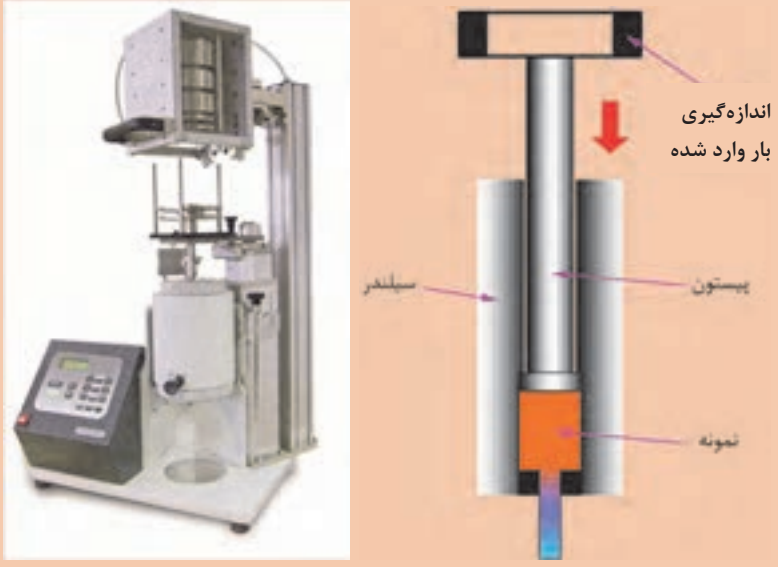
در شکل ۲۹ نمونه‌ای از روش نفوذی در حالتی که گل مقدار آب کم یا زیاد دارد، نشان داده شده است.



شکل ۲۹- محل اثر دستگاه نفوذسنج در گل با مقدار آب کم

روش پلاستومتر

در این روش با اعمال فشار، گل از یک نازل با شکل هندسی مشخص خارج شده و مقاومت آن در هنگام عبور از نازل توسط دستگاه اندازه‌گیری می‌شود که نشان‌دهنده مقدار پلاستیسیته است. در شکل ۳۰ اجزای دستگاه پلاستومتر نشان داده شده است. این دستگاه در صنایع مختلف از جمله سرامیک کاربرد دارد.



شکل ۳۰- دستگاه پلاستومتر و اجزای آن

تحقیق کنید

دربارهٔ سایر روش‌های پیشرفتهٔ تعیین پلاستیسیته تحقیق کنید و گزارشی به کلاس ارائه دهید.

ارزشیابی شایستگی تعیین پلاستیسیته

شرح کار:
۱- انجام آزمایش‌های اولیه پلاستیسیته
۲- تعیین پلاستیسیته به روش‌های ریکه، آتربرگ و ففرکورن
۳- تعیین عوامل مؤثر بر پلاستیسیته

استاندارد عملکرد:
انجام آزمون‌های تعیین پلاستیسیته مطابق با استاندارد ملی ایران

شاخص‌ها:
تعیین پلاستیسیته و توجه به عوامل تأثیرگذار در نتایج آن

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
شرایط: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه، دستگاه ففرکورن، خشک‌کن، ترازو
ابزار و تجهیزات: ظرف، کاردک، لوح گچی، دستگاه ففرکورن، جام کاسا گرانده و شیارزن، الک، خشک‌کن، ترازو کولیس، کاغذ شطرنجی، روغن
تجهیزات ایمنی: لباس کار مناسب، ماسک تنفسی، دستکش کار، تجهیزات اطفای حریق

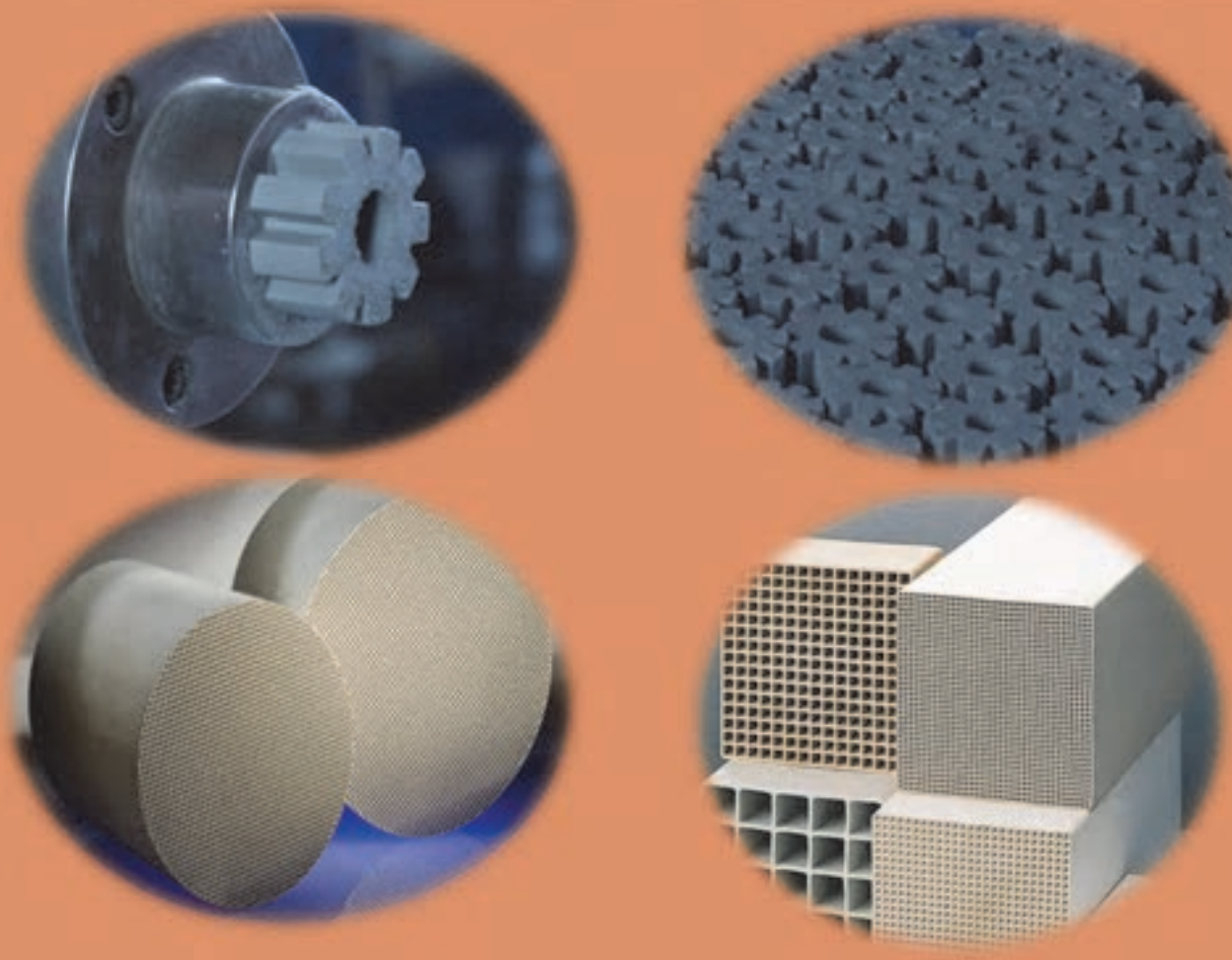
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده سازی گل پلاستیک	۱	
۲	تعیین پلاستیسیته	۲	
۳	ثبت گزارش	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۲

شکل‌دهی به روش اکستروژن



در بین روش‌های شکل‌دهی، تعداد کمی از آنها مانند شکل‌دهی به روش اکستروژن وجود دارد که در زمینه‌های مختلف کاربرد بسیار وسیعی پیدا کرده است. اولین کاربرد شکل‌دهی اکستروژن در تولید لوله‌های سرامیکی بوده است که امروزه در صنایع مختلف مانند صنایع پلاستیک، غذایی و شیمیایی و صنایع وابسته کاربرد پیدا کرده است. این روش یکی از روش‌های شکل‌دهی پلاستیک به شمار می‌رود که به دلایلی مانند سهولت کاربرد، هزینهٔ پایین و قابلیت بالا در زمینه تولید قطعات ظریف و پیچیده کاربرد زیادی دارد.

واحد یادگیری ۲
شایستگی شکل‌دهی به روش اکستروژن

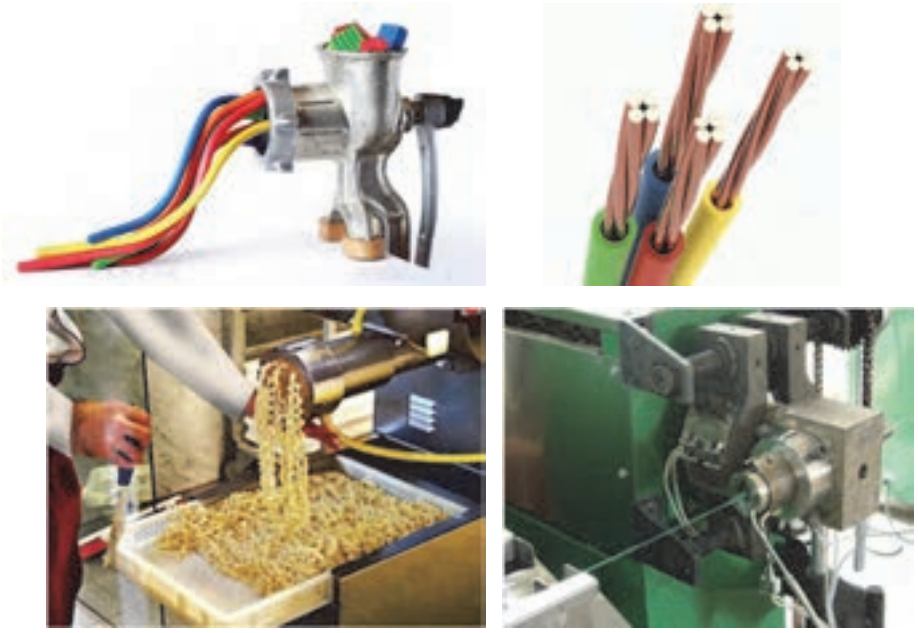
شایستگی شکل‌دهی به روش اکستروژن و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی، فراگیری دانش و مهارت شکل دادن گل پلاستیک با استفاده از روش اکستروژن است. آشنایی با مکانیزم روش اکستروژن و ایجاد توانایی برای انجام شکل‌دهی با آن در این واحد یادگیری در نظر گرفته شده است.

استاندارد عملکرد:

ساخت قطعه به روش اکستروژن براساس شکل و ابعاد مورد نظر.

آیا تاکنون به این موضوع فکر کرده‌اید که روکش سیم‌های مسی بلند و بدون درز یا ماکارونی چگونه شکل‌دهی می‌شوند؟



شکل ۱

به محصولات شکل ۲ نگاه کنید:
به نظر شما قطعات تولیدشده با این روش دارای چه خصوصیات مشترکی هستند؟

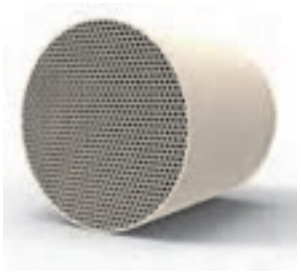
شکل ۲

قطعات ساخته‌شده در شکل۲ همگی حاصل یکی از روش‌های رایج شکل‌دهی پلاستیک به نام اکستروژن هستند. به محصولات تولیدشده به روش اکستروژن، محصولات اکسترود شده گفته می‌شود. با دقت کردن در شکل ۲ متوجه خواهید شد که محصولات اکسترود شده، دارای ویژگی‌های زیر هستند:

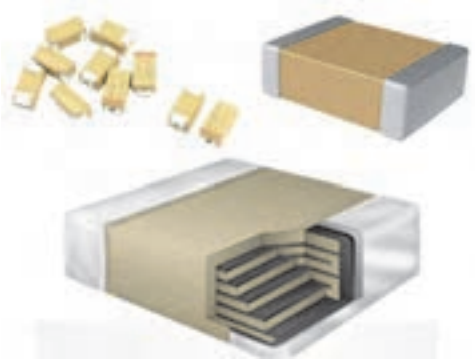
- سطح مقطع یکنواخت و ثابت در امتداد طولی
- بدون درز طولی
- امکان تولید قطعات با جدار نازک و ساختار ریز و مشبک

مثال‌های دیگری از محصولات اکسترود شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

کاشی، آجر دیرگداز، بلوک ساختمانی



پایهٔ کاتالیست لانه زنبوری، مبدل حرارتی



خازن سرامیکی

لوله و محافظ سرامیکی

شکل ۳- محصولات سرامیکی شکل‌دهی شده به روش اکستروژن

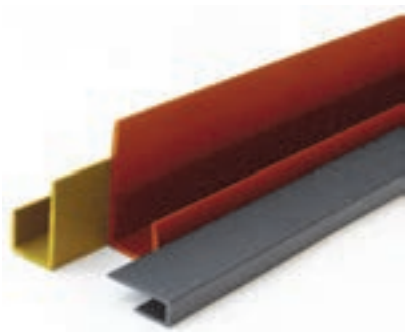
گفت‌وگو کنید

به فراورده‌های حاصل از روش اکستروژن در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ توجه کنید و در مورد سایر ویژگی‌های محصولات تولید شده با این روش گفت‌وگو کنید.

تقریباً تمام مواد سرامیکی، فلزی، پلیمری و حتی مواد غذایی اگر پلاستیسیتهٔ لازم برای فشرده شدن از روزنهٔ قالب را داشته باشند، می‌توانند به روش اکستروژن شکل‌دهی شوند.

محصولات اکسترودشدهٔ سرامیکی

محصولات اکسترود شدهٔ فلزی



محصولات اکسترود شدهٔ پلیمری

شکل ۴

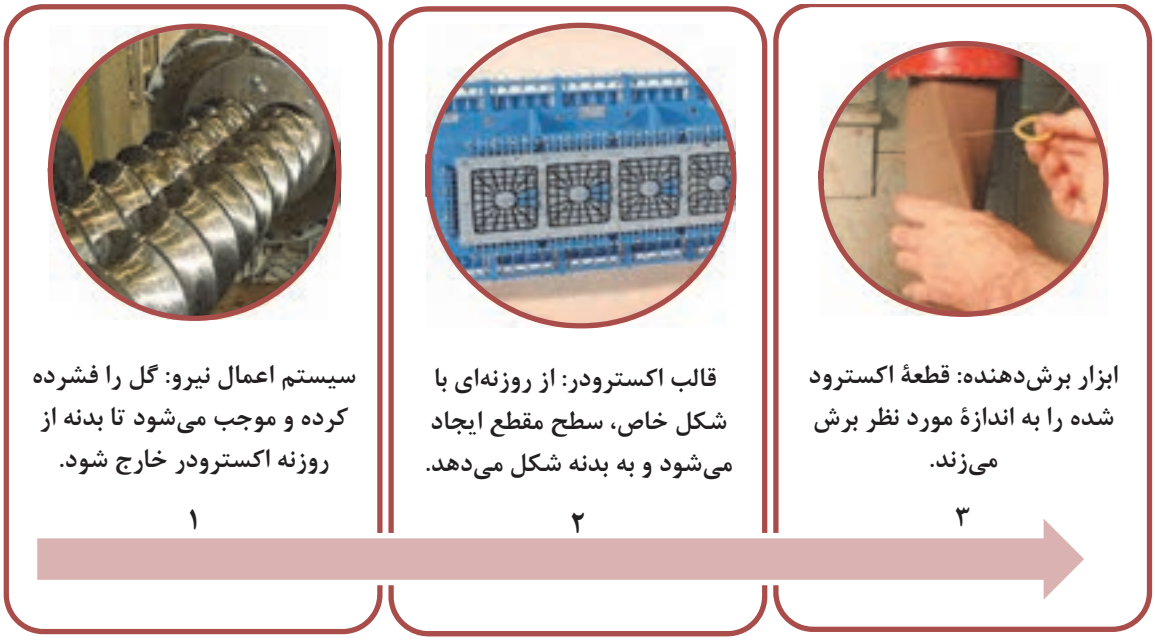
تحقیق کنید

فهرستی از محصولات سرامیکی و کاربرد آنها در صنایع مختلف را که با روش اکستروژن شکل‌دهی و تولید می‌شوند، تهیه کنید.

ابزار و تجهیزات اکسترودر

در شکل‌دهی به روش اکستروژن، با اعمال نیرو، گل پلاستیک از داخل محفظهٔ اکسترودر به طرف قالب با شکل مشخص هدایت شده و به وسیلهٔ تجهیزات برش، قطعه با اندازه مشخص برش داده می‌شود.

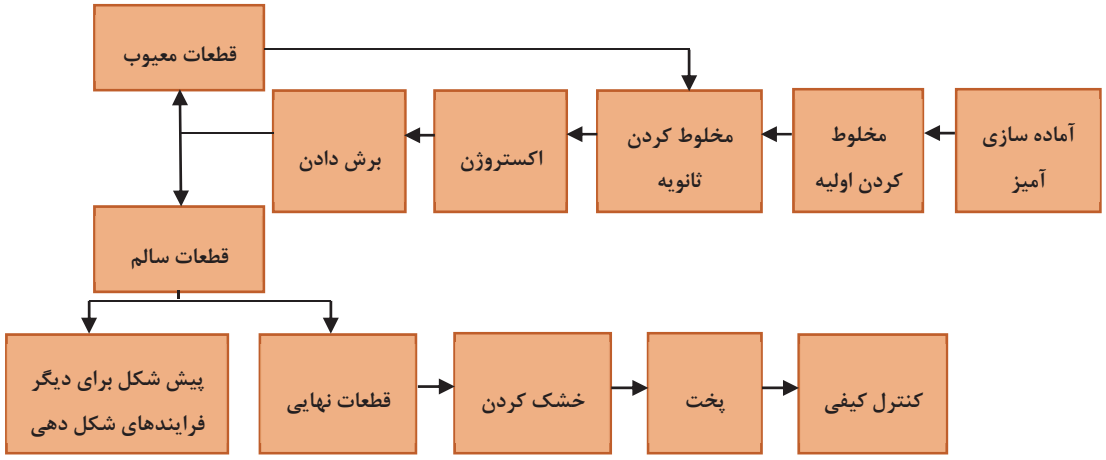
با توجه به موارد گفته شده، دستگاه‌های مورد استفاده در روش اکستروژن از سه بخش اصلی تشکیل شده‌اند:



شکل ۵- اجزای ماشین اکسترودر

روند ساخت قطعات سرامیکی به روش اکستروژن:

در نمودار زیر مراحل ساخت یک قطعه سرامیکی به روش اکستروژن را مشاهده می‌کنید.



نمودار ۱

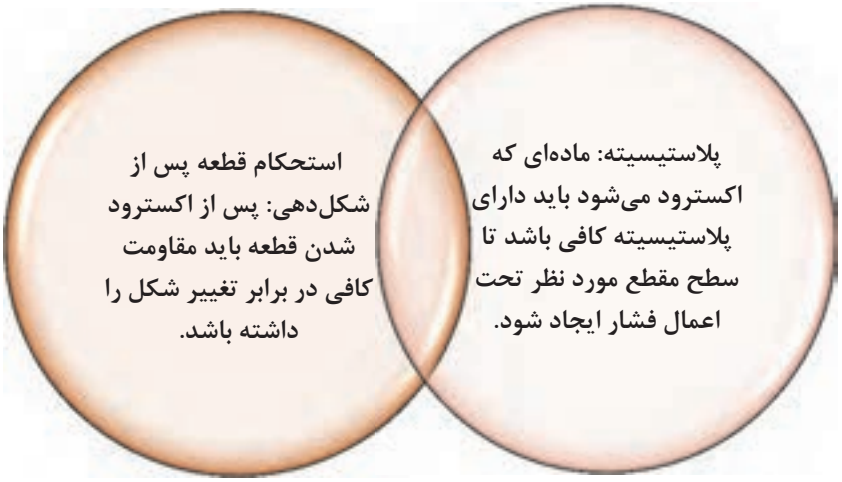
۱-آماده‌سازی آمیز

موادی که قابلیت شکل‌دهی پلاستیک با روش اکستروژن را دارند، چه ویژگی‌هایی دارند؟

برای انجام شکل‌دهی به روش اکستروژن، لازم است در ابتدا گل ورودی به دستگاه آماده شود. بنابراین، باید گل کاملاً همگن شده و رطوبت در تمام قسمت‌های آن یکسان باشد و همچنین هواگیری شود. برای این منظور عملیات مخلوط‌سازی انجام می‌شود که ممکن است در یک یا دو مرحله (مخلوط‌سازی اولیه و ثانویه) انجام شود.

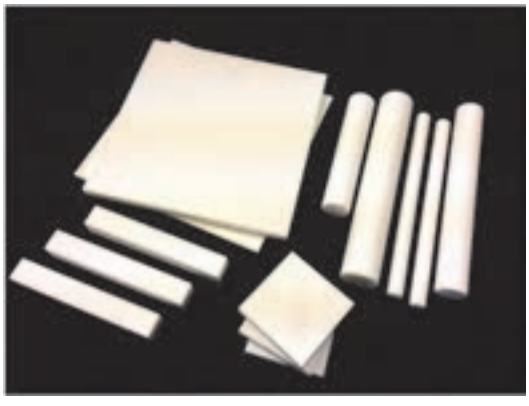
موادی که دارای پلاستیسیته مناسب باشند، قابلیت شکل‌دهی با روش اکستروژن را دارند. رطوبت بدنه‌های اکسترود شده با توجه به مواد اولیه می‌تواند از ۱۴ تا ۲۲ درصد باشد.

مواد اولیه برای شکل‌دهی اکستروژن لازم است دارای دو ویژگی زیر باشند:



ممکن است این سؤال در ذهن ایجاد شود که آیا مواد فاقد پلاستیسیته نیز قابلیت شکل‌دهی به روش اکستروژن را دارند؟

موادی که پلاستیسیته کافی برای شکل‌دهی ندارند را می‌توان با افزودن مواد پلاستی‌سایزر و چسب، قابلیت اکسترود شدن را در آنها ایجاد کرد. به طور مثال، در لوله‌های محافظ ترموکوپل از جنس آلومینیوم نیترید، که پلاستیسیتهٔ کافی برای شکل‌دهی با اکستروژن را ندارند، با افزودن پلاستی‌سایزر و چسب، پلاستیسیتهٔ لازم در آنها ایجاد شده و اکسترود می‌شوند (شکل ۶).



شکل ۶- قطعات سرامیکی اکسترود شده

آیا می دانید

اکسترود کردن قطعاتی از جنس آلومینا به عنوان یک مادهٔ سرامیکی، با اندازه ذرات ۵ میکرومتر را در نظر بگیرید. پودر اولیه آلومینا در آب یا حلال‌های دیگر دارای پلاستیسیتهٔ لازم نبوده و بنابراین عمل اکسترود کردن به راحتی انجام نمی‌گیرد. با افزودن ذرات ریز بوهمیت ([AlOOH] Boehmite) به ذرات آلومینای پودر اولیه، میزان پلاستیسیته افزایش می‌یابد. در واقع ذرات ریز بوهمیت بین ذرات آلومینای پودر اولیه قرار می‌گیرند و باعث افزایش پلاستیسیتهٔ آنها می‌شوند.
چند نمونه از چسب‌های مورد استفاده در آماده‌سازی آمیز در جدول زیر آمده است.

جدول ۱- چند نمونه از چسب‌های مصرفی در اکستروژن سرامیک‌ها

نام فارسی	نام لاتین
صمغ عربی	Gum Arabic
پلی وینیل الکل	Poly vinyl alcohol (PVA)
نشاسته	Starch
پلی‌اتیلن‌ایمین	Poly ethylene imine
متیل سلولز	Methylcellulose
کربوکسی متیل سلولز	Carboxymethyl cellulose (CMC)
اکریلات	Acrylates
دکسترین	Dextrin
آلژینات	Alginates
صمغ‌های طبیعی	Natural gums

مخلوط‌سازی اولیهٔ گل مورد نیاز برای اکستروژن به دو روش انجام می‌شود:
الف- استفاده از مخلوط کن: در این روش خاک همراه با مقدار مشخصی آب در داخل مخلوط‌کن با یکدیگر مخلوط می‌شوند تا گل مورد نظر به دست آید.
ب- استفاده از فیلتر پرس: در این روش خاک با مقدار زیادی آب به صورت دوغاب درمی‌آید. به این دوغاب می‌توان مواد افزودنی لازم اضافه کرد و با هم‌زدن به صورت همگن درآورد. سپس دوغاب حاصل‌شده به دستگاه فیلترپرس هدایت می‌شود تا آب آن گرفته شود. توده‌های گل خارج شده از بین صفحات فیلتر پرس، کیک نام دارند. این گل برای ادامه مراحل شکل‌دهی آماده است.

گفت‌وگو کنید

به نظر شما گل تهیه شده با کدام روش کاملاً همگن است؟

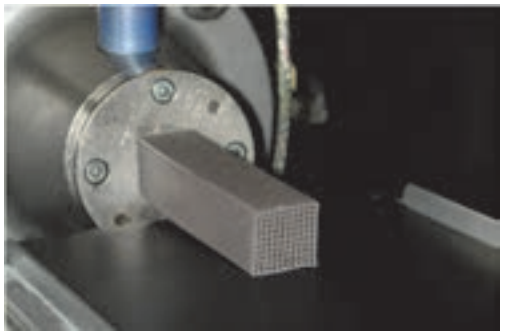
نکته

مخلوط سازی ثانویه در دستگاه اکسترودر حلزونی و پاگمیل انجام می شود.

۲- ساخت قطعات به روش اکستروژن

در شکل‌دهی اکستروژن، مواد اولیه با اعمال فشار وارد یک محفظهٔ استوانه‌ای می‌شوند و با عبور از روزنه در انتهای دهانهٔ اکسترودر (قالب)، پس از شکل‌گیری، از دستگاه خارج می‌شوند. (مانند خروج خمیر دندان از تیوپ آن (شکل ۷). در شکل ۸ قطعهٔ اکسترود شدهٔ لانه زنبوری هنگام خروج از اکسترودر نشان داده شده است.

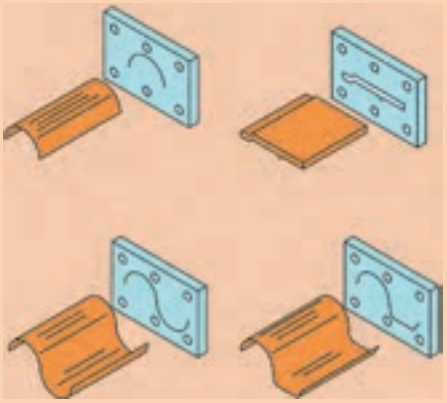
شکل۷- خروج خمیردندان از تیوپ

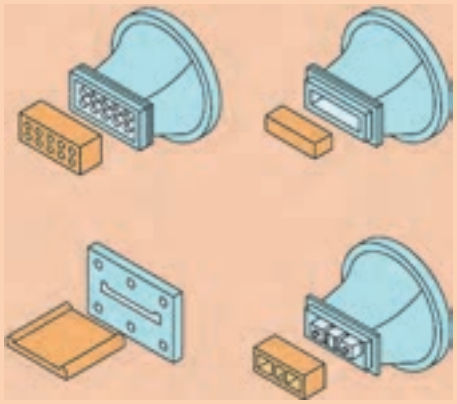


شکل۸ -خروج محصولات از دهانهٔ اکسترودر (قالب)

پرسش

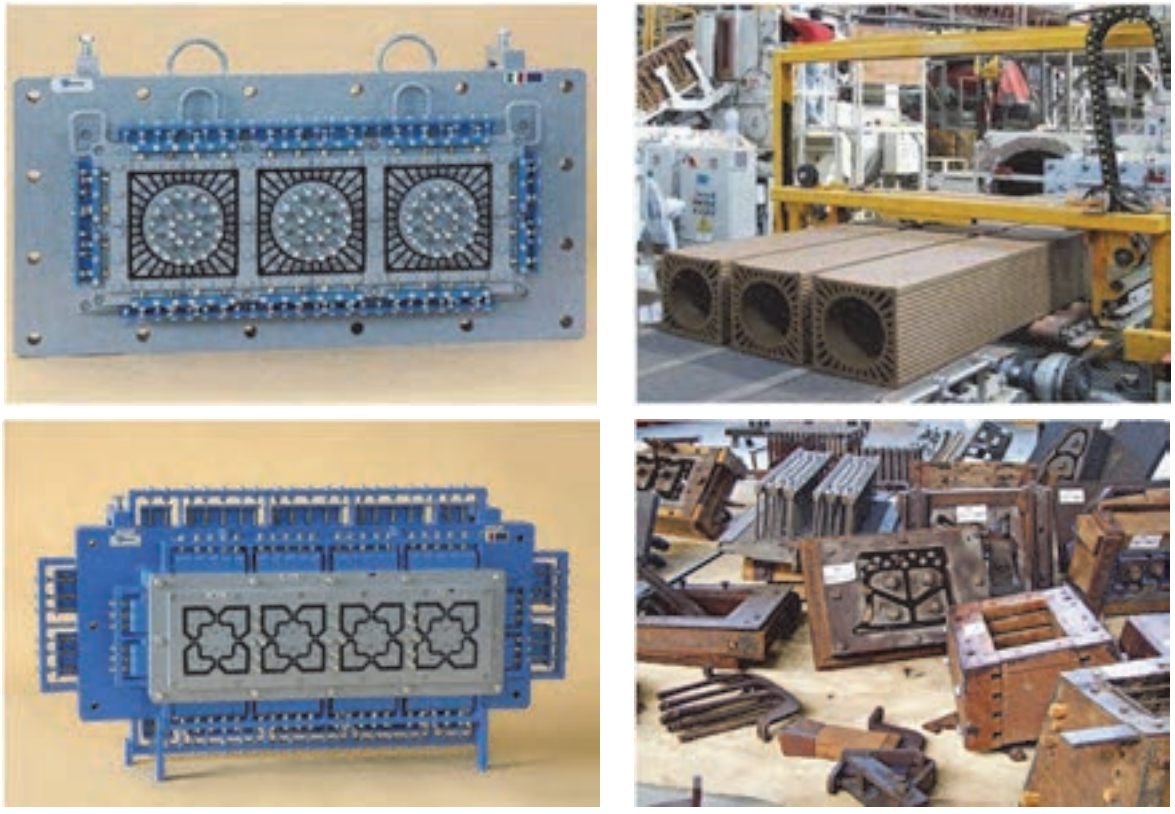
به تصاویر شکل ۹ نگاه کنید، به نظر شما شکل سطح مقطع قطعات اکسترود شده چگونه تعیین می‌شود؟





شکل ۹

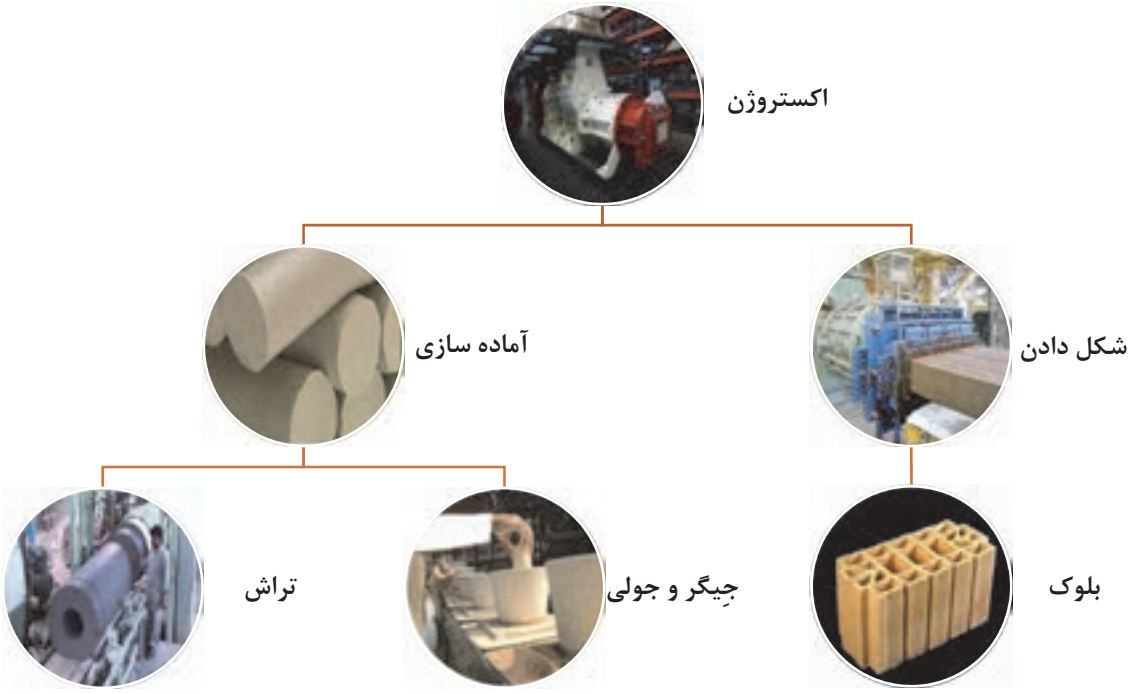
در قسمت خروجی محفظهٔ اکسترودر قالب تعبیه می‌شود. قالب‌ها در ابعاد و شکل‌های متنوعی با توجه به شکل سطح مقطع قطعات مورد نیاز برای اکسترود شدن طراحی و ساخته می‌شوند. ساخت قالب به طراحی و محاسبات پیچیده‌ای نیاز دارد زیرا ابعاد دقیق و طراحی مناسب قالب، نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت قطعهٔ اکسترود شده دارد. همچنین استحکام و طول عمر قالب و جنس آن از عوامل مهم در طراحی قالب است. چند نمونه از قالب‌های اکسترودر در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰ – قالب اکسترودر

شکل‌دهی به روش اکستروژن

لازم است بدانیم گاهی بدنهٔ اکسترود شده، محصول نهایی نیست و اکستروژن به عنوان روشی برای آماده‌سازی و پیش‌شکل‌دهی قطعات به کار می‌رود که در نهایت شکل اصلی و نهایی با روش‌های دیگر مانند تراش و جیگر و جولی انجام می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱

نکته

در فرایند اکستروژن، تراکم به طور مستقیم به میزان رطوبت گل سرامیکی بستگی دارد و نسبت آب به خاک، تعیین کنندهٔ نهایی تراکم محصول است؛ یعنی با کاهش میزان آب نسبت به مواد سرامیکی در گل ورودی به اکسترودر، تراکم محصول اکسترود شده بیشتر می‌شود. بنابراین برای گل اکسترود شدهٔ پیش شکل و آماده شده برای روش‌های شکل‌دهی دیگر مانند تراش و جِیگر و جولی، لازم است مقدار رطوبت موجود در گل کم باشد تا تراکم گل آماده شده بالا باشد.

فعالیت کارگاهی

با استفاده از سرنگ معمولی یک نمونه‌سازی خلاقانه انجام دهید و ویژگی‌های حاصل از محصول به دست آمده را با نتایج سایر گروه‌ها مقایسه کنید.

نکته ایمنی

از سرنگ بدون سوزن استفاده کنید.

پرسش

در مورد ویژگی‌های گل مورد استفاده در این فعالیت با یکدیگر گفت‌وگو کنید.

شکل ۱۲

نکته

خامه‌ریزی برای تزیین کیک نیز شباهت‌هایی با روش اکستروژن دارد.

شکل ۱۳- قالب خامه‌ریزی کیک

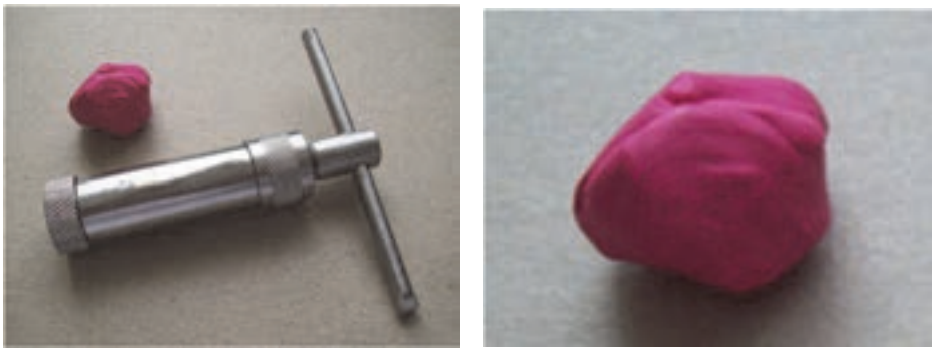
مراحل شکل‌دهی به روش اکستروژن

در شکل ۱۴ مراحل اکستروژن به صورت ساده و با ابزار دستی نشان داده شده است:

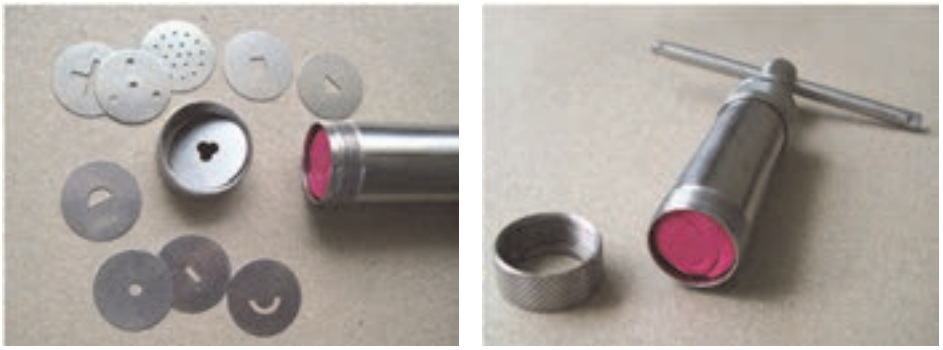
(۱) آماده‌سازی مواد اولیه با ترکیب و رطوبت مناسب، به طوری که ویژگی‌ها و شرایط لازم برای اکسترود شدن را داشته باشد.

(۲) انتخاب شکل دهانهٔ اکسترودر و پر کردن مخزن دستگاه با آمیز

(۳) اعمال نیرو به منظور بیرون راندن آمیز اکسترود شده از قالب و برش محصولات



مرحلهٔ ۱



مرحلهٔ ۲

مرحلهٔ ۳

شکل ۱۴- مراحل اکستروژن به صورت دستی

در شکل ۱۴، مراحل شکل‌دهی اکستروژن به صورت دستی مشاهده شد. این مراحل به صورت صنعتی در شکل۱۵ نشان داده شده است:

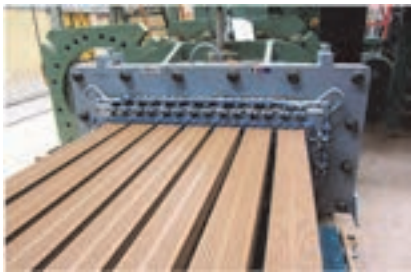
(۱) آماده‌سازی گل با ترکیب مورد نظر، پر کردن مخزن دستگاه با گل

(۲) اعمال نیرو به منظور هدایت کردن و بیرون راندن مواد اکسترود شده از قالب با شکل مشخص

(۳) برش دادن محصولات

(۴) آماده‌شدن قطعات شکل داده شده

مرحلهٔ ۱



مرحلهٔ ۲

مرحلهٔ ۴ مرحلهٔ ۳

شکل ۱۵ – مراحل اکستروژن به صورت صنعتی

۳- برش دادن قطعات اکسترود شده

قطعات اکسترود شده باید در ابعاد طولی مورد نظر بریده شوند. برش دادن قطعات خروجی از اکسترودر لازم است با دقت بالایی انجام شود تا از ایجاد عیوب در لبهٔ قطعات جلوگیری شود. برش طولی قطعات می‌تواند به صورت دستی یا اتوماتیک انجام شود. معمولاً عمل بریدن با استفاده از سیم‌های نازک انجام می‌شود. در شکل۱۶ نمونه‌هایی از نحوهٔ برش دادن قطعات و ابزارهای برش نشان داده شده است.

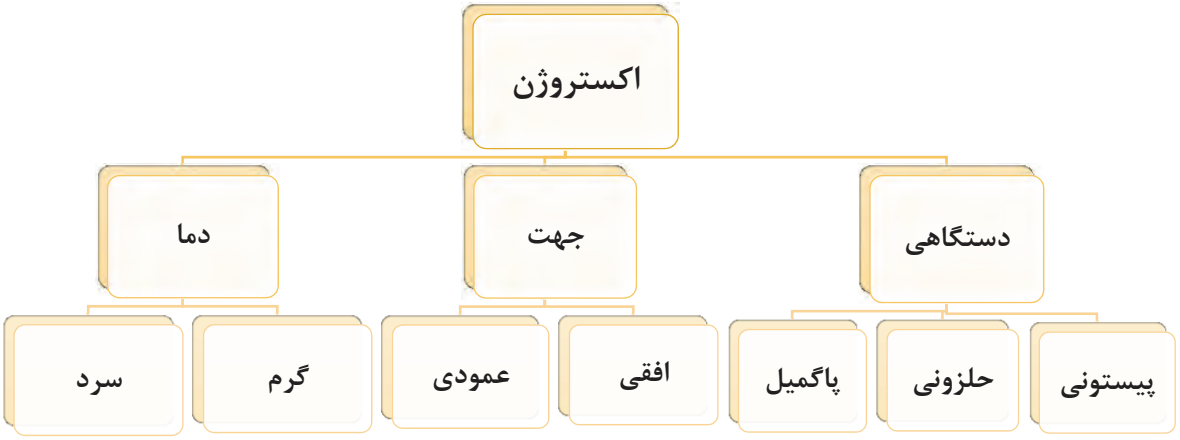
الف

ب

شکل ۱۶- ابزار برش قطعات اکسترود شده (الف) به صورت دستی (ب)به صورت اتوماتیک

دسته‌بندی روش‌های اکستروژن

به طور کلی روش شکل‌دهی اکستروژن تقسیم‌بندی متفاوتی دارد که روش‌های متداول آن در نمودار ۲ نشان داده شده است:



نمودار ۲ – روش‌های متداول شکل‌دهی به روش اکستروژن

۱- دسته‌بندی بر اساس تجهیزات دستگاهی

روش شکل‌دهی اکستروژن در تقسیم‌بندی از لحاظ تجهیزات و دستگاهی شامل سه نوع پیستونی و حلزونی و پاگمیل است.

اکسترودر پیستونی

اکسترودر پیستونی ساده‌ترین نوع سیستم اکسترودر به شمار می‌رود که شامل محفظه (سیلندر)، پیستون و قالب است. در این سیستم، لازم است عملیات مخلوط‌سازی گل برای شکل‌دهی قبل از ریختن آن به داخل دستگاه به صورت کامل انجام گیرد.

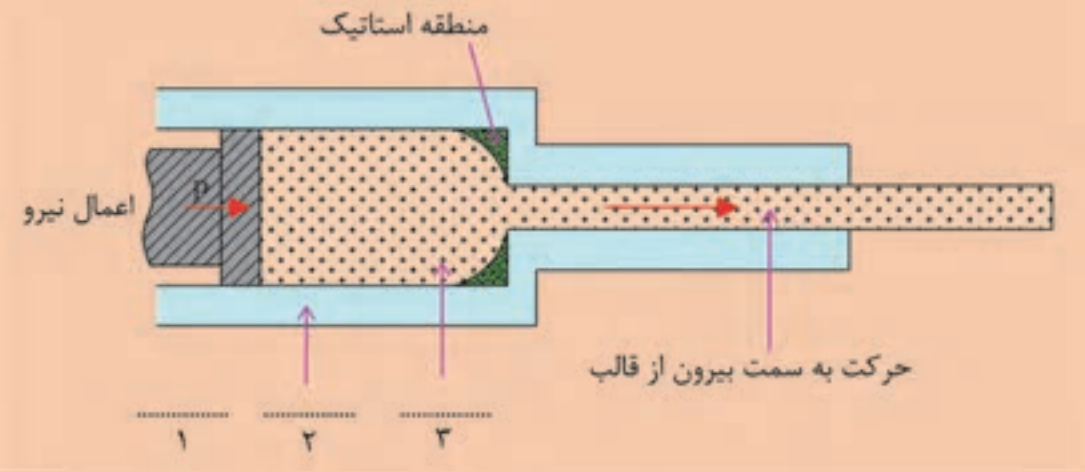
گل جهت شکل‌دهی به محفظهٔ اکسترودر ریخته می‌شود و سپس با اعمال فشار، پیستون در داخل محفظهٔ استوانه‌ای به سمت دهانهٔ قالب هدایت شده و با عبور از دهانه، به صورت شکل‌داده شده خارج می‌گردد.

اکسترودر پیستونی دسته‌بندی‌های مختلفی دارد که از جمله این تقسیم‌بندی‌ها می‌تواند موارد زیر باشد:

- بر اساس میزان نیروی اعمالی
- نوع سیستم اعمال فشار برای جلو راندن پیستون داخل محفظه (هیدرولیکی یا مکانیکی)
- جهت اکسترودر (عمودی یا افقی و مستقیم یا غیرمستقیم)
- نحوهٔ شارژ آمیز (دستی یا اتوماتیک)
- دمای سیستم (گرم یا سرد)

فعالیت کلاسی:

به شکل۱۷ دقت کنید و با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد اکسترودر پیستونی، ضمن پرکردن جاهای خالی در شکل، توصیفی از عملکرد اجزای معرفی شده در شکل را در این دستگاه ارائه دهید.



شکل ۱۷- اکسترودر پیستونی

نکته

منطقهٔ استاتیک: در این قسمت از قالب، گل فشرده شده و امکان خروج از انتهای اکسترودر وجود ندارد (شکل ۱۷).

پرسش

برای رفع مشکل منطقهٔ استاتیک چه راه حلی پیشنهاد می‌کنید؟

اکسترودر حلزونی

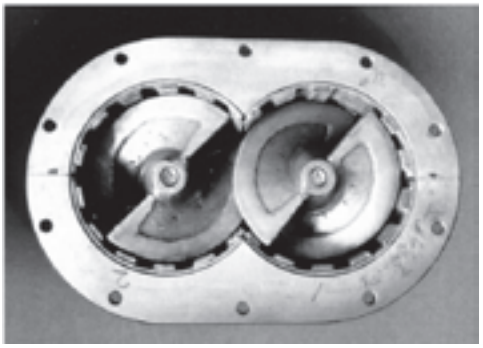
در اکسترودر حلزونی که ساختار آن در مقایسه با اکسترودر پیستونی کمی پیچیده‌تر است، از یک یا چند حلزونی به جای پیستون استفاده می‌شود که این حلزونی‌ها با چرخش، گل ورودی را به سمت جلو و قالب هدایت می‌کنند. در این سیستم علاوه بر شکل‌دهی، تا حدودی عملیات مخلوط‌سازی ثانویه نیز توسط حلزونی‌ها انجام می‌شود. در شکل ۱۸ نمایی از حلزونی نشان داده شده است.

اکسترودر حلزونی مانند اکسترودر پیستونی دارای دسته‌بندی‌های مختلفی است که از جمله این تقسیم‌بندی‌ها می‌تواند موارد زیر باشد:

- بر اساس میزان نیروی اعمال‌شده
- نوع سیستم اعمال فشار برای جلو راندن پیستون داخل محفظه (هیدرولیکی یا مکانیکی)
- جهت اکسترودر (عمودی یا افقی)

- نحوهٔ شارژ آمیز (دستی یا اتوماتیک)
- دمای سیستم (گرم یا سرد)

الف - تک حلزونی



ب- دو حلزونی

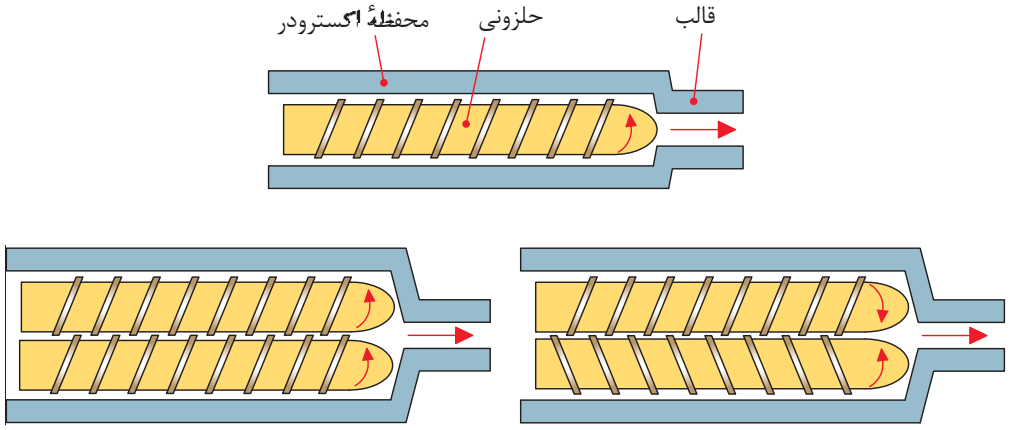
شکل ۱۸

آیا می دانید

در صنایع سرامیک از اکسترودر با بیش از یک حلزونی استفاده می‌شود که تیغه‌های یک حلزون از بین تیغه‌های دیگری عبور می‌کند. حلزونی‌ها می‌توانند جهت چرخش متفاوتی نسبت به هم داشته باشند.

پرسش

به شکل۱۹ دقت کنید و با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت اکسترودر حلزونی، توصیفی از عملکرد اجزای معرفی شده در شکل را در این دستگاه ارائه دهید.



شکل ۱۹

فکر کنید

چه تفاوتی بین دو سیستم اکسترودر پیستونی و حلزونی وجود دارد؟
این دو روش اکستروژن چه معایب و مزایایی نسبت به همدیگر دارند؟

در جدول ۳ مقایسه‌ای بین دو روش اکستروژن پیستونی و حلزونی آمده است. با توجه به این دو روش جدول را کامل کنید.

جدول ۳- مقایسهٔ اکسترودر پیستونی و حلزونی

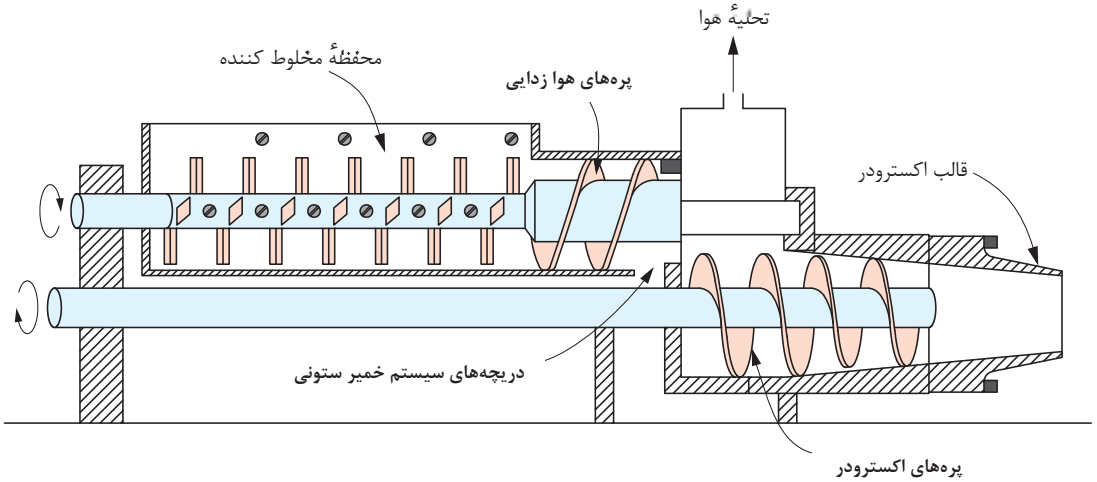
پیستونی	حلزونی
در اکسترودر پیستونی سرعت تولید قطعات در مقایسه با نوع حلزونی کمتر است؛ زیرا به صورت غیرپیوسته کار می‌کند.	اکسترودر حلزونی به صورت پیوسته امکان انجام هم‌زمان مخلوط‌سازی و تولید قطعه را دارد؛ بنابراین سرعت تولید بالاست.
در استفاده از دستگاه پیستونی، تماس گل ورودی به اکسترودر، با محفظه و سایر اجزای دستگاه نسبت به نوع حلزونی کمتر است؛ بنابراین امکان آلودگی نیز کمتر می‌شود.	.....
در روش پیستونی لازم است عملیات مخلوط‌سازی قبل از هدایت گل به داخل محفظهٔ اکسترودر انجام شود.	در اکسترودر حلزونی،..... تا حدودی به عملیات مخلوط‌سازی و همگن کردن گل کمک می‌کند.
.....	.....

پرسش

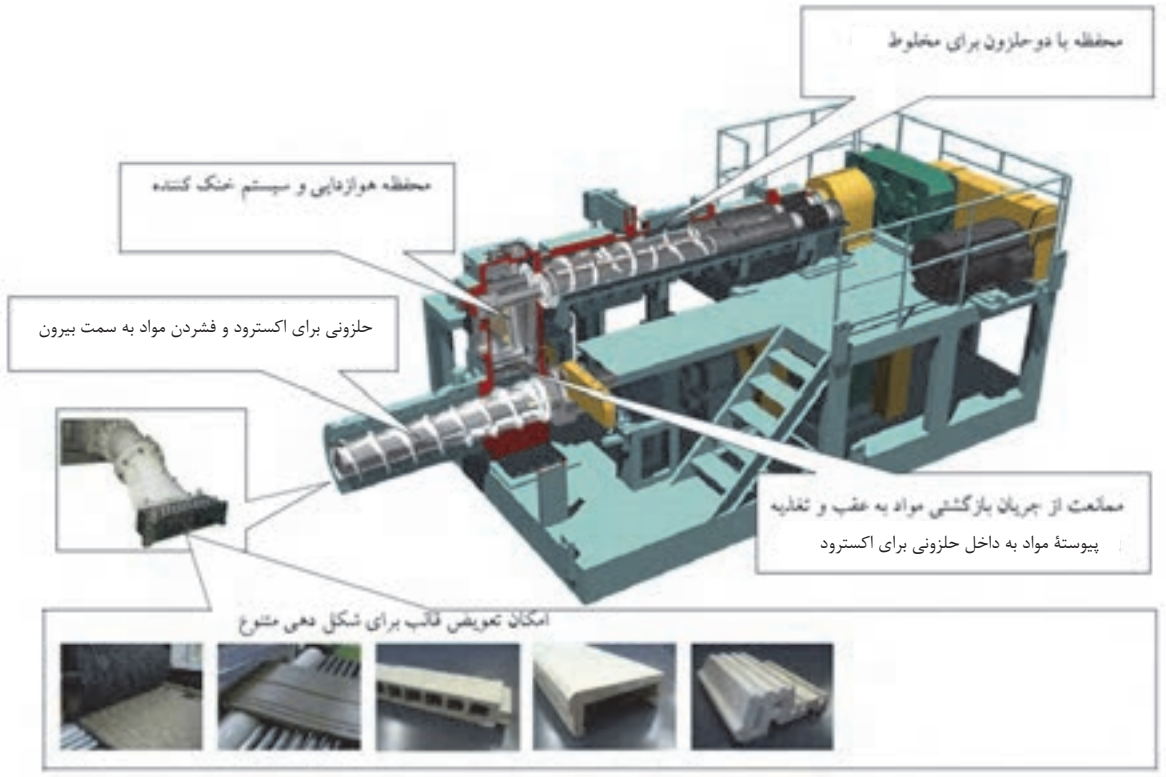
آیا ویژگی‌های قطعات حاصل از شکل‌دهی با اکسترودر پیستونی با قطعات حاصل از شکل‌دهی با اکسترودر حلزونی تفاوت دارند؟

پاگمیل

به منظور شکل‌دهی با روش اکستروژن به صورت پیوسته و عملیات هم‌زمان مخلوط‌سازی گل، یک دستگاه پاگمیل یا مخلوط‌کن دیگری که دارای سیستم هوازدایی نیز است به عنوان جزئی از سیستم اکستروژن در دستگاه طراحی می‌شود. پاگمیل دارای ردیف‌هایی از پره‌ها بر روی میله است که با چرخش آن، گل بین پره‌ها فشرده شده و با اعمال فشار به مخلوط شدن آن کمک می‌کند. به این ترتیب، با حرکت گل بین پره‌ها و فشرده شدن آن، تا حدودی هوای موجود در داخل گل خارج شده و مخلوط همگن می‌شود. همچنین با افزودن سیستم تخلیه هوا (ایجاد خلأ) به دستگاه اکسترودر، امکان هوازدایی مخلوط گل فراهم می‌شود. پس از این مرحله، گل آماده عملیات شکل‌دهی با روش اکستروژن می‌گردد. توضیحات داده شده را می‌توانید در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ مشاهده کنید.



شکل ۲۰- پاگمیل



شکل ۲۱- اجزای اکسترودر حلزونی همراه با پاگمیل

گل اکستروژن با ترکیب مشخص و پلاستیسیتهٔ مناسب به محفظهٔ ورودی مواد ریخته می‌شود و با یک حلزونی به سمت تیغهٔ چرخنده هدایت می‌شود. این تیغه ضمن گسیختن و تکه‌تکه کردن گل ورودی از همدیگر، هواگیری نیز انجام می‌دهد. به منظور جلوگیری از ورود هوا به داخل گل، لازم است شارژ و ریختن گل با سرعت انجام گیرد. بعد از هوازدایی و گسیختن (تکه‌تکه شدن) گل از هم توسط تیغه‌های چرخشی، گل به سمت حلزونی بعدی هدایت می‌شود تا کار مخلوط‌سازی و فشردن آن انجام شود وگل به صورت توده‌ای یکنواخت درآید. سپس گل به سمت قالب با شکل و اندازه مشخص فشرده و شکل‌دهی می‌شود.

نکته

۱- اندازهٔ قالب باید با سرعت ریختن گل به داخل دستگاه متناسب باشد، به ویژه در دستگاه‌های اکسترودر با ظرفیت کم باید دقت کافی شود تا گل بیش از حد ظرفیت به دستگاه ریخته نشود.
۲- در بعضی از دستگاه‌های اکسترودر، هنگام اکسترود کردن، در قسمت‌هایی از دستگاه، به گل حرارت اعمال می‌شود.
۳- در فرایند اکستروژن مخلوط کردن گل از مراحل حساس و مهم به شمار می‌رود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: آشنایی با اجزای دستگاه اکسترودر

- در کارگاه قسمت‌های مختلف انواع دستگاه اکسترودر شامل نیروی محرکه مورد نیاز برای راه اندازی دستگاه، نحوهٔ اعمال نیرو به گل جهت خارج کردن مواد آن از دستگاه و قالب دهانهٔ اکسترودر را بررسی کنید.
- به صورت عملی بر روی تعویض قالب اکسترودر کار کنید.

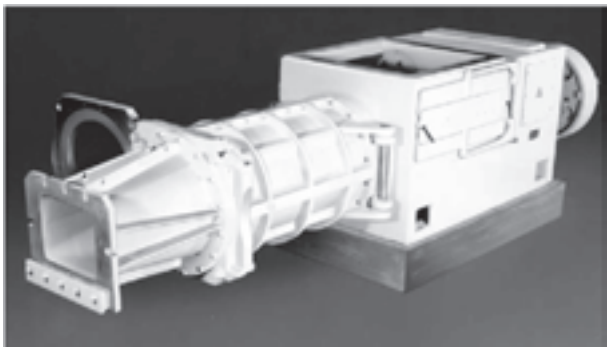
نکته ایمنی

۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
۲- هنگام بررسی اجزای دستگاه دقت کنید که برق دستگاه از تابلو مرکزی کارگاه قطع شده باشد.
۳- از نزدیک کردن دستان خود به داخل محفظه ورودی گل خودداری کنید.
۴- مراقب باشید تا هنگام تعویض قالب اکسترودر به خود آسیب نزنید.
۵- مواظب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال‌گردن و آستین لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.

۲- دسته‌بندی اکسترودرها بر اساس جهت شکل‌دهی

اکسترودرها می‌توانند به صورت افقی و عمودی به‌کار گرفته شوند. نوع افقی در تولید انواع سرامیک‌ها کاربرد بیشتری دارد، ولی در ساخت برخی قطعات لوله‌ای شکل با جداره نازک و قطر بزرگ نوع عمودی ترجیح داده می‌شود. زیرا در اکسترودر عمودی، خارج کردن محصول اکسترود شده بدون تغییر شکل سطح مقطع آن امکان‌پذیر است. در شکل ۲۲ نمونه‌ای از اکسترودر افقی و عمودی و خروج محصولات از اکسترودر افقی و عمودی نشان داده شده است.

الف - اکسترودر عمودی



ب- اکسترودر افقی

ج - محصولاتی از اکسترودر عمودی

د- محصولاتی از اکسترودر افقی

شکل ۲۲

گفت‌وگو کنید

در مورد عملکرد دستگاه اکسترودر برای شکل‌دهی استوانه توخالی گفت‌وگو کنید.

شکل ۲۳

نمایش فیلم

مراحل شکل‌دهی قطعات با اکسترودر

فعالیت کارگاهی

کار عملی۲: قابلیت اکسترود شدن آمیز بال‌کلی و آلومینا

مواد و ابزار :

۱۰ کیلوگرم آلومینا، ۱۰ کیلوگرم بال‌کلی، آب، دو عدد ظرف مناسب برای تهیه گل

شرح فعالیت:

مقدار ۱۰ کیلوگرم خاک بال‌کلی و به همان مقدار پودر آلومینا تهیه و با افزودن ۱۸٪ آب به هرکدام، گل آماده کنید. پس از آماده سازی گل، هر کدام را جداگانه داخل محفظه اکسترودر ریخته و عملیات شکل‌دهی اکستروژن را انجام دهید.

نکته ایمنی

۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.

۲- از نزدیک کردن دستان خود به داخل محفظه ورودی مواد اولیه خودداری کنید.

۳- حتماً از وسایل جانبی برای ریختن آمیز داخل دستگاه استفاده شود.

۴- مواظب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال گردن و آستین لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.

پرسش

گل‌های حاصل از بال‌کلی و آلومینا را از لحاظ قابلیت اکسترود شدن با هم مقایسه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عمل۳: قابلیت اکسترود شدن آمیز با درصدهای رطوبت مختلف
مواد و ابزار : ۲۰ کیلوگرم کائولن، آب، دو عدد ظرف مناسب برای تهیهٔ دوغاب
شرح فعالیت:
مقدار ۲۰ کیلوگرم خاک کائولن را تهیه و با نیمی از آن در یک ظرف و با نیمی دیگر در ظرف دیگری جداگانه دوغاب آماده کرده و پس از آب‌گیری، از هرکدام گل با پلاستیسیته‌های متفاوت تهیه کنید. پس از آماده‌سازی گل از هر آمیز، هر کدام را جداگانه داخل محفظه اکسترودر ریخته و عملیات شکل‌دهی اکستروژن را انجام دهید. مقدار پلاستیسیته و رطوبت دو گل حاصل را با یکی از روش‌های آموزش داده شده در پودمان اول تعیین کنید.

نکته ایمنی

۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
۲- از نزدیک کردن دستان خود به داخل محفظهٔ ورودی مواد اولیه خودداری کنید.
۳- حتماً از وسایل جانبی برای ریختن آمیز داخل دستگاه استفاده شود.
۴- مواظب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال‌گردن و آستین لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.

پرسش

گل با درصدهای متفاوت رطوبت را از لحاظ قابلیت اکسترود شدن با هم مقایسه کنید.

تحقیق کنید

تقسیم بندی های دیگری از روش شکل‌دهی اکستروژن را بیان کنید.

عیوب اکستروژن

به شکل‌های زیر نگاه کنید، در این شکل‌ها نمایی از محصولات معیوب فرایند اکستروژن نشان داده شده‌اند که در هر یک از آنها یک سری از عیوب قابل مشاهده است.

مقطع عرضی مقطع طولی

الف

ب ج

د

شکل ۲۴- برخی از عیوب قطعات اکسترود شده: الف) لایه‌لایه شدن در مقطع عرضی و طولی و دیوارهٔ قطعه، ب) ترک Yشکل، ج)ترک S شکل، د) پارگی لبه‌ها

در هر روش شکل‌دهی امکان به وجود آمدن یک سری از عیوب در قطعه است که با بررسی دقیق می‌توان عامل آنها را شناسایی کرد و راه‌حل‌هایی برای رفع آن ارائه داد. در تولید قطعه با استفاده از اکسترودر، گروهی از عیوب ممکن است به وجود آید که در جدول ۴ آورده شده است.

به نظر شما چه عواملی باعث ایجاد این عیوب هستند؟
در مورد عامل ایجاد هر یک از این عیوب فکر کنید و راه‌حل‌هایی برای هر کدام ارائه دهید:

جدول ۴- عیوب در قطعات اکسترود شده و عامل ایجاد آنها و راه‌حل رفع عیوب

نوع عیب	عامل ایجاد عیب	راه‌حل برای رفع عیب
لایه‌لایه شدن	عملکرد اکسترودرهای حلزونی به گونه‌ای است که باعث ایجاد حالت لایه‌لایه‌ای در گل می‌شود و زمانی که مخلوط آمیز قبل از خروج از انتهای قالب به صورت کامل به هم تنیده نشده ایجاد می‌شود.	با انتخاب مواد رسی با پلاستیسیتهٔ مناسب و نیز طراحی درست قالب می‌توان عیب لایه‌دار شدن گل را از بین برد.
پارگی لبه‌های سطحی: ترک‌های سطحی که در هنگام خروج گل از اکسترودر ایجاد می‌شود.	۱- اصطکاک تماسی بین دیوارهٔ اکسترودر و آمیز از علل ایجاد این عیب است.	۱- با استفاده از مواد روان‌ساز اصطکاک گل را در قالب کم کرد.
	۲- از مواد با دانه‌های درشت استفاده شده باشد.	۲- .....
	۳- درصد رطوبت گل کم شده باشد.	۳- درصد رطوبت گل را افزایش داد.
	۴- خاک رسی ما پلاستیسیتهٔ کافی نداشته باشد.	۴- با افزودن مواد کمکی چسبندگی گل را بهبود بخشید.
ترک S شکل	این عیوب در درون قطعات توپر مشاهده می‌شوند. با توجه به کاهش تدریجی قطر حلزونی به سمت قالب، در ناحیهٔ انتهای حلزونی، گل‌های فشردهٔ اطراف باید جای خالی آن را پر کنند، بنابراین گل فشرده شده برای پر کردن جای خالی حلزون از اطراف به مرکز هدایت می‌شود و در ناحیهٔ میانی به هم وصل می‌شوند. در صورتی که گل آماده‌شده دارای خواص نامطلوب باشد، عدم پیوستگی گل در مرکز قطعه وجود دارد که بعد از خشک شدن به صورت S ظاهر می‌شود.	۱- انتخاب گل با پلاستیسیتهٔ مناسب ۲- .....

نوع عیب	عامل ایجاد عیب	راه‌حل برای رفع عیب
ترک Y شکل (ستاره‌ای)	وجود ذرات غیرپلاستیک درشت (شاموت) که انقباض کمتری در هنگام خشک شدن دارند، در داخل گل پلاستیک با ایجاد تنش در اطراف آنها باعث ترک می‌شوند.	.....
اعوجاج قطعات اکسترود شده	.....	.....
تخلخل در قطعات اکسترود شده	.....	.....

به طور کلی کار کردن با اکسترودر با وجود مشکلات زیاد، به دلیل سرعت تولید بالا، از لحاظ اقتصادی دارای ارزش سرمایه‌گذاری است. در این روش شکل‌دهی با دقت و تجربهٔ بالا و ارائهٔ راه حل‌های مناسب می‌توان بر مشکلات آن غلبه کرد.

ارزشیابی شایستگی شکل‌دهی به روش اکستروژن

شرح کار:
آماده سازی ابزار آلات و تجهیزات شکل دادن به روش اکستروژن
شکل دادن به روش اکستروژن
کنترل نهایی

استاندارد عملکرد:
ساخت قطعه به روش اکستروژن براساس شکل و ابعاد مورد نظر

شاخص ها:
کار با دستگاه اکسترودر و تولید قطعه بدون عیب با اکسترودر

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه، انواع دستگاه اکسترودر

ابزار و تجهیزات: اکسترودر عمودی، اکسترودر حلزونی، پاگمیل، کولیس، خط‌کش، شابلون، مواد اولیه، پمپ خلاء، قالب دستگاه اکسترودر، خشک‌کن

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	آماده سازی تجهیزات و آمیز مناسب برای اکسترودر	۱	
۲	شکل دهی به روش اکستروژن	۲	
۳	توانایی تشخیص عیوب قطعات اکسترود شده و انتخاب روش‌های رفع آنها	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی- مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی		۲	
میانگین نمرات			*

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

پودمان ۳

شکل‌دهی به روش تراش

یکی از روش‌های متداول برای شکل‌دهی قطعات سرامیکی (به ویژه قطعات سرامیکی مورد استفاده در صنایع برق و نساجی)، تراش است. در این روش شمش گل بر روی دستگاه تراش نصب می‌شود و هم‌زمان با چرخش، به وسیلهٔ شابلون تیز شکل نهایی قطعه تراشیده می‌شود.

واحد یادگیری ۳
شایستگی شکل‌دهی به روش تراش

شایستگی شکل‌دهی به روش تراش و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت شکل دادن گل پلاستیک با استفاده از روش تراش است. یکی از مصارف عمدهٔ قطعات شکل‌گرفته به روش تراش، در صنایع برق است. آشنایی با دستگاه تراش و مکانیزم شکل‌دهی با این روش در این واحد یادگیری درنظر گرفته شده است.

استاندارد عملکرد:

شکل‌دهی قطعه سرامیکی به روش تراش مطابق با فرم و ابعاد مورد نظر

شکل‌دهی به روش تراش

یکی از روش‌های متداول برای شکل‌دهی قطعات فلزی و چوبی، تراش یا خراطی است. در این روش تکه‌ای چوب یا فلز بر روی دستگاه تراش نصب می‌شود و هم‌زمان با چرخش، به وسیله تیغه‌ای تیز شکل نهایی قطعه تراشیده می‌شود.

در شکل‌های ۱- الف و ب، قطعات فلزی و چوبی شکل داده شده با این روش را مشاهده می‌کنید.

الف

ب

شکل ۱- الف)تراشکاری فلز ب) خراطی چوب

پرسش

قطعات شکل داده شده به روش تراش از جنس چوب و فلز از نظر ظاهری چه شباهت‌هایی دارند؟

شکل ۲- قطعات چوبی شکل داده شده با تراش

شکل ۳- قطعات فلزی شکل داده شده با تراش

روش تراشکاری برای شکل‌دهی قطعات سرامیکی نیز استفاده می‌شود. امروزه قطعات سرامیکی شکل‌دهی شده به روش تراش با بازار مصرف قابل توجهی در صنایعی مانند نساجی، مخابرات و برق روبه‌رو است. بیشترین کاربرد این روش در ساخت مقرّه‌های صنعت برق و نساجی است. در شکل زیر قطعات سرامیکی مورد استفاده در صنعت برق و نساجی را مشاهده می‌کنید که به روش تراش شکل داده شده‌اند.

الف

ب

شکل۴- قطعات شکل‌دهی شده به روش تراش در صنایع: الف- برق ب- نساجی

نمایش فیلم

شکل‌دهی قطعات به روش تراش

شکل‌دهی به روش تراش

در شکل‌دهی به روش تراش، ابتدا گلی که پیش شکل داده شده و سپس به صورت نیمه‌خشک درآمده، در دستگاه تراش به منظور شکل‌دهی نهایی قرار می‌گیرد.

ستونِ گلِ پیش‌شکل داده شده پس از تنظیم رطوبت به صورت افقی و یا عمودی در دستگاه تراش قرار گرفته، چرخانده می‌شود و با تیغه یا شابلون فلزی تراشیده می‌شود. در این روش با انتخاب طرح و ابزار مناسب قطعات مختلفی را می‌توان شکل داد.

شکل ۵- شکل‌دهی قطعات سرامیکی به روش تراش

پرسش

به تصاویر زیر نگاه کنید و به سؤالات پاسخ دهید:
- آیا شکل دهی این قطعات با روش تراش امکان‌پذیر است؟
- آیا شکل‌دهی با روش تراش برای تولید قطعات متقارن مناسب است؟

شکل ۶

مراحل تراش گل

در شکل ۷ مراحل شکل‌دهی گل پلاستیک به روش تراش نشان داده شده است. قبل از شکل‌دهی بررسی ویژگی شمش گل و ابزارهای تراش اهمیت دارد.

شکل۷- مراحل شکل‌دهی گل پلاستیک به روش تراش

آماده‌سازی شمش گل

روش تراش از روش‌های شکل‌دهی گل پلاستیک است و رطوبت گل در این روش نیز اهمیت دارد و باید قبل از شکل‌دهی، میزان رطوبت گل بررسی شود.

آماده‌سازی شمش گل در پنج مرحله انجام می‌شود که به ترتیب عبارت‌اند از:

۱- اکسترود کردن ۲- تولید شمش ۳- خواباندن شمش ۴- بررسی درصد رطوبت ۵- بررسی قابلیت تراش شمش

فکر کنید

آیا گل هواگیری نشده برای تراشکاری مناسب است؟

قبل از شکل‌دهی باید مقدار رطوبت و پلاستیسیته شمش گل براساس شکل نهایی محصول تعیین شود و پس از تنظیم رطوبت آن، طرح بر روی شمش اجرا شود. در جدول ۱ درصد رطوبت شمش برای محصولات مختلف بیان شده است.

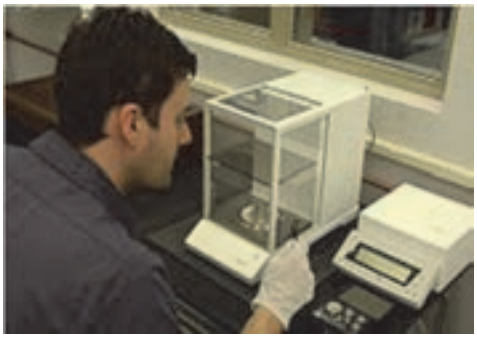
جدول ۱- درصد رطوبت شمش گل در قطعات مختلف سرامیکی

نوع بدنه	درصد رطوبت شمش گل
مقرّه‌های کوچک دوشیاره و سه شیاره	۱۷-۱۹
مقرّه‌های بزرگ بوشینگ	۱۲-۱۵
گلوله‌های سرامیکی	۱۲-۱۵
پایه‌های تزیینی سرامیکی	۱۰-۱۲

پرسش

به نظر شما اگر درصد رطوبت شمش مناسب نباشد، در فرایند شکل‌دهی چه مشکلی پیش می‌آید؟

از دیگر عوامل مؤثر در شکل‌دهی به روش تراش، درصد رطوبت شمش گلی اکسترود شده است.



شکل ۸- بررسی میزان رطوبت شمش

برای شکل‌دهی به روش تراش، ابتدا شمش گل به وسیلهٔ اکسترود تهیه می‌شود. شمش گلی که از اکسترود به دست می‌آید، هواگیری شده و مقدار رطوبت آن مشخص است. رطوبت شمش مورد استفاده برای تراش، معمولاً بین ۱۲ تا ۱۸ درصد است. میزان رطوبت به روش تجربی با فشار دادن دست روی سطح تازه تراش‌خورده شمش بررسی می‌شود و یا میزان رطوبت لایهٔ تراش داده شده با نمونه‌برداری و بررسی وزن تر و خشک آن تعیین می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: بررسی شکل‌پذیری شمش گل با درصدهای مختلف رطوبت

مواد و ابزار: تالک خام، تالک کلسینه شده، منیزیت، بال‌کلی، کوارتز، بنتونیت، خشک‌کن، ترازوی آزمایشگاهی، دستگاه تراش، سیم برش، کورنومتر

شرح فعالیت:

شمش گلی را با ترکیب داده شده در جدول زیر آماده کنید.

ماده اولیه	مقدار (٪)
تالک خام	۴۰
تالک کلسینه شده	۱۵
منیزیت	۱۵
بال‌کلی	۲۰
کوارتز	۵
بنتونیت	۵

- شمش تهیه شده را به مدت یک هفته در محلی مرطوب و دور از نور خورشید بخوابانید.
- شمش گل را به چهار قسمت تقسیم کنید.
- وزن هر یک از قسمت‌ها را با ترازوی آزمایشگاهی به دست آورید.
- هریک از قسمت‌های بریده‌شده را داخل خشک‌کن ۶۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.
- هر یک از قسمت‌ها را پس از گذشت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه از خشک‌کن خارج کنید.
- در هر مرحله، وزن شمش‌های خارج شده از خشک‌کن را به دست آورید.
- درصد رطوبت شمش را در هر مرحله پس از خروج از خشک‌کن محاسبه کنید.
- با قرار دادن شمش در دستگاه تراش، شکل‌پذیری آن را بررسی کنید.
- شکل‌پذیری شمش‌ها با درصدهای مختلف رطوبت را با هم مقایسه کنید.

نکته ایمنی

۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.

۲- مواظب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه هنگام کارکردن باشید.

۳- احتیاط کنید که دستهایتان بین حد فاصل شابلون و مقرهٔ در حال تراش قرار نگیرد.

یکنواختی رطوبت سطح نسبت به عمق در شمش‌های بزرگ بیشتر مورد توجه قرار دارد. مثلاً در مقرّه‌های کوچک چون اندازه شمش کوچک (با طول ۱۰ تا ۱۵سانتی‌متر و قطر۸ تا۱۰ سانتی‌متر) است، بنابراین تفاوت درصد رطوبت سطح نسبت به عمق شمش هنگام آماده‌سازی شمش گل زیاد نیست و با خواباندن گل به مدت زمان کافی (پس از یک تا دو روز) رطوبت سطح و عمق شمش یکنواخت خواهد بود.

نکته

خواباندن گل باید در شرایط مناسب یعنی در محیط مرطوب و دور از نور خورشید باشد.

شکل ۹- شمش‌هایی با ابعاد مختلف

فعالیت کلاسی

به شکل‌های زیر نگاه کنید. برای شکل‌دهی قطعات ۱، ۲ و ۳ شمش مناسب را پیدا کنید.

ردیف	قطعه	شمش
۱		
۲		
۳		

درصد رطوبت شمش‌های بزرگ باید به زیر۱۵ درصد کاهش یابد تا شمش در حین تراش پایداری کافی داشته باشد. برای این کار تراش مرحله به مرحله انجام می‌شود تا شمش به شکل مورد نظر درآید. لایه‌برداری با ابزارهای تراش تا حدی انجام می‌شود که شمش پایداری مناسب داشته باشد. پایداری شمش باید متناسب با سرعت چرخش دستگاه باشد.

نکته

برای تراش قطعات بزرگ، ما بین مراحل تراش دستگاه به مدت چند ساعت متوقف می‌شود تا رطوبت لایه‌ها کاهش یابد.

آیا می‌دانید

برای اینکه تمامی ضخامت شمش دارای رطوبت یکنواختی باشد، از روش عبور جریان برق مستقیم(AC) استفاده می‌شود.

شکل ۱۰- یک شمش گل دارای رطوبت و دانه‌های سرامیکی تحت جریان برق

فکر کنید

شمش گل مناسب برای تولید قطعات زیر را از لحاظ اندازه و درصد رطوبت با هم مقایسه کنید.

شکل ۱۱

۲ - ابزارهای تراش گل و تجهیزات آن

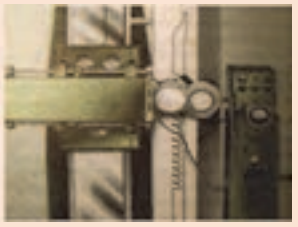
برای تراش با توجه به شمش و طرح مورد نظر، ابزارهای مناسب انتخاب می‌شود. برخی از ابزارها مانند شابلون تراش گل را انجام می‌دهند که بر روی دستگاه تراش نصب می‌شود. همچنین برخی از ابزارها نیز برای پرداخت و جدا کردن قطعه از دستگاه به کار می‌رود.

عوامل مؤثر بر انتخاب ابزار تراش:

- درصد رطوبت
- سرعت چرخش شمش گل در دستگاه
- پیچیدگی طرح

مهم‌ترین ابزار و تجهیزات تراش گل در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲

نوع ابزار	تعریف	تصویر
شابلون	ابزاری از جنس فولاد زنگ نزن که در برابر سایش مقاومت بالایی دارد و مطابق طرح مورد نظر به کار می‌رود.	
تیغه یا سیم برش	ابزاری از جنس فولاد زنگ نزن یا از جنس پلاستیک (پلیمر) محکم که دارای دسته فلزی است و برای برش قطعه پس از ساخت به کار می‌رود.	
ماشین تراش	دستگاهی است که کلیه ابزارهای تراش مطابق دستورالعمل بر روی آن نصب شده و به صورت دستی یا اتوماتیک طرح مورد نظر بر روی گل اجرا می‌شود.	

جنس شابلون‌های مورد استفاده از موادی با سختی بالا انتخاب می‌شود و باید در برابر زنگ‌زدگی مقاوم باشند.

گفتگو کنید

آیا تیز بودن لبهٔ شابلون‌ها بر کیفیت سطحی محصولات تولیدی تأثیری دارد؟
شابلون مناسب برای تراشکاری علاوه بر فلز، از چه جنس‌های دیگری می‌تواند باشد؟

طراحی و پیاده‌سازی شابلون

در روش تراش وظیفهٔ اصلی شکل‌دهی را شابلون انجام می‌دهد. برای شکل‌دهی مقرّه‌ها به روش تراش، ابتدا طرح مورد نظر با توجه به مشخصاتی مانند ابعاد و جزئیات شکل تهیه شده و سپس براساس شکل و پیچیدگی طرح، شابلون مناسب انتخاب می‌شود. ضخامت نهایی محصول، فقط براساس نصب صحیح شابلون تنظیم

می‌شود. در شکل ۱۲ طراحی و پیاده سازی شابلون آمده است. همان طور که در شماره ۱۳ می بینید پس از انتخاب، شابلون بر روی دستگاه تراش نصب و تنظیم می‌شود و تیزی و کیفیت تراش شابلون کنترل می‌شود.

نکته

با توجه به نوع و طرح قطعهٔ تولیدی پس از کنترل دقیق شابلون و اطمینان از سالم بودن آن و با به‌کارگیری ابزارهای اندازه‌گیری، شابلون مناسب انتخاب می‌شود.

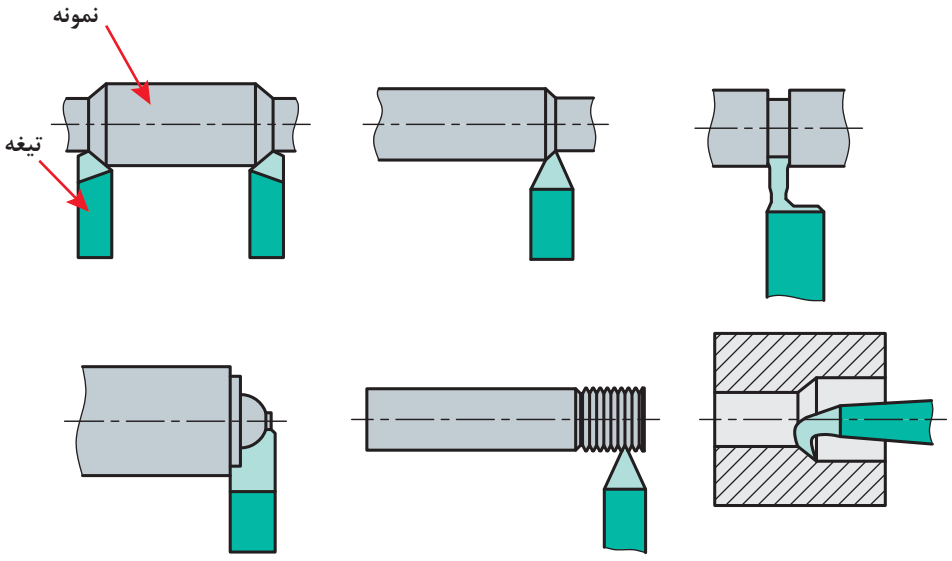
الف- انتخاب شابلون

ب- نصب و تنظیم شابلون

ج- کنترل تیزی و کیفیت تراش شابلون

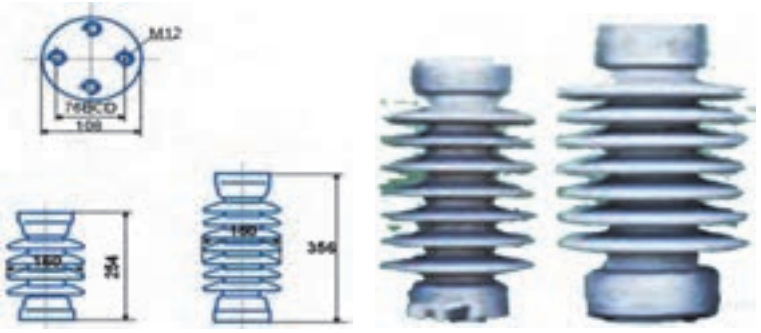
شکل ۱۲- مراحل پیاده‌سازی شابلون

نمونه طرح‌هایی که از شابلون‌های مختلف ساخته می‌شود، در شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- شابلون های مختلف

همان‌طور که اشاره شد، برای انتخاب طرح مناسب شابلون با توجه به نقشه شکل نهایی ساخته می‌شود. نمونه‌ای از طرح مقرّه‌ها در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۴

فعالیت کلاسی

مشخص کنید که هر یک از اعداد روی طرح شکل ۱۴ نشان‌دهندهٔ چه چیزی است؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی۲: نصب و تنظیم شابلون
مواد و ابزار: شابلون، دستگاه تراش
شرح فعالیت:
۱. طرح مورد نظر را انتخاب کنید.
۲. شابلون مناسب را انتخاب کنید.
۳. پس از کنترل دقیق و اطمینان از تیزی شابلون، آن را در دستگاه تراش قرار داده و نصب کنید.
به سؤال زیر پاسخ دهید.
آیا می‌توان شابلون را بعد از قرار دادن نمونه روی دستگاه نصب کرد؟

نکتهٔ ایمنی

۱ـ با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
۲ـ مواظب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.
۳ـ از جابه‌جایی و دست‌کاری بی‌مورد شابلون خودداری کنید.
۴ـ احتیاط کنید که دست‌هایتان بین حد فاصل شابلون و مقرّهٔ در حال تراش قرار نگیرد.

۳- استقرار شافت و شمش برای تراش

هدف از انتخاب شافت در روش تراش شمش گل، تولید قطعات کاملاً مدور است که با کمک دستگاه تراش ساخته می‌شوند.

در شکل ۱۵می‌توانید شافت و محل استقرار شمش گل را مشاهده کنید.

شکل ۱۵- استقرار شافت و شمش گل

نکته

در حال حاضر امکان شکل‌دهی قطعات غیرمدوّر (غیرمتقارن) به روش تراش فراهم شده است.

انتخاب شافت مناسب برای شکل‌دهی به عواملی مانند ابعاد قطعه (قطر، ارتفاع و ضخامت) و نوع قطعه تولیدی بستگی دارد.

فعالیت کلاسی:

در تصویر زیر شافت و شابلون را مشخص کنید.

شکل ۱۶- دستگاه تراش

نکته

قرارگیری صحیح شمش بر روی جایگاه بسیار مهم است، زیرا در هنگام تراش با اعمال فشار زیاد شابلون در اثر چرخش حول محور نیاز است که شمش در محل قرارگیری خود مستحکم و پایدار باشد.

آیا می دانید

مهم‌ترین کاربرد روش شکل‌دهی تراش در تولید مقرّه‌ها است. مَقَرّه پایهٔ عایقی است که در تمامی مناطقی که عبور جریان برق یا تجمع بار الکتریکی وجود داشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد، به عنوان مثال در هدایت‌گر نخ در صنایع نساجی و یا در دکل‌های برق که در محل اتصال کابل‌های برق با دکل به‌کار می‌روند. در خطوط انتقال نیرو به منظور محافظت از کابل‌های انتقال‌دهنده جریان برق از مقرّه‌ها استفاده می شود. شکل و جنس مقرّه‌ها بر حسب ولتاژ و شرایط محیطی نظیر آلودگی و رطوبت متفاوت است.

شکل ۱۷- مقرّه‌های سرامیکی

مقرّه‌های چینی از چهار ماده مختلف تشکیل شده است که در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳

ماده اولیه	مقدار مواد در ترکیب (٪)
کائولن	۲۰-۳۰
بال‌کلی	۲۰-۳۰
سیلیس	۲۰-۳۰
فلدسپات	۲۵-۳۰

مهم‌ترین ویژگی‌های مقرّه‌ها شامل موارد زیر است:

۱- عایق‌بندی بین سیم‌ها، زمین و سیم‌ها

۲- توانایی تحمل وزن سیم‌های خطوط انتقال جریان برق حتی زمانی که ضخامت یخ و برف تشکیل شده روی سیم‌ها زیاد باشد.

۳- مقاومت کافی در شرایط متفاوت محیطی مانند بارندگی، برف، گرما، باد

۴- مقاومت الکتریکی بالا

۵- مقاومت شیمیایی بالا

شکل‌دهی

در این قسمت مراحل شکل‌دهی تراش برای شکل‌دهی مقرّه دوشیاره و شکل‌دهی مقرّهٔ بوشینگ و گلولهٔ آسیاب بیان شده است.

نکته

قبل از شکل‌دهی، دستگاه از نظر سرعت چرخش و سالم بودن تسمه و نیروی محرکه کنترل شود.

شکل‌دهی مقرّه دوشیاره به روش تراش

در این قسمت مراحل شکل‌دهی مقرّهٔ دوشیاره به روش تراش توضیح داده شده است که این مراحل برای ساخت دیگر قطعات با ابعاد کوچک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- انتخاب شمش گل مناسب و قرار دادن آن روی دستگاه

ابتدا شمش سوراخ دار با درصد رطوبت مناسب، با طول معین برش داده شده و بر روی شافت قرار داده می‌شود.

۱

۲- اجرای طرح

با توجه به طرح و اندازهٔ قطعه مورد نظر با حرکت شابلون به سمت شمش، ابتدا یک لایهٔ نازک از روی شمش برداشته می‌شود. هدف از این کار کاهش اثرات فشار دست روی شمش و اختلاف رطوبت سطح با لایهٔ داخلی است. سپس با حرکت دادن شابلون به سمت عمق، به تدریج لایه‌های سطحی برداشته می‌شود تا شکل نهایی ایجاد شود.

۲

۳- پرداخت

به منظور حذف ناصافی‌های سطحی قطعهٔ شکل داده شده از اسفنج مرطوب استفاده می‌شود.

۳

نکته

پرداخت قسمت‌های با ضخامت کم با دقت بیشتری انجام شود.

۴- برش

پس از شکل‌دهی قطعه با استفاده از ابزارهای برش مانند سیم برش، قطعهٔ شکل داده شده از سطح جدا شود.

۴

۵- جداکردن قطعه

همان‌طور که در شکل ۱۸می‌بینید، پس از اتمام تراش، با فشار کم دو دست، قطعه به آرامی به سمت بالا حرکت داده شده و با اندکی فشار بیرون آورده می‌شود.

سپس قطعه را به داخل خشک‌کن انتقال داده می‌شود تا به آرامی خشک شود.

۵

شکل ۱۸- مراحل تراشکاری مقرّه

نکته

پس از جدا کردن قطعه ممکن است برخی از سطوح نیاز به پرداخت داشته باشد.

نمونه‌هایی از مقرّه‌های شیاردار در شکل ۱۹ نشان داده شده است.

شکل ۱۹- مقرّه‌های شیاردار سرامیکی

نمایش فیلم

شکل‌دهی مقرّه‌های دوشیاری به روش تراش

فعالیت کارگاهی

کار عملی۳: ساخت مقرّهٔ دوشیاره با دستگاه تراش
مواد و ابزار: شمش آماده شده، دستگاه تراش، سیم برش
شرح فعالیت:
۱. شمش مناسب برای شکل‌دهی را تهیه کنید.
۲. شمش را در دستگاه تراش قرار دهید.
۳. طرح مورد نظر را انتخاب کنید.
۴. شابلون مناسب را انتخاب کنید.
۵. با دستگاه تراش یک مقرّه دوشیاره را شکل دهید.

نکته ایمنی

۱: با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی، دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
۲: مراقب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.
۳: از جابه‌جایی و دست‌کاری بی‌مورد شابلون خودداری کنید.
۴: احتیاط کنید که دست‌هایتان بین حد فاصل شابلون و مقرّهٔ در حال تراش قرار نگیرد.

شکل دهی مقرّه بوشینگ به روش تراش:

در این قسمت مراحل تراش مقرّه‌های بوشینگ بزرگ توضیح داده شده است. این مراحل برای دیگر قطعات با ابعاد بزرگ نیز به کار می‌رود.

۱- برش شمش با طول مناسب

ابتدا شمش با طول مناسب بریده و روی شافت قرار داده شود.

شکل ۲۰- برش شمش با طول مناسب

۲- استقرار شمش

بعد از استقرار شمش، دستگاه روشن می‌شود تا از هم‌مرکز بودن و دوران صحیح شمش اطمینان حاصل شود.

شکل ۲۱- استقرار شمش

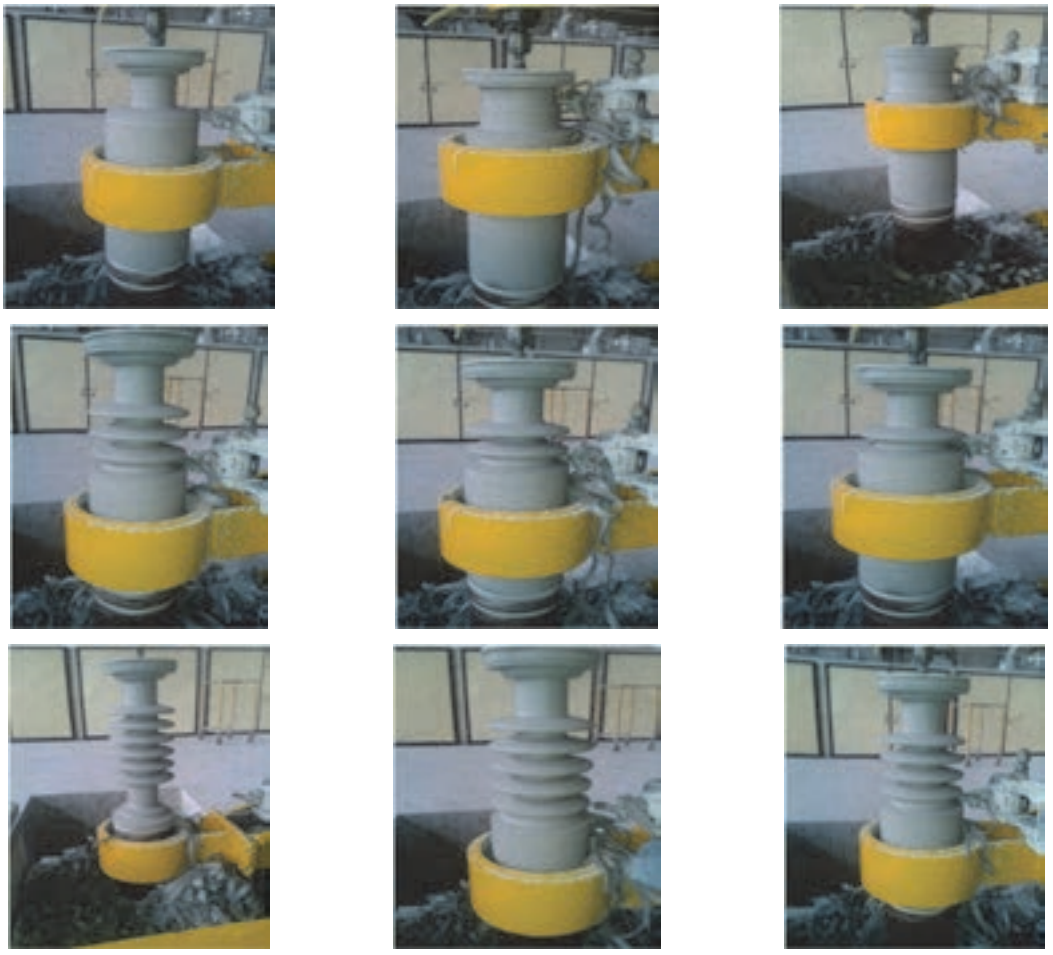
نکته

قرارگیری شمش‌های بزرگ به‌تنهایی امکان‌پذیر نیست و باید این کار به صورت چند نفره و یا با استفاده از جرثقیل صورت پذیرد.

شکل ۲۲- جابه‌جایی شمش ها به کمک جرثقیل

۳- تراش

با توجه به طرح و اندازهٔ قطعه مورد نظر، شابلون ابتدا یک لایهٔ کلی از روش شمش را برداشته (مرکز نمودن شمش) سپس به وسیلهٔ ابزارهای تراش فرایند تراش دادن شمش انجام می‌شود. فرایند تراش قطعات کوچک در یک مرحله و قطعات بزرگ در چند مرحله انجام می‌شود.



شکل ۲۳- مراحل تراش مقرّهٔ بوشینگ

۴- پرداخت

به منظور حذف ناصافی‌های سطحی ناشی از ابزارهای تراش با اسفنج مرطوب پرداخت انجام می‌شود.

شکل ۲۴- پرداخت

۵- بریدن

پس از فرایند تراش و پرداخت قطعه برای مدتی روی شافت باقی می‌ماند تا با کاهش رطوبت، استحکام مناسبی پیدا کند. سپس به کمک تیغ قطعه شکل داده شده از سطح بریده می‌شود.

۶- جداکردن قطعه

قطعهٔ برش داده شده از سطح تکیه‌گاه از شافت جدا شده و در خشک‌کن با دمای کم و مدت زمان طولانی قرار داده می‌شود.

شکل ۲۵- جداکردن قطعه

نمونه‌هایی از مقرّه‌های بوشینگ و مقرّه‌های تابلویی شکل‌گرفته به روش تراش در شکل ۲۶ نشان داده شده است.

شکل۲۶- نمونه‌هایی از مقرّه‌های بوشینگ و تابلویی

نکته

بعضی از قطعات ابتدا با روش‌های دیگر شکل داده شده، سپس با تراش دادن مرحله شکل‌دهی کامل می‌شود.

فعالیت کارگاهی:

کار عملی۴: ساخت مقرّهٔ ساده با دستگاه تراش

مواد و ابزار: شمش آماده شده، دستگاه تراش، سیم برش، ابزار تراش

شرح فعالیت:

۱. شمش مناسب برای شکل‌دهی را با استفاده از مقادیر داده شده در جدول تهیه کنید.

ماده اولیه	مقدار (٪)
کائولن	۳۰
بال کلی	۱۵
فلدسپات	۳۰
سیلیس	۲۵

۲. شمش را در دستگاه تراش قرار دهید.

۳. طرح مورد نظر را انتخاب کنید.

۴. شابلون مناسب را انتخاب کنید.

۵. با دستگاه تراش یک مقرّهٔ ساده را شکل دهید.

نکته ایمنی

۱. با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی، دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.

۲. مواظب گیر کردن احتمالی لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.

۳. از جابه‌جایی و دست‌کاری بی مورد شابلون خودداری کنید.

۴. احتیاط کنید که دست‌هایتان بین حد فاصل شابلون و مقرّهٔ در حال تراش قرار نگیرد.

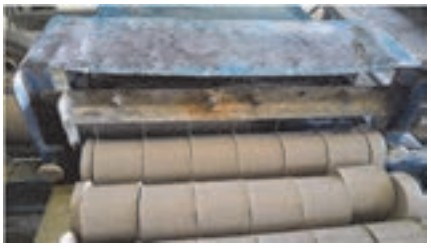
شکل ۲۷- گلوله های سرامیکی

گفت‌وگو کنید

در تصاویر زیر مراحل شکل‌دهی گلوله‌های سرامیکی به روش تراش نشان داده شده است.
درباره هر یک از مراحل بحث و گفت‌وگو کنید.

شکل‌دهی گلوله‌های آسیاب بالمیل:

(۱)


(۲)

(۳)

(۴)

(۵)

(۶)

(۷)

شکل ۲۸- مراحل شکل‌دهی گلوله های سرامیکی

نمایش فیلم

مراحل تراش گلوله سرامیکی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: ساخت گلولهٔ سرامیکی با دستگاه تراش

مواد و ابزار: شمش آماده شده، دستگاه تراش، سیم برش

شرح فعالیت:

- شمش مناسب برای شکل‌دهی را تهیه کنید.
- شمش را در دستگاه تراش قرار دهید.
- شابلون مناسب را انتخاب کنید.
- با دستگاه تراش یک گلوله سرامیکی را شکل دهید.

ارزشیابی شایستگی شکل‌دهی به روش تراش

شرح کار:

تراش گل پلاستیک
آماده سازی شمش گل
انتخاب ابزار تراش
استقرار شافت و شمش
شکل‌دهی گل پلاستیک به روش تراش
عملیات نهایی

استاندارد عملکرد:

شکل‌دهی قطعه سرامیکی به روش تراش مطابق با فرم و ابعاد مورد نظر

شاخص ها:

بررسی هریک از عوامل مؤثر بر تراش گل پلاستیک

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط:

کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه، دستگاه تراش، شابلون شکل‌دهی

ابزار و تجهیزات:

ترازو، ظرف، الک، تیغه برش، شافت، دستگاه تراش، خشک کن، تجهیزات پرداخت

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده سازی شمش گل برای شکل‌دهی تراش	۱	
۲	بررسی و انتخاب ابزار تراش	۱	
۳	شکل‌دهی گل به روش تراش	۲	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۴

شکل‌دهی به روش جِیگِر و جولی

یکی از روش‌های کاربردی برای شکل‌دهی سرامیک‌ها به روش گل پلاستیک، شکل‌دهی به شیوهٔ جِیگر و جولی است که با استفاده از شابلون صورت می‌گیرد. در این روش، گل پلاستیک بر روی قالب قرار می‌گیرد و با پایین آوردن شابلون، قطعه با شکل مورد نظر شکل داده می‌شود. در حال حاضر روش‌هایی مانند رولر نیز که روش توسعه‌یافتهٔ جِیگر و جولی است، به سرعت در حال استفاده است.

واحد یادگیری ۴
شایستگی شکل‌دهی به روش جِیگِر[۱] و جولی[۲]

شایستگی شکل‌دهی به روش جِیگر و جولی و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی، فراگیری دانش و مهارت شکل دادن گل پلاستیک با استفاده از روش جِیگر و جولی است. در حال حاضر این روش شکل‌دهی مقرون به صرفه‌ترین شیوه برای تولید ظروف آشپزخانه‌ای (بشقاب، فنجان و نعلبکی) و سایر قطعات سرامیکی با کاربردهای گوناگون (بوته‌های سرامیکی) است که در سال‌های اخیر بسیار توسعه یافته است. آشنایی با دستگاه جیگر و جولی، مکانیزم شکل‌دهی با این روش و روش‌های توسعه‌یافته آن در این واحد یادگیری در نظر گرفته شده است.

استاندارد عملکرد:

ساخت بدنه سرامیکی به روش جِیگر و جولی متناسب با شکل، فرم و ابعاد مورد نظر

۱- Jiggering
۲- Jolling

به تصاویر زیر نگاه کنید و به سؤالات پاسخ دهید:
از چه روش‌هایی برای ساخت قطعات زیر می‌توان استفاده کرد؟

شکل ۱- قطعات سرامیکی

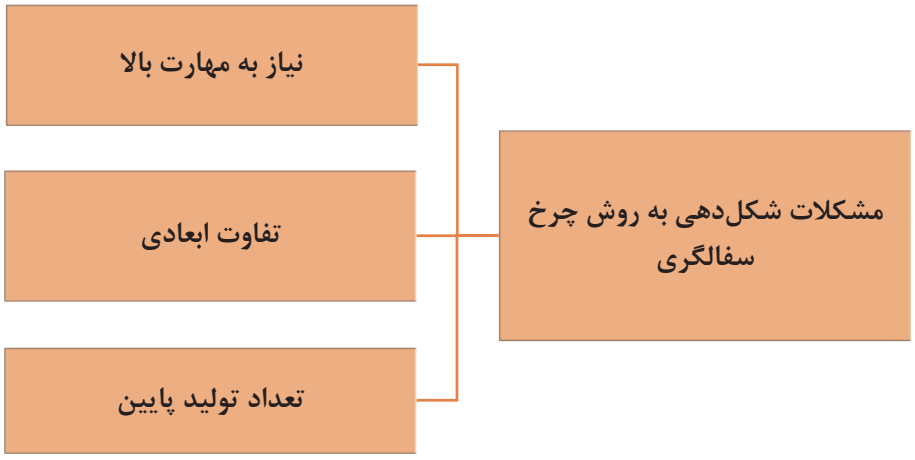
یکی از روش‌های مورد استفاده برای شکل‌دادن گل پلاستیک، شکل‌دهی با چرخ سفالگری است. در شکل ۲ دستگاه چرخ سفالگری را مشاهده می‌کنید. در این روش پس از تهیه گل پلاستیک با پلاستیسیتهٔ مناسب، شکل‌دهی با استفاده از دست بر روی چرخ سفالگری انجام می‌شود.

شکل ۲- چرخ سفالگری

تحقیق کنید

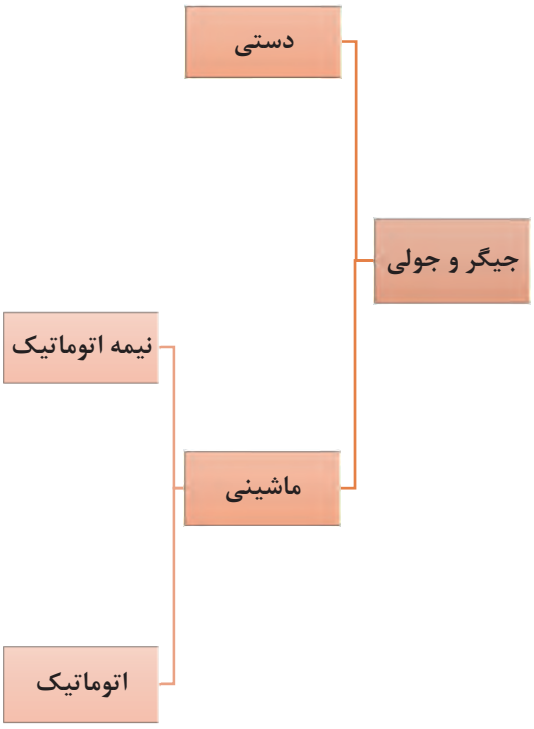
- در مورد شکل‌دهی به روش چرخ سفالگری تحقیق کنید.
- مزایا و معایب شکل‌دهی به روش چرخ سفالگری را بیان کنید.

شکل‌دهی با استفاده از جِیگر و جولی تکامل یافتهٔ روش شکل‌دهی با چرخ سفالگری است که با آن می‌توان قطعاتی با دقت ابعاد و تعداد بالا تولید کرد. شکل دادن با چرخ سفالگری دارای مشکلاتی است که این امر موجب شده تا ماشین‌هایی نظیر جِیگر، جولی و رولر ساخته شود.
مشکلات روش چرخ سفالگری عبارت است از:



نمودار ۱- مشکلات شکل‌دهی به روش چرخ سفالگری

نمودار ۲ انواع روش‌های جِیگر و جولی را نشان می‌دهد.



نمودار ۲- انواع روش‌های جیگر و جولی

شکل ۳- قطعات تولیدشده به روش جیگر و جولی

چه قطعاتی را با روش جِیگر و جولی می‌توان تولید کرد؟

با استفاده از این روش امکان تولید قطعاتی با اشکال هندسی ساده از قبیل ظروف آشپزخانه (فنجان و بشقاب) وجود دارد (شکل۳). برای تولید محصولاتی که شکل ساده و گرد دارند، از این روش استفاده می‌شود؛ اگرچه از این روش برای ساخت قطعاتی بیضی‌شکل و چهارگوش نیز استفاده می‌شود.

امکان استفاده از روش جیگِر و جولی در صنایع کوچک و کارگاهی نیز وجود دارد و زمانی مقرون به صرفه است که از تمام ظرفیت این روش برای تولید استفاده شود. با استفاده از یک دستگاه جِیگر و جولی اتوماتیک امکان تولید چندصد قطعه در ساعت نیز وجود دارد. در جدول ۱ میزان تولید قطعات سرامیکی با سه روش دستی، نیمه‌اتوماتیک و اتوماتیک به صورت مقایسه‌ای بیان شده است.

جدول ۱- سرعت تولید قطعات سرامیکی با سه روش دستی، نیمه اتوماتیک و اتوماتیک

نوع روش شکل‌دهی	تعداد قطعه تولیدی در ساعت
دستی	۱۰۰
نیمه‌اتوماتیک	۱۵۰-۲۰۰
اتوماتیک	۲۵۰-۴۰۰

بیشتر قطعاتی که با روش جِیگر و جولی تولید می‌شوند، با روش ریخته‌گری دوغابی نیز می‌توان تولید کرد. (در این روش دوغابی مناسب تهیه می‌کنند و در قالب‌هایی که عمدتاً از جنس گچ هستند، ریخته‌گری کرده و قطعات مورد نظر را تولید می‌کنند). مزایای تولید قطعات با استفاده از روش جِیگر و جولی در مقایسه با روش ریخته‌گری دوغابی عبارت است از:

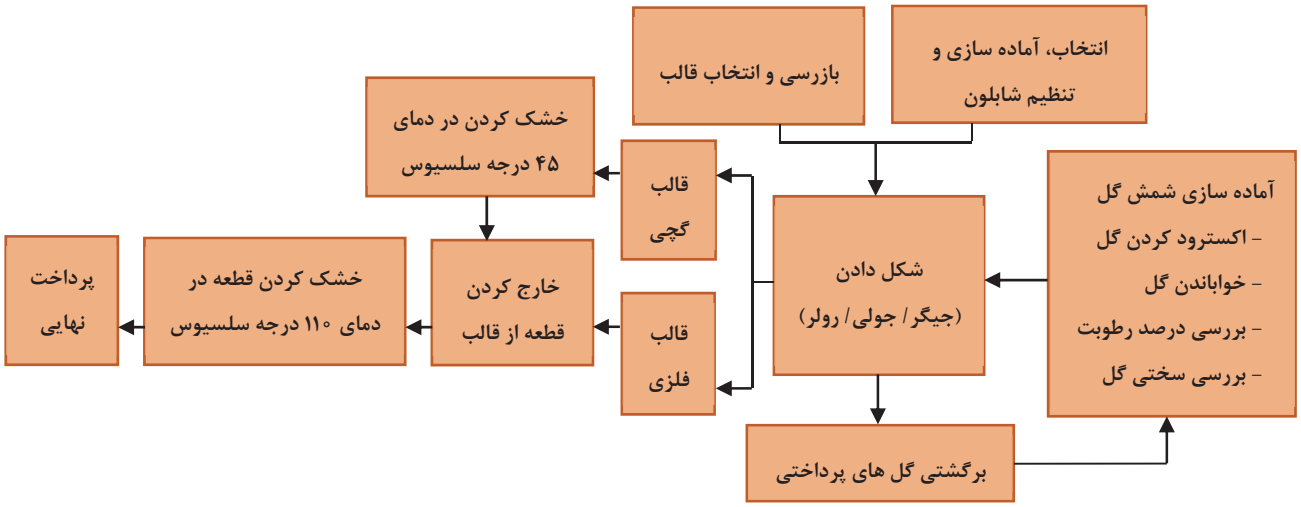
نمودار ۳

نکته

در روش جیگر و جولی از گل پلاستیک برای شکل‌دهی استفاده می‌شود. در مقابل، در روش ریخته‌گری دوغابی از دوغاب استفاده می‌شود. بنابراین مقدار آب مورد استفاده در روش ریخته‌گری دوغابی بیشتر از روش جیگِر و جولی است؛ در نتیجه میزان جذب آب قالب گچی در روش جیگِر و جولی در مقایسه با روش ریخته‌گری دوغابی کمتر است و فرایند خشک شدن آنها سریع‌تر رخ می‌دهد.

فرایند تولید در روش جیگرِ و جولی

روند تولید قطعات به روش جیگرِ، جولی و رولر در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- مراحل تولید قطعات به روش جیگر، جولی و رولر

در ادامه هر یک از این مراحل توضیح داده شده است.

مواد و تجهیزات

مواد اولیه

گل پلاستیک مورد استفاده در روش جیگر و جولی می‌تواند هر آمیزی از گل پلاستیک با مقدار پلاستیسیتهٔ مناسب باشد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید، گل مورد نیاز برای ساخت قطعه در این روش با استفاده از اکسترود کردن گل پلاستیک تهیه می‌شود.

شکل۵- اکسترود کردن گل پلاستیک

نکته

گل پلاستیک مورد استفاده در روش جیگر و جولی در مقایسه با گل پلاستیک مورد استفاده در روش شکل‌دهی با چرخ سفالگری مقدار رطوبت کمتری دارد (شکل ۶).

شکل ۶- گل پلاستیک مورد استفاده در روش جِیگر و جولی

عوامل مهمی که در انتخاب گل پلاستیک باید مدنظر قرار داد، عبارت‌اند از:

الف- سختی گل پلاستیک

اگر میزان سختی گل بالا باشد، مهم‌ترین قسمتی که دچار مشکل می‌شود، تیغهٔ برش است. هرچه سختی بیشتر باشد تیغهٔ برش زودتر کند شده و در نتیجه باعث ایجاد عیوب می‌شود.

شکل ۷- اندازه‌گیری سختی شمش گل قبل از شکل‌دهی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: اندازه‌گیری سختی

مواد و ابزار : گل پلاستیک، دستگاه اندازه‌گیری سختی گل، ترازو و خشک‌کن

شرح فعالیت:

با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سختی، سختی۵ نقطهٔ مختلف شمش گل مورد استفاده جهت شکل‌دهی به روش جِیگر و جولی را اندازه‌گیری کنید.

فعالیت کارگاهی

کارعملی۲: اندازه‌گیری درصد رطوبت
مواد و ابزار: گل پلاستیک، خشک‌کن، سیم برش، ترازو
شرح فعالیت:
۱- برش یک لایه از شمش گل با استفاده از سیم برش
۲- اندازه‌گیری وزن تر
۳- خشک‌کردن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت
۴- اندازه‌گیری وزن خشک
۵- محاسبه درصد رطوبت

ب- جهت‌گیری ترجیحی ذرات

مقدار گل اضافهٔ زیر دستگاه، اختلاف دور کلگی و اسپیندل، سرعت دور کلگی و اسپیندل، زمان شکل دادن و جهت قرار دادن گل، همگی بر آرایش ذرات قطعه پس از شکل‌دهی مؤثرند.

قالب

در این روش از دو نوع قالب گچی و فلزی استفاده می‌شود. ساخت قالب گچی در این روش با روش ریخته‌گری دوغابی مشابه است که در سال آینده با آن آشنا خواهید شد. در حالت کلی، در روش جیگر و جولی به طور معمول از سه نوع قالب استفاده می‌شود:

- قالب یک تکّه
- قالب چند تکّه
- قالب تزیین

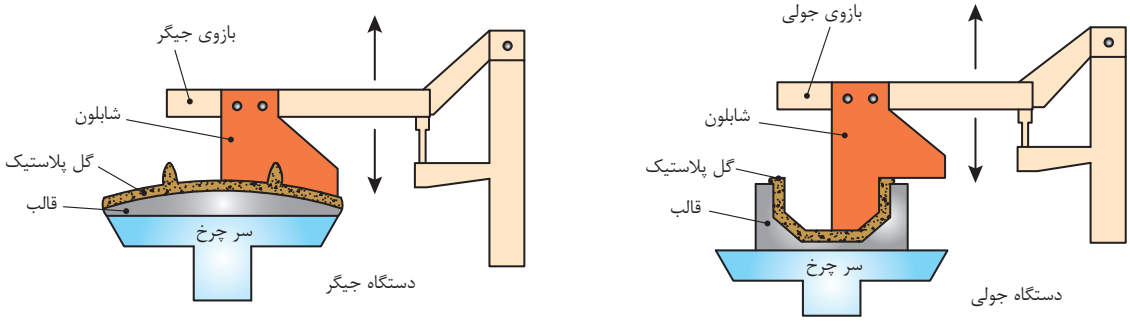
بسته به سرعت خشک شدن قالب، می‌توان آن را چند بار در روز استفاده کرد. بیشتر تولیدکنندگان کارگاهی کوچک، قالب‌های گچی را در هوای محیط خشک می‌کنند که با توجه به این شرایط، از هرقالب ۲ بار در روز می‌توان استفاده کرد. در مقابل، کارخانجات با تعداد تولید بالا از خشک‌کن‌های صنعتی برای خشک کردن قالب استفاده می‌کنند که با توجه به این شرایط، قابلیت استفاده از هر قالب تا ۴ بار در هر شیفت کاری فراهم می‌شود. شکل ۸ و ۹ قالب‌های گچی و فلزی مورد استفاده در روش جیگِر و جولی را نشان می‌دهد.

شکل ۸- قالب‌های مورد استفاده در روش جیگِر و جولی

شکل۹- قالب فلزی چند تکه مورد استفاده در روش جیگر و جولی

دستگاه جِیگر و جولی

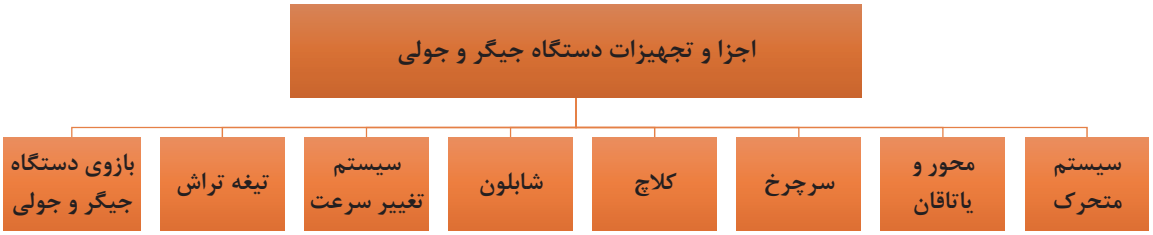
از این دستگاه برای شکل دادن بیرون قطعات (جیگر) و داخل قطعات (جولی) استفاده می‌شود. در این روش گل بدنه بر روی قالب قرار داده می‌شود و با پایین آوردن شابلون بر روی گل و تراشیدن آن، شکل‌دهی صورت می‌گیرد. در شکل ۱۰ فرایند شکل‌دهی با استفاده از جیگر و جولی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱۰- شماتیک شکل‌دهی به روش جیگر و جولی

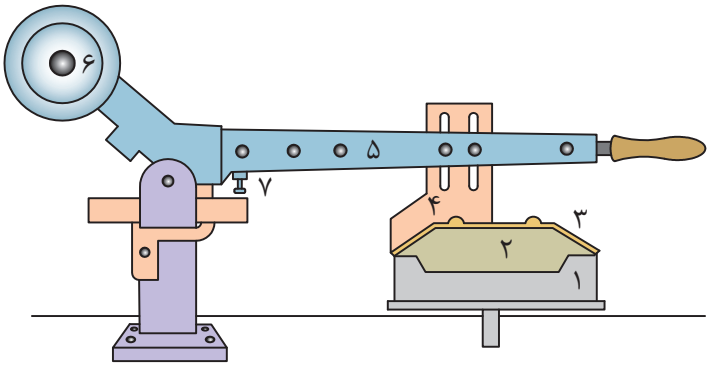
اجزا و تجهیزات دستگاه جیگر وجولی

دستگاه جیگر و جولی دارای اجزای مختلفی است که هرکدام از آنها نقش مؤثری در فرایند شکل‌دهی دارند. اجزای دستگاه جیگر و جولی عبارت‌اند از:



نمودار۴- اجزا و تجهیزات دستگاه جیگر و جولی

در شکل ۱۱ شماتیکی از اجزای مختلف دستگاه جیگر نشان داده شده است.

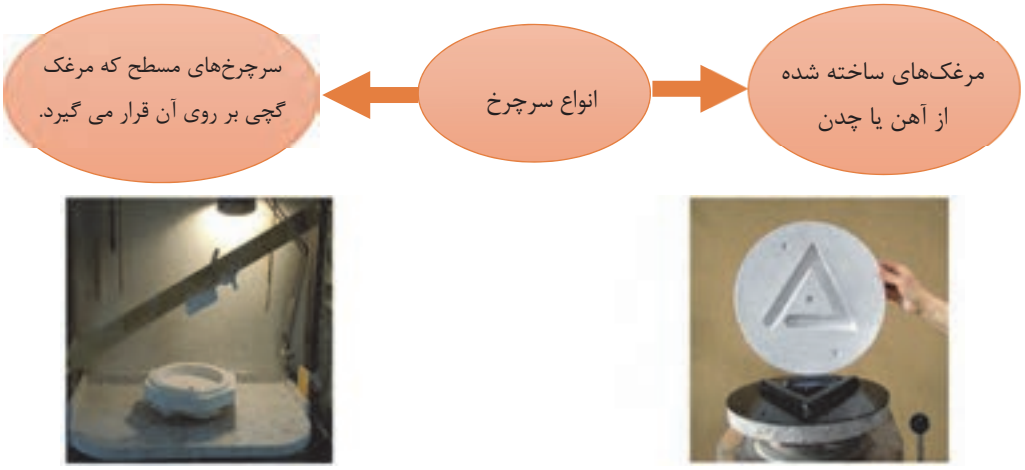


شکل۱۱ - شماتیکی از اجزای دستگاه جیگر و جولی برای تولید ظروف تخت: ۱- سرچرخ با زبانه، ۲- قالب، ۳- گل پلاستیک شکل داده شده به صورت بشقاب، ۴- شابلون، ۵- بازوی دستگاه، ۶ - وزنهٔ تعادل، ۷- پیچ تنظیم ضخامت قطعه

در ادامه مهم‌ترین اجزای دستگاه جِیگر و جولی شرح داده می‌شود.

سر چرخ

این قسمت از دستگاه شامل یک زبانه است که قالب گچی را نگه می‌دارد. در دستگاه جیگر و جولی از دو نوع سر چرخ استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:



شکل۱۲- انواع سرچرخ مورد استفاده در دستگاه جیگر

نکته

۱- سرعت تنظیمی برای سرچرخ معمولاً ۴۰۰-۲۵۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته می‌شود. قطعات کوچک از قبیل فنجان را می‌توان با سرعت سرچرخ بالاتری (حدود ۴۰۰ دور بر دقیقه) تولید کرد.

۲- از آنجا که زبانه از جنس فولاد زنگ‌نزن است، اگر به صورت هم‌مرکز با سر چرخ درنیاید، سریع ساییده می‌شود. برای جلوگیری از این حالت، دیواره‌های بیرونی با پوشش لاستیکی یا حلقه‌های فلزی تقویت می‌شود.

شابلون

به طور معمول شابلون‌ها از جنس فولاد و یا آلیاژهای زنگ‌نزن ساخته می‌شوند. حداقل ضخامت فولاد مورد استفاده در ساخت شابلون ۳ میلی‌متر است. در شکل ۱۳انواع شابلون مورد استفاده برای شکل‌دهی با استفاده از روش جیگر و جولی مشاهده می‌شود.

شکل ۱۳- شابلون مورد استفاده در شکل‌دهی با استفاده از روش جولی

همانطور که در شکل ۱۴ می‌توان دید، گاهی برای ایجاد استحکام بیشتر، شابلون‌های فلزی را با استفاده از قرار دادن چوب در پشت آن تقویت می‌کنند.

با توجه به سایش در تیغهٔ شابلون، تیغه هرچند وقت یک‌بار باید تیز شود. همچنین پس از طراحی شابلون با ویژگی‌های مورد نظر، شابلون‌هایی از روی آن تولید شده و شابلون اصلی به منظور تولید شابلون در آینده نگهداری می‌شود. هنگام قرار دادن شابلون روی دستگاه باید دقت کرد تا شابلون در مرکز قرار بگیرد، در غیر این صورت عیوب مارپیچی و یا عدم تقارن در قطعهٔ نهایی ایجاد می‌شود. برای تولید قطعاتی که تعداد آنها از شابلون‌های چوبی و پلاستیکی کمتر است نیز می‌توان استفاده کرد (شکل ۱۵).

شکل ۱۴- شابلون تقویت شده با چوب

شکل ۱۵- شابلون چوبی و پلاستیکی تقویت‌شده با چوب

عمر این شابلون‌ها در مقایسه با شابلون فلزی کوتاه‌تر است. همان‌طور که در شکل ۱۶ دیده می‌شود، شابلون را می‌توان با استفاده از پیچ و مهره قابل تنظیم بر روی دستگاه نصب کرد.

شکل ۱۶- شابلون با پیچ و مهره قابل تنظیم

فعالیت کارگاهی

کارعملی۳: ساخت شابلون

مواد و ابزار : تخته چوب، ابزار برش چوب، سنباده

شرح فعالیت:

۱- ابتدا با توجه به نوع شابلون، طراحی اولیهٔ شابلون انجام می‌شود.

۲- طرح شابلون بر روی تخته چوب کشیده شود.

۳- با استفاده از ابزار برش طرح پیاده شده برش داده شود.

۴- پس از ساخت اولیه شابلون با استفاده از سنباده محل برش پرداخت شود.

نکته ایمنی

در هنگام برش و سنباده‌کاری مراقب باشید تا به دستانتان آسیب نرسد.

در زمان انجام کار از ماسک استفاده کنید.

تیغهٔ برش

پس از شکل‌دهی، مقداری گل اضافی از محیط قالب بیرون می‌زند که باید به وسیلهٔ ابزار حذف شود. در این موارد از تیغهٔ برش استفاده می‌شود.

شکل ۱۷- تیغهٔ برش در حال حذف گل اضافی

تحقیق کنید

اگر تیغهٔ برش به‌خوبی تنظیم نشود (بالاتر یا پایین‌تر از سطح قالب باشد) چه مشکلاتی ایجاد می‌شود؟ آیا جنس تیغهٔ برش در بروز عیوب نقش دارد؟

پیچ تنظیم ضخامت قطعه

یکی دیگر از اجزای مهم دستگاه جِیگر و جولی پیچ تنظیم ضخامت قطعه است. وظیفهٔ این پیچ، تنظیم فاصلهٔ شابلون تا قالب است که ضخامت نهایی قطعه را تعیین می‌کند.

نکته

پیچ تنظیم ضخامت قطعه در هر شیفت کاری چندین بار باید مورد بررسی قرار گیرد.

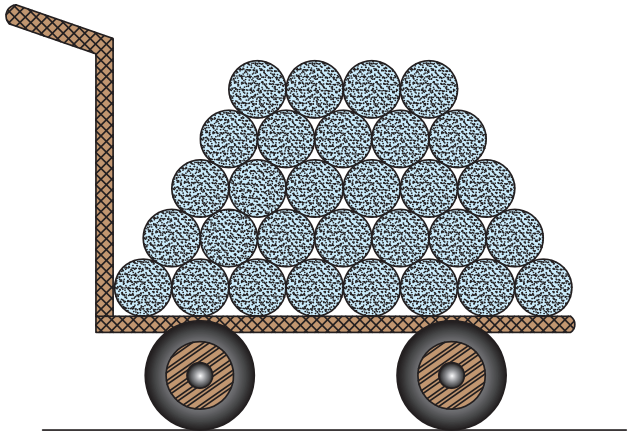
پرداخت:

پرداخت در قطعات تولیدشده به روش جِیگر و جولی به ویژگی‌های گل پلاستیک مورد استفاده بستگی دارد. به طور معمول، پرداخت تنها برای صاف کردن لبه‌های ظروف تولیدشده انجام می‌گیرد. پرداخت قطعه مرحلهٔ مجزا از تولید است و اگر تعداد شکل‌دهی بالا باشد، بهتر است پرداخت توسط دستگاه اتوماتیکی انجام شود. عملیات پرداخت می‌تواند بر روی دستگاه جِیگر و جولی صورت بگیرد. بهترین مرحلهٔ پرداخت برای تمام محصولات رسی زمانی است که قطعه به مرحله دونم رسیده باشد. معمولاً برای پرداخت، قطعه بر روی چرخ می‌چرخد و پرداخت با استفاده از اسفنج مرطوب صورت می‌گیرد. بهترین روش برای فرایند پرداخت قطعات استفاده از اسفنج مرطوب است. در شکل ۱۸ فرایند پرداخت به صورت دستی و اتوماتیک نشان داده شده است.

شکل ۱۸- پرداخت نمونه به روش (الف) دستی - (ب) اتوماتیک

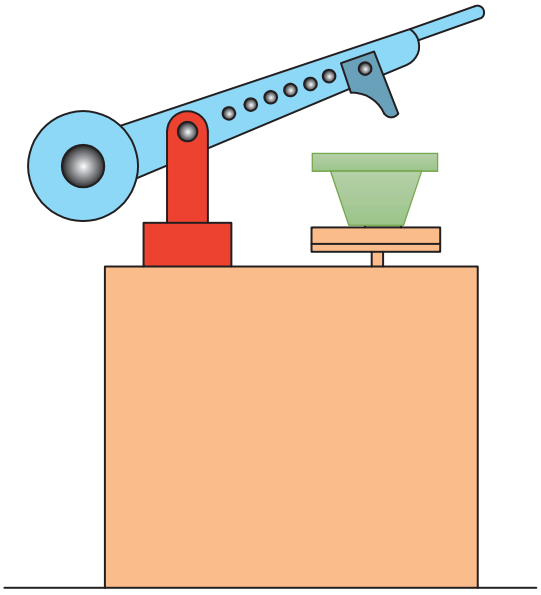
فرایند شکل‌دهی به روش جیگر و جولی

ابتدا گل مورد نظر به روش دستی و یا دستگاهی آماده شده سپس به مقدار لازم برش داده می‌شود (شکل ۱۹).



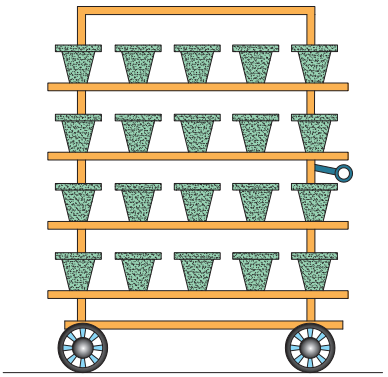
شکل ۱۹- آماده کردن گل پلاستیک

گل برش خورده درون قالب گچی قرار داده شده، سپس قالب گچی در زبانه قرار داده شده و شکل‌دهی با پایین آوردن شابلون انجام می‌شود (شکل ۲۰).



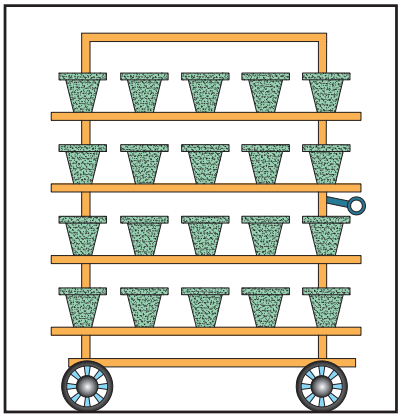
شکل ۲۰- قرار دادن قالب گچی در زبانه و شکل‌دهی

پس از شکل‌دهی قالب را در واگن قرار داده و قالب جدیدی را جایگزین می‌کنند (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- قرار دادن قالب گچی و قطعات شکل گرفته در واگن

واگن حاوی قالب و قطعات شکل گرفته در خشک‌کن با دمای ۴۵ درجه سلسیوس قرار داده می‌شود (شکل ۲۲).

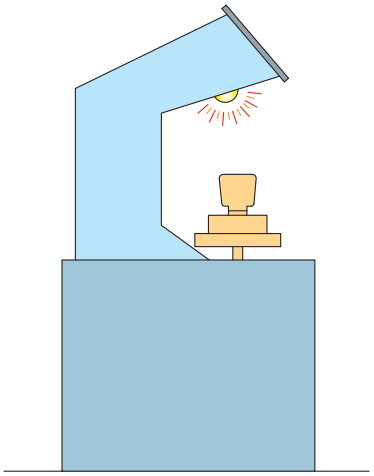


شکل ۲۲- انتقال قالب حاوی قطعات به خشک‌کن با دمای ۴۵ درجه سلسیوس

پس از آنکه قطعه از قالب خارج شد قالب خشک‌شده به فرایند تولید برمی‌گردد (شکل ۲۳). سپس قطعه به خشک‌کن ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس برای خشک شدن کامل منتقل می‌شود.

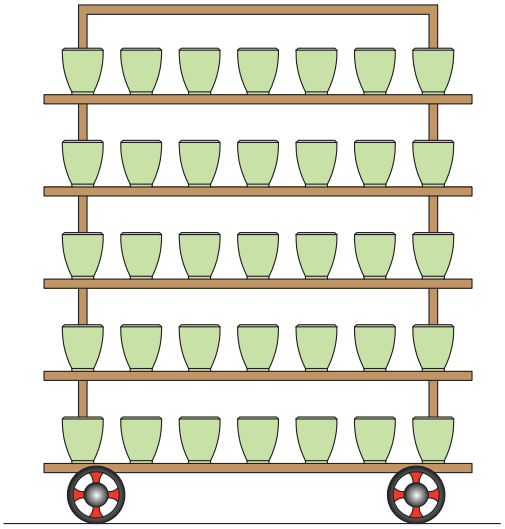
شکل ۲۳- خارج کردن قطعات خشک‌شده از قالب و برگشت قالب به خط تولید

پرداخت دیواره با استفاده از زبانه گردان انجام می‌شود (شکل ۲۴).



شکل ۲۴- پرداخت قطعات

قطعات پس از خشک شدن برای مرحله بعدی تولید پرداخت شده و سپس آمادهٔ پخت بیسکوییت و لعاب‌زنی می‌شود (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- خشک کردن قطعات و آماده کردن برای مراحل بعدی تولید

شکل‌دهی به روش جیگرِ وجولی

ـ انتخاب، آماده‌سازی و تنظیم شابلون

اولین مرحله در شکل‌دهی به روش جیگرِ و جولی انتخاب شابلون متناسب با قطعه تولیدی است. شابلون باید مطابق با ضخامت و شکل قطعه تنظیم و بر روی دستگاه بسته شود. بر اثر نیرویی که در هنگام شکل‌دهی به شابلون وارد می‌شود، ممکن است شابلون از موقعیت خود خارج شود.

نکته

لازم است روزانه حداقل یک بار وضعیت قرار گیری شابلون بر روی دستگاه کنترل شود.

شکل‌دهی بیرون قطعات با استفاده از جِیگر

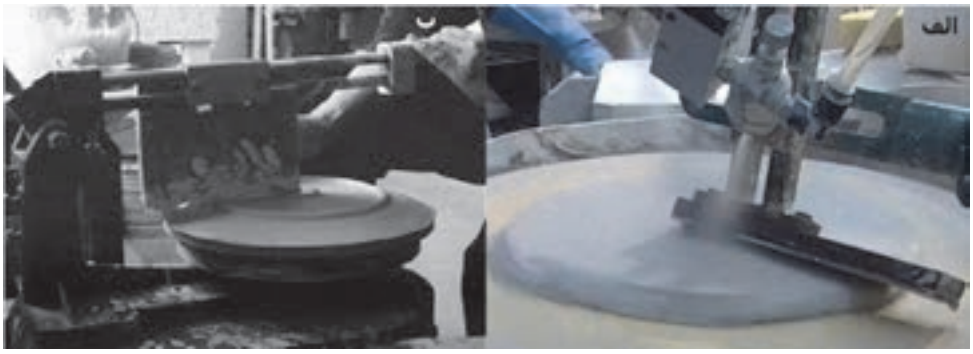
در ابتدا برش‌هایی از گل با وزن معین آماده می‌کنیم. وزن گل ۱/۴-۱/۳ برابر وزن قطعه و قطری در حدود قطر پایه قطعه در نظر گرفته می‌شود. این ورقه‌ها اصولاً با برش گل به وسیلهٔ سیم برش تهیه می‌شوند. امروزه در کارخانجات بزرگ تمام این مراحل به وسیلهٔ دستگاه انجام می‌شود. قبل از پایین آوردن شابلون و شکل‌دهی، گل پلاستیک با استفاده از گل‌پهن‌کن بر روی قالب پهن می‌شود و سپس شکل‌دهی صورت می‌گیرد.

شکل ۲۶- آماده کردن گل به صورت ورقه‌ای

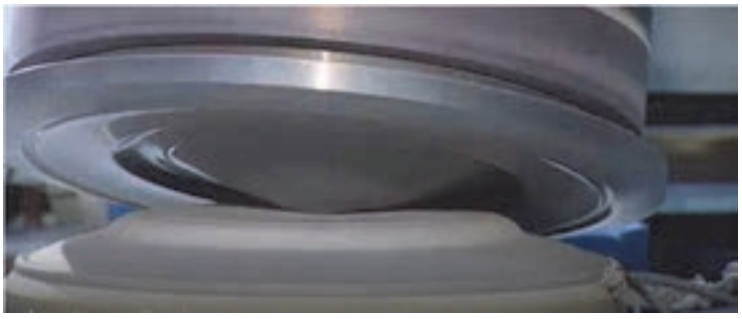
قرار دادن قالب روی زبانه و اعمال گل روی قالب

پهن‌کردن گل و پایین آوردن بازوی دستگاه و شکل دادن قطعه (به طور هم‌زمان چند قطره آب روی سطح قطعه ریخته شود تا سطحی صاف به دست آید).

شکل ۲۷- قرار دادن قالب بر روی زبانه



شکل ۲۸- الف)پهن کردن گل، ب) شکل دادن

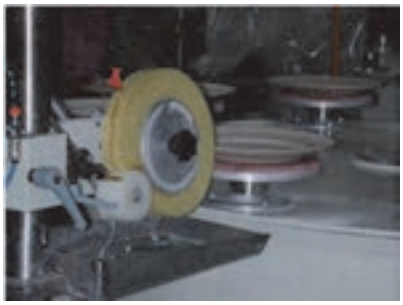


شکل ۲۹- حذف گل‌های اضافی

خشک کردن قالب و قطعه در خشک‌کن با دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس

شکل ۳۰- خشک کردن

خارج کردن قطعه از قالب و پرداخت آن



شکل ۳۱- پرداخت

نمایش فیلم

شکل‌دهی قطعات تخت مانند بشقاب با استفاده از روش جیگر

فعالیت کارگاهی

کارعملی۴: شکل دادن بشقاب با استفاده از دستگاه جیگِر

مواد و ابزار: گل پلاستیک، قالب گچی، شابلون، اسفنج، دستگاه جیگِر، خشک‌کن

شرح فعالیت:

۱- انتخاب شابلون مناسب و نصب آن بر روی دستگاه
۲- قرار دادن قالب گچی روی زبانه
۳- تنظیم فاصلهٔ شابلون و قالب به وسیله پیچ تنظیم
۴- انتخاب مقدار مناسب گل و قراردادن آن روی قالب
۵- پهن‌کردن گل
۶- پایین آوردن بازوی دستگاه و انجام عمل شکل‌دهی با سرعت مناسب
۷- بیرون آوردن قالب از دستگاه و پرداخت اولیه
۸- قرار دادن قالب و قطعه در خشک‌کن با دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس
۹- خارج کردن قطعه از قالب
۱۰- خشک کردن قطعه در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس
۱۱-پرداخت نهایی

نکته ایمنی

۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
۲- از آنجا که شابلون تیز است، در هنگام نصب آن مواظب باشید تا دستتان آسیب نبیند.
۳- مراقب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال گردن و آستین لباس به دستگاه در هنگام کار باشید.
۴- هیچ‌گونه تماس مستقیمی با ابزار برش و اجزای دستگاه نداشته باشید.

شکل‌دهی داخل قطعات با استفاده از شابلون (جولی)

مقدار مناسبی از گل را انتخاب می‌کنیم. مقدار گل باید به دقت وزن شود، ولی اپراتورهای باتجربه قادر به انتخاب گل مناسب بدون وزن کردن نیز هستند. اگر گل پلاستیک پاگمیل و اکسترود شده باشد، می‌توان آن را به‌صورت برش‌هایی با وزن مشخص تهیه کرد و در دسترس اپراتور جهت استفاده قرار داد که این کار روند تولید را تسریع می‌کند. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید، در حال حاضر انتخاب مقدار گل، برش و قرار دادن آن در قالب به صورت کاملاً اتوماتیک صورت می‌گیرد.

الف ب

شکل ۳۲- برش گل الف) دستی ب) ماشینی

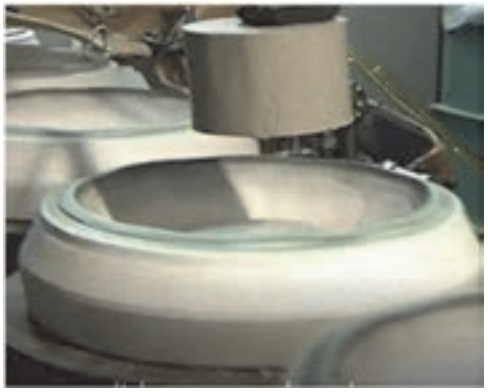
نکته

از تمیز بودن قالب و کاردک اطمینان حاصل کنید، زیرا اگر ذرات کوچک خشک شده وارد گل شوند، باعث ترک خوردن قطعه هنگام خشک شدن قطعه پس از شکل‌گیری خواهد شد.

قالب را روی زبانه قرار می‌دهیم (برای گذاشتن یا برداشتن قالب نیازی به خاموش کردن دستگاه نیست)

شکل ۳۳

مقداری از گل را که در مرحلهٔ اول تهیه کرده بودیم، در قالب قرار می‌دهیم. قطعات بزرگ گل با دست درون قالب پهن می‌شود. در قطعات کوچک، شابلون را می‌توان به طور مستقیم روی گل قرار داد.



۳۴- قرار دادن دیسک گل در قالب

با پایین آوردن بازوی جولی داخل قالب، نیروی واردشده به گل قطعاتی با شکل مورد نظر را تولید می‌کند. قبل از برداشتن شابلون، داخل قطعه را مرطوب می‌کنیم تا سطح صافی تولید شود.

شکل ۳۵- پایین آوردن بازوی جولی و شکل‌دهی

حذف گل‌های اضافه

شکل ۳۶

خشک کردن قالب و قطعه در خشک‌کن با دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس

شکل۳۷

پرداخت قطعه

شکل۳۸

نمایش فیلم

شکل‌دهی قطعات گود مانند فنجان با استفاده از روش جولی

فعالیت کارگاهی

کارعملی۵: شکل دادن کاسه با استفاده از دستگاه جولی
مواد و ابزار: گل پلاستیک، قالب گچی، شابلون، اسفنج، دستگاه جولی
شرح فعالیت:
۱- انتخاب شابلون مناسب و نصب آن روی دستگاه
۲- قرار دادن قالب گچی روی زبانه
۳- تنظیم فاصلهٔ شابلون و قالب به وسیله پیچ تنظیم
۴- انتخاب مقدار مناسب گل و قرار دادن آن روی قالب
۵- پهن کردن گل
۶- پایین آوردن بازوی دستگاه و انجام عمل شکل‌دهی با سرعت مناسب
۷- بیرون آوردن قالب از دستگاه و پرداخت اولیه
۸- قرار دادن قالب و قطعه در خشک‌کن با دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس
۹- خارج کردن قطعه از قالب
۱۰- خشک کردن قطعه در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس
۱۱- پرداخت نهایی

نکته ایمنی

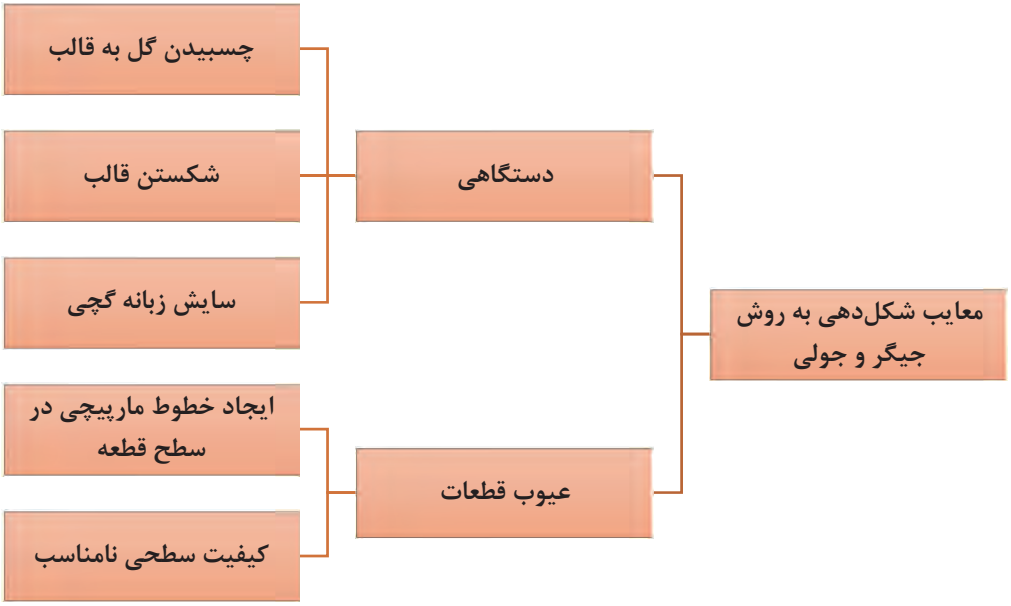
۱- با توجه به وجود خطرات احتمالی برق‌گرفتگی، دقت لازم را داشته باشید و از روشن و خاموش کردن دستگاه با دست خیس اجتناب کنید.
۲- از آنجاکه شابلون تیز است، هنگام نصب آن مواظب باشید تا دستتان آسیب نبیند.
۳- مراقب گیر کردن احتمالی لباس نظیر شال گردن و آستین لباس به دستگاه هنگام کار باشید.
۴- هیچ‌گونه تماس مستقیمی با ابزار برش و اجزای دستگاه نداشته باشید.

نمایش فیلم

نمایش فیلم شکل‌دهی قطعات گود از قبیل کاسه و فنجان با استفاده از روش جولی

معایب فرایند شکل‌دهی به روش جیگرِ و جولی

همان‌طور که در نمودار ۵ مشاهده می‌شود، معایب فرایند شکل‌دهی به روش جیگر و جولی را می‌توان به مشکلات ناشی از دستگاه و تجهیزات و عیوب ایجادشده در قطعه پس از شکل‌دهی تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۵

عیوب دستگاهی

۱- چسبیدن گل به قالب

این عیب بیشتر مواقعی به وجود می‌آید که از قالب‌های جدید استفاده می‌شود. این مشکل معمولاً پس از چندین بار استفاده از قالب برطرف می‌شود.

۲- شکستن قالب

یکی از دلایل شکستن قالب استفاده از گچ بی‌کیفیت در ساخت آن است. استفاده از گچ با کیفیت بالا، یکی از راه‌های برطرف کردن این مشکل است. از آنجا که این مشکل بیشتر در قسمت بالایی و لبه‌های قالب اتفاق می‌افتد، برای کاهش ایجاد آن بهتر است که این قسمت از قالب با ضخامت بالاتری ساخته شود. روش تقویت کردن قالب با استفاده از سیم در حین ریخته‌گری قالب راه دیگری برای کاهش این عیب است.

۳- سایش سریع زبانهٔ گچی

با استفاده از حلقه‌های فلزی با عرض ۲ میلی‌متر می‌توان بدنه و لبهٔ مرغک گچی را تقویت کرد. همچنین از نوارهای لاستیکی نیز می‌توان برای این منظور استفاده کرد. روش قدیمی برای کاهش این عیب ریختن سرب مذاب داخل مرغک گچی است.

شکل ۳۹

شکل ۴۰

عیوب قطعات

۱- ایجاد خطوط مارپیچ در سطح قطعه

در این عیب سطح قطعه صاف نیست و خطوط مارپیچی بر روی سطح آن که توسط شابلون شکل‌دهی شده است، مشاهده می‌شود. راه‌های برطرف کردن این عیب عبارت‌اند از:

الف) تنظیم صحیح شابلون

ب) افزایش ضخامت شابلون

ج) افزایش ضخامت بازوی نگه‌دارندهٔ شابلون

د) تقویت شابلون با استفاده از صفحه چوبی

۲- کیفیت سطحی نامناسب

این عیب در اثر تنظیم نامناسب شابلون به وجود می‌آید. همچنین اگر قالب گچی هم‌مرکز نباشد، یک طرف قطعه ضخامت کم و طرف مقابل ضخامت بیشتری خواهد داشت. این عیب می‌تواند به دلیل خارج از مرکز بودن زبانه نیز باشد یا اینکه فاصله بین قالب و مرغک بیش از اندازه باشد. علاوه بر این، اگر قالب طراحی مناسبی هم نداشته باشد، این مشکل به وجود خواهد آمد.

شکل‌دهی به روش رولر

جهت بهبود کیفیت قطعات تولیدی و افزایش تعداد تولید در روز از رولر که دستگاه تکامل‌یافته جِیگر و جولی است، استفاده می‌شود. رولرها به صورت اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک در صنعت کاربرد دارند. در شکل ۴۱ دستگاه رولر نشان داده شده است.

شکل ۴۱- دستگاه رولر

مکانیزم شکل‌دهی به روش رولر با روش جیگر و جولی مشابه است، ولی در جزئیات و اجزا تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند که عبارت است از:

۱- شابلون توسط رولر (کلگی) جایگزین شده است. شکل رولر به نوع قطعه‌ای که شکل داده می‌شود، بستگی دارد.

۲- در دستگاه رولر هم رولر می‌تواند بچرخد هم اسپیندل و هم اینکه هردو می‌توانند هم جهت با همدیگر با سرعت‌های مختلف بچرخند.
۳- رولر و اسپیندل دستگاه قابلیت بالا و پایین شدن را دارند.

نکته

معمولاً پشت قالب گچی پمپ مکش هوا وجود دارد که باعث می‌شود قالب به‌خوبی به دستگاه بچسبد.

انواع مکانیزم‌های شکل‌دهی با استفاده از رولر

۱- پس از برش گل و قرار دادن آن در مرکز قالب گچی، فقط رولر می‌چرخد. رولر پایین آمده و بر روی سطح گل قرار می‌گیرد و سپس بر اثر اصطکاک بین رولر و گل، اسپیندل نیز شروع به چرخش می‌کند. سرعت چرخش اسپیندل در مقایسه با رولر کمتر است.
۲- پس از برش گل و قرار دادن در مرکز قالب گچی، فقط اسپیندل می‌چرخد و پس از تماس با گل، رولر نیز شروع به چرخش می‌کند.
۳- هم اسپیندل و هم رولر دارای موتور هستند که با سرعت‌های متفاوت و قابل تنظیم می‌چرخند.

نکته

رولر توسط منبع حرارتی (به صورت المنت در داخل آن یا مشعلی که کنار آن قرار دارد) گرم می‌شود تا گل به آن نچسبد. از طرف دیگر، برای جلوگیری از کاهش رطوبت سطح گل که در تماس با رولر است، قبل از شروع فرایند شکل‌دهی آب نیز اسپری می‌شود.

تحقیق کنید

دمای مناسب رولر هنگام شکل‌دهی باید چه میزان باشد؟ اگر دمای رولر از میزان مناسب برای شکل‌دهی کمتر یا بیشتر باشد، چه مشکلاتی ایجاد می‌شود؟

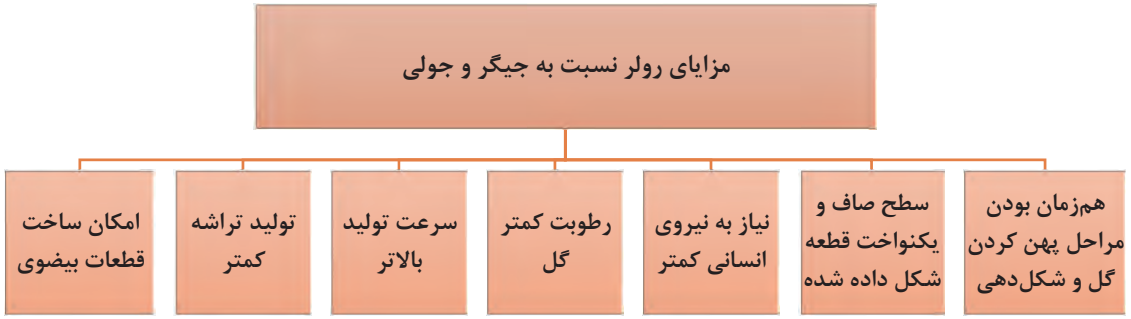
نمایش فیلم

نمایش فیلم شکل‌دهی قطعات مختلف با استفاده از دستگاه رولر

بازدید از کارخانه تولیدی که در آن قطعات با استفاده از روش رولر شکل داده می‌شود.

مزایای رولر نسبت به جیگرِ و جولی

مزایای روش رولر نسبت به جیگر وجولی عبارت‌اند از:



نمودار ۶

نکته

محدودیت این روش، ناتوانی در شکل‌دهی قطعات با اشکال پیچیده است.

فکر کنید

استحکام قطعات تولیدشده به روش جیگرِ و جولی و روش رولر را با یکدیگر مقایسه کنید.

ارزشیابی شایستگی شکل‌دهی به روش جیگر و جولی

شرح کار:
آماده کردن گل پلاستیک
نصب شابلون و راه‌اندازی دستگاه
شکل دادن قطعات به روش جیگر/ جولی رولر
پرداخت قطعات شکل داده شده

استاندارد عملکرد:
ساخت بدنه سرامیکی به روش جیگر و جولی با توجه به فرم، ابعاد و شکل بدنه

شاخص‌ها:
بررسی پارامتر تأثیرگذار در تهیهٔ گل پلاستیک
استفاده صحیح از تجهیزات مانند شابلون، تیغه برش و دستگاه جیگر و جولی
بررسی پارامترهای مؤثر بر شکل دادن قطعات با استفاده از روش جیگر/ جولی رولر

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه،دستگاه جیگر/ جولی رولر
ابزار و تجهیزات: دستگاه جِیگر و جولی، شابلون، گل‌پلاستیک، تیغهٔ برش، سیم برش، خشک‌کن، تجهیزات پرداخت، ترازو
تجهیزات ایمنی: لباس کار مناسب، ماسک تنفسی، دستکش کار،تجهیزات اطفای حریق

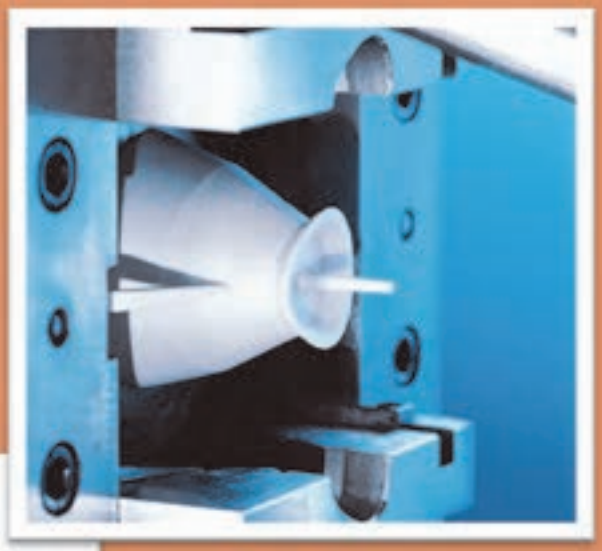
معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌کردن گل پلاستیک	۱	
۲	شکل دادن قطعات با جیگر/ جولی رولر	۲	
۳	بررسی عیوب و پرداخت قطعات	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی - مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست‌محیطی	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۵

شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی



یکی از روش‌های نوین شکل‌دهی سرامیک‌ها با روش گل پلاستیک، قالب‌گیری تزریقی است. با این روش می‌توان قطعاتی با ارزش و با خواصی منحصر به‌فرد تولید کرد. در این روش ابتدا آمیز آماده‌سازی و گرانوله شده و سپس با اعمال فشار آمیز درون قالب تزریق شده و شکل‌دهی می‌شود. بعد از خارج‌کردن قطعه از قالب چسب‌زدایی و در نهایت پخته می‌شود.

واحد یادگیری ۵
شایستگی شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی

شایستگی شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی و یادگیری مهارت آن :

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت شکل‌دادن گل پلاستیک با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی است. در حال حاضر این روش شکل‌دهی برای ساخت قطعات پیچیده، با دقت ابعادی بالا و دارای خواص ویژه و نیز در اندازه‌های خیلی کوچک تا بزرگ مناسب است.
آشنایی با دستگاه قالب‌گیری تزریقی و مکانیزم شکل‌دهی با این روش در این واحد یادگیری در نظرگرفته شده است.

استاندارد عملکرد:

آماده‌سازی آمیز و شکل‌دهی قطعه به روش قالب‌گیری تزریقی مطابق با فرمول بدنه

در شکل۱ مجموعه‌ای از محصولات سرامیکی نشان داده شده است.
به دقت به آنها نگاه کنید.
- آیا روش شکل‌دهی این قطعات را می‌توانید پیش‌بینی کنید؟

شکل۱- نمونه‌هایی از محصولات سرامیکی

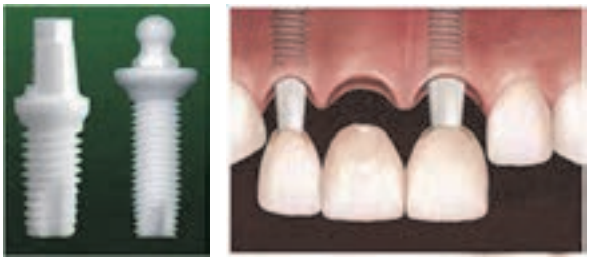
در صنعت نساجی برای تاباندن نخ از قطعاتی استفاده می‌شود که نمونهٔ آن در شکل۲ آورده شده است. ویژگی مهم این قطعات مقاومت زیاد آنها در برابر سایش است که این ویژگی با استفاده از قطعات سرامیکی فراهم شده است.

جستجو کنید

در شکل ۲ ابتدا قطعات سرامیکی مورد استفاده برای تاباندن نخ را مشخص کنید. سپس نمونهٔ آنها را از میان محصولات شکل ۱جستو جو کنید.

شکل ۲- قطعات سرامیکی مورد استفاده در تاباندن نخ

در شکل ۳ محصول سرامیکی دیگری نشان داده شده است که به عنوان کاربردی‌ترین قطعه در دندان‌پزشکی شناخته شده است.آیا نام این قطعه را می‌دانید؟



شکل ۳

در شکل ۴ یک چاقوی جراحی و در شکل ۵ یک انبرک از جنس زیرکونیا تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی آمده است.

شکل ۴

شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی

شکل ۵

در صنایع نفت و گاز نیز محصولات سرامیکی کاربردهای فراوانی دارند. به طور مثال در برج‌های تقطیر پکینگ‌های[۱] سرامیکی مورد استفاده قرار می‌گیردکه در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است.

شکل ۶- پکینگ‌های سرامیکی

شکل ۷- داخل یک برج در حال چیدن پکینگ‌های سرامیکی

فکر کنید

خواص و نقش پکینگ‌های سرامیکی در صنایع مختلف را بررسی کنید.

۱-packing

آیا می دانید

پکینگ‌های سرامیکی از جمله قطعات اصلی و ضروری برج‌های تقطیر هستند که مقاوت بالای اسیدی و حرارتی دارند و برای ایجاد سطح تماس بین دو فاز مایع و گاز و یا دو فاز مایع استفاده می‌شوند. این قطعات در واکنش‌ها شرکت نمی‌کنند، بلکه سطح و زمان تماس بین دو فاز را زیاد کرده و باعث افزایش راندمان واکنش‌ها می‌شوند. این پکینگ‌ها (پُرکن‌ها) در سه جنس استون ور، چینی و آلومینایی ساخته می‌شوند و درصنایعی نظیر نفت، گاز، پتروشیمی، تغلیظ اسید، صنایع قند و شکر و نوشابه‌سازی کاربرد وسیعی دارند.

شکل‌هایی از پکینگ‌های سرامیکی در زیر نشان داده‌شده‌است.

لانه زنبوری — استوانه پرّه‌دار — استوانه‌ای — زین اسبی

قالب‌گیری تزریقی

تولید سرامیک‌ها با روش شکل‌دهی قالب‌گیری تزریقی نسبت به سایر روش‌ها رشد بیشتری داشته و قطعات با ارزش‌تری با این روش تولیدشده است و بازار تولید سرامیک‌های پیشرفته با استفاده از این روش شکل‌دهی، روزبه‌روز در حال رشد است.

قطعات سرامیکی تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی می‌توانند ویژگی مکانیکی عالی با وزن مخصوص کم داشته باشند. این محصولات برای ساخت قطعات متحرک اتومبیل‌ها، قطارها، صنایع هوافضا و دینام‌ها (به‌ویژه قطعات موتور) بسیار مناسب هستند. همچنین از این سرامیک‌ها در قطعات الکتریکی (دی‌الکتریک‌ها، عایق‌ها، مقرّه‌ها، پیزوالکتریک‌ها، ابررساناها) مغناطیس‌ها و قطعات و ابزار پزشکی می‌توان استفاده کرد.

در انتخاب روش مناسب برای تولید محصولات سرامیکی پیشرفته باید به دو نکته توجه کرد:

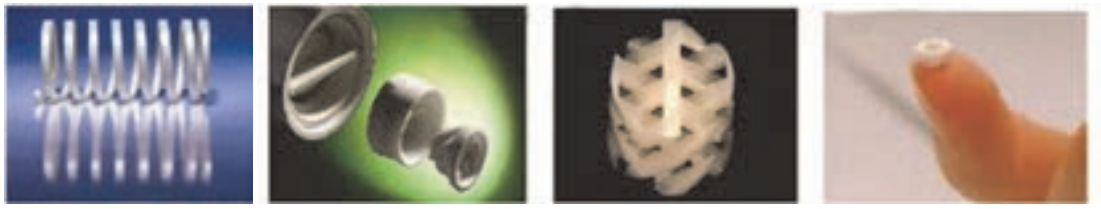
۱- پیچیدگی قطعه

۲- تعداد قطعهٔ مورد نیاز

شکل۸ - میزان تولید و پیچیدگی قطعات بر اساس روش شکل‌دهی

شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی

همان‌طور که در شکل ۸ می‌بینید، برای تولید محصولات با پیچیدگی بالا و در تعداد زیاد، روش قالب‌گیری تزریقی کاربرد بیشتری دارد. در شکل ۹ انواع محصولات سرامیکی با ویژگی‌های منحصربه‌فرد تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی آورده‌شده است.



انعطاف پذیری | ابعاد خیلی کوچک (میکرو) | پیچیدگی | سختی بالا

شکل۹ – انواع محصولات قالب‌گیری تزریقی با ویژگی های منحصر به فرد

در جدول۱ مقایسه دیسک قهوه‌ساب صنعتی فلزی و سرامیکی تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی نشان داده شده است.

جدول ۱- مقایسه دیسک قهوه ساب فلزی و سرامیکی

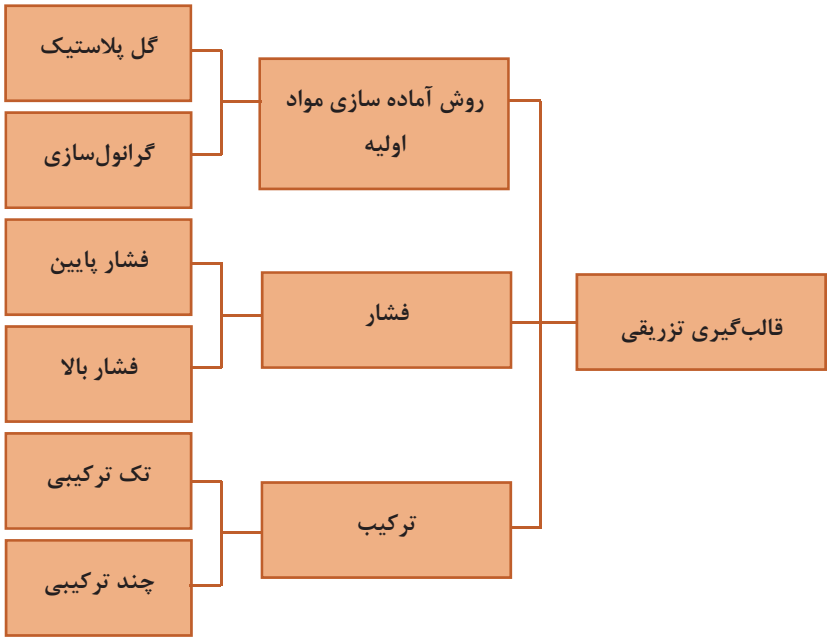
جنس	ویژگی	شکل
فلزی	- فرایند تولید طولانی شامل ریخته‌گری، ماشین‌کاری، سخت‌کاری و سنگ‌زنی - هزینه بالا - کاهش عملکرد دیسک در حین فرایند سخت‌کاری	
سرامیکی	- جایگزینی فلز توسط سرامیک تولیدی به روش قالب‌های تزریقی - طول عمر بالاتر قطعه به دلیل سختی بالا - خواص بهتر سنگ‌زنی - مقاومت در برابر مواد شیمیایی	

تحقیق کنید

مانند جدول بالا، دو نوع محصول فلزی و سرامیکی دیگر را با یکدیگر مقایسه کنید.

قالب‌گیری تزریقی

فرایند تولید به روش قالب‌گیری تزریقی بر اساس روش آماده‌سازی مواد اولیه، میزان فشار و ترکیب به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شود.



نمودار ۱- تقسیم‌بندی فرایند تولید به روش قالب‌گیری تزریقی

الف)روش آماده‌سازی مواد اولیه

گل پلاستیک : مخلوطی از مواد اولیهٔ بدنه با افزودنی‌هایی مانند آب و روان‌ساز آماده می‌شود.

گرانول‌سازی(PIM[۱]) :مخلوطی از پودر سرامیکی با افزودنی‌هایی مانند حلّال، چسب و روان‌کننده‌های آلی بدست می‌آید.

نکته: گرانول از بهم چسبیده شدن ذرات پودر به وجود می‌آیند.

ب) فشار

۱- فشار پایین(LPIM[۲]): مقدار فشار تزریق‌شده به گل بین ۰/۲ الی ۵ مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود که بر اساس میزان پلاستیسیتهٔ گل، شکل قطعه مورد نظر از لحاظ سادگی و یا پیچیدگی، اندازه و ضخامت قطعه میزان فشار تغییر می‌کند.

۲ - فشار بالا (HPIM[۳]): مقدار فشار تزریق‌شده به گل بیش از ۵ مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود، درصورت کم بودن پلاستیسیتهٔ گل یا گرانول، پیچیدگی شکل هندسی قطعه و حتی بر حسب شرایط دستگاه، مقدار فشار تزریق شده تغییر می‌کند.

۱-Powder injection molding
۲-Low Pressure injection molding
۳-High Pressure injection molding

ج) ترکیب:

۱- تک‌ترکیبی

در این روش گل از یک ترکیب تهیه شده و به داخل قالب تزریق می‌شود و کل قطعه ویژگی یکسانی دارد.

شکل ۱۰- قطعه تک ترکیبی

۲- چندترکیبی

در این روش گل با چند ترکیب متفاوت تهیه شده و سپس باتوجه به خواص محصول موردنظر به‌صورت جداگانه تزریق می‌شود.

گاهی دو یا چند ترکیب هم‌زمان درقالب تزریق می‌شوند.

امروزه با رشد سریع علم و فناوری نیاز به قطعات با چند ویژگی وجود دارد به همین دلیل، روش دو یا چندترکیبی نسبت به روش تک‌ترکیبی در قالب‌گیری تزریقی رشد سریع‌تری داشته است.

استفاده از این روش امکان تولید محصولاتی را فراهم می‌آورد که دارای ویژگی و رفتارهای متفاوتی باشد. به طور مثال، قطعاتی با قسمت‌های رنگی متفاوت، رسانا- نارسانای الکتریکی، مغناطیسی ـ غیرمغناطیسی، عایق حرارتی- هادی حرارت تولید می‌شود.

در روش چندترکیبی می‌توان قطعاتی از سرامیک - فلز و سرامیک- پلیمر را نیز تولید کرد.

شکل ۱۱- قطعه دو ترکیبی

تحقیق کنید

تصویر و مشخصات چند محصول سرامیکی دو یا چندترکیبی تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی را بیابید و در کلاس ارائه دهید.

آیا می دانید

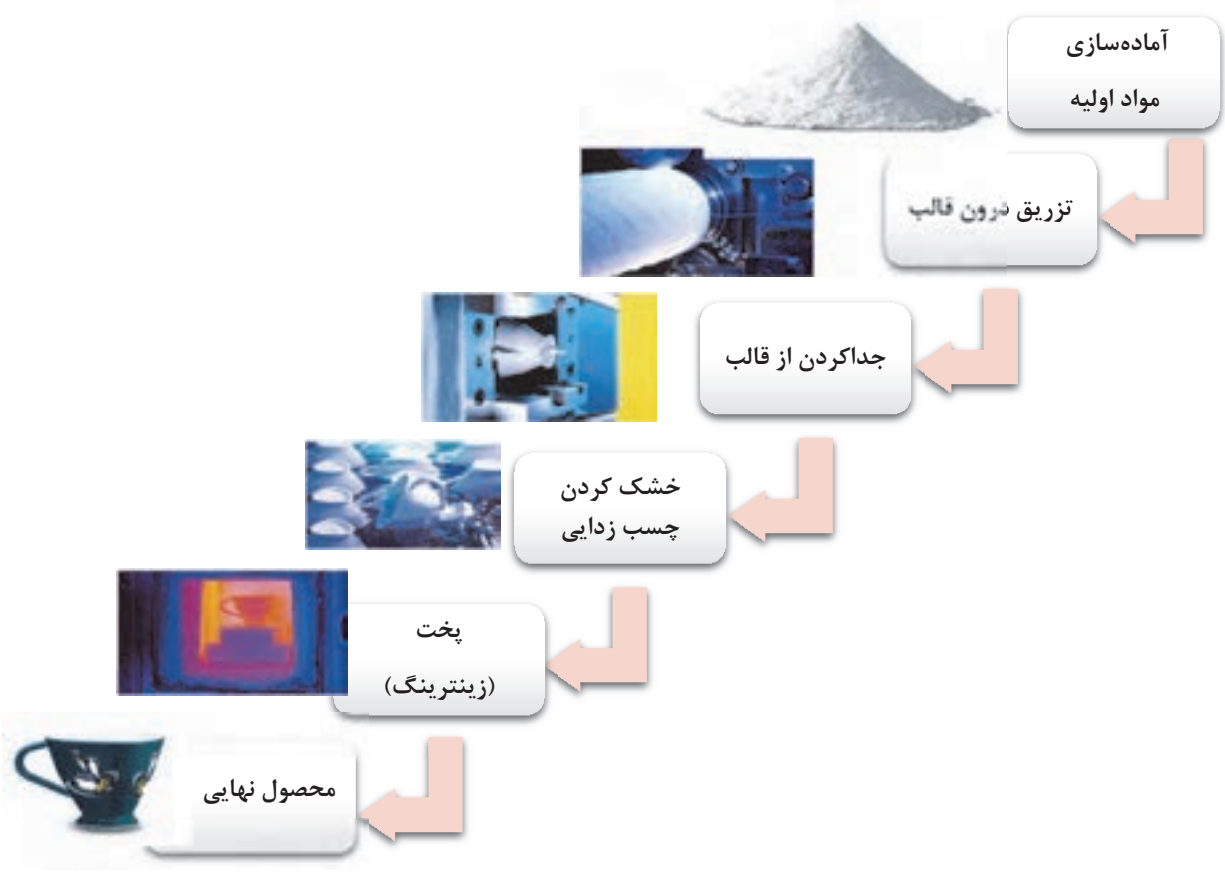
تولید میکروسازه به روش قالب‌گیری تزریقی

با استفاده از روش شکل‌دهی تزریقی می‌توان قطعاتی با اندازهٔ نسبتاً ریز تولیدکرد. این قطعات میکروسازه و این روش، قالب‌گیری میکرو نامیده می‌شوند. این روش برای شکل‌دهی محصولات بسیار ریز و دقیق (با قسمت هایی مانند سوراخ‌ها، دندانه‌ها و یا زوایای بسیار ظریف و خان درون پیچ‌ها) کاربرد دارد.

شکل ۱۲- میکروسازه‌های سرامیکی تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی

از میکروسازه‌ها درصنایع مختلف مانند رایانه، مخابرات، بیوسرامیک‌ها و میکروسنسورها استفاده می‌شود که قابلیت استفاده در محیط‌های خاص و دشوار حرارتی، شیمیایی و الکتریکی را دارد، در حالی که از موادی نظیر فلزات و پلاستیک‌ها نمی‌توان استفاده کرد.

شکل ۱۳- میکروسازه‌ای به وزن ۰/۰۰۲۲ گرم مورد استفاده درسمعک



شکل ۱۴: فرایند ساخت در روش قالب‌گیری تزریقی

۱-آماده‌سازی مواد اولیه

همان‌طور که گفته‌شد، مراحل تولید سرامیک‌ها به روش قالب‌گیری تزریقی بر مبنای روش آماده‌سازی مواد اولیه به دو گروه تقسیم می‌شوند:

الف)گل پلاستیک

در فرایند آماده‌سازی گل پلاستیک، ابتدا با درصد معین آب، خاک و روان‌ساز به کمک بالمیل دوغاب ایده‌آل تهیه می‌شود. سپس به کمک دستگاه فیلترپرس دوغاب به گلی با میزان معین رطوبت تبدیل می‌شود. آنگاه گل را در مخلوط‌کن دارای پرّه‌های سیگماشکل به مدت نسبتاً طولانی مخلوط می‌کنیم و ورز می‌دهیم.

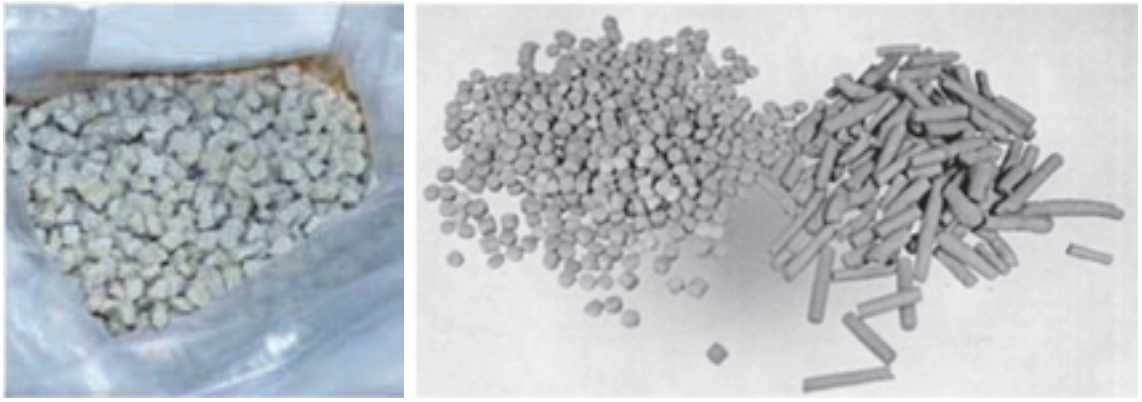
در مدت زمان مخلوط کردن و ورز دادن علاوه بر ایجاد همگنی در گل، تنش‌های سطحی نیز کم می‌شود. مخلوط‌کن‌های سیگمایی مورد استفاده در این مرحله به صورت تک یا دومحوره هستند.

الف) تک‌محور

ب) دومحور

شکل ۱۵- انواع مخلوط‌کن سیگمایی

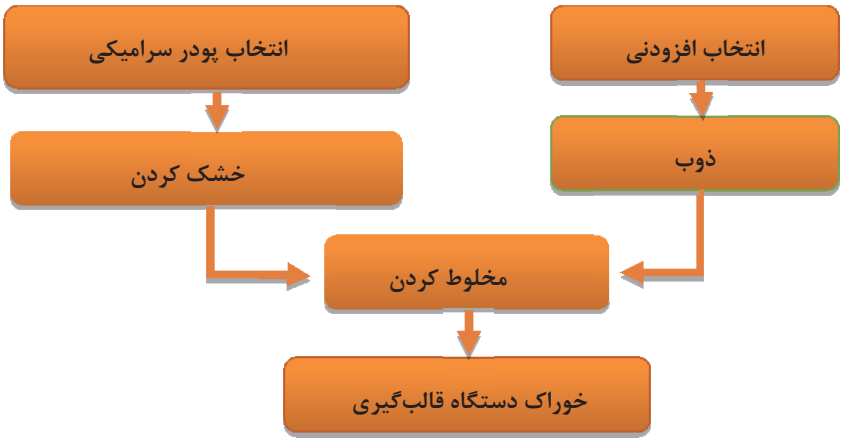
در نهایت گل‌ها به کمک دستگاه اکسترودر کاملا هواگیری می‌شوند و به صورت متراکم درمی‌آیند و متناسب با دستگاه شکل‌دهی و خروجی اکسترودر به‌صورت استوانه‌ای یا گندله یا گرانول خارج می‌شوند. در این مرحله، گل‌ها آمادهٔ تزریق به دستگاه قالب‌گیری هستند.(شکل ۱۶)



شکل ۱۶

ب) گرانول‌سازی

در فرایند گرانول‌سازی، پودر سرامیکی با افزودنی‌هایی مانند چسب، حلّال و روان‌کنندهٔ آلی در دستگاه مخلوط‌کن سیگمایی ریخته می‌شود. در مخلوط‌کن پودر سرامیکی با افزودنی‌ها به صورت ترکیب یک‌نواخت و همگن درمی‌آید و گرانول سردشده خارج می‌شود. در نمودار ۲ فرایند گرانول‌سازی آورده شده است.



نمودار ۲

نکته

مواد افزودنی در این فرایند جزء مواد ترموپلاست محسوب می‌شوند، یعنی این مواد برای ایجاد خاصیت پلاستیسیته باید ذوب شوند. در جدول ۲ چند افزودنی رایج مورد استفاده در روش تزریقی آورده شده است.

جدول ۲- چسب‌ها و مواد افزودنی کاربردی برای روش قالب‌گیری تزریقی

چسب اصلی	چسب جزئی	پلاستی‌سایزر	دیگر افزودنی‌ها
پلی پروپیلن	واکس ریز بلور	دی متیل فتالات	استئاریک اسید
پلی اتیلن	واکس پارافین	دی اتیل فتالات	اولئیک اسید
پلی استر	واکس کانابا	دی بوتیل فتالات	روغن ماهی
پلی ونیل استات		دی اکتی فتالات	ارگانوسیلان
پلی متیل متااکریلات			ارگانو تیتانات

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱- آماده‌سازی آمیز بدنه آلومینایی

مواد و ابزار: همزن، ترازوی آزمایشگاهی، ظرف با اندازهٔ متوسط،کاردک، استوانهٔمدرج، پودر آلومینا، پلی پروپیلن، واکس پارافین، استئاریک اسید

شرح فعالیت:

۱- آمیز زیر را با کمک ترازو وزن کنید.

ماده اولیه	درصد
پودر آلومینا	۸۲
پلی پروپیلن	۸
واکس پارافین	۸
استئاریک اسید	۲

۲-آمیز را درون مخلوط‌کن بریزید.

۳-فرصت دهید تا به مدت ۲۰ دقیقه مواد درون مخلوط کن به خوبی مخلوط شوند.

۴-آمیز خارج‌شده از مخلوط‌کن را درون ظرف دردار ریخته تا در فعالیت عملی بعدی مورد استفاده قرار داده شود.

فعالیت کلاسی

در جدول۳ چند ویژگی برای چسب‌های مورد استفاده در آمیز آورده شده است. با گفت‌وگو با هم‌کلاسی‌ها این جدول را تکمیل کنید.

جدول ۳

ردیف	ویژگی
۱	خواص شکل‌پذیری‌آمیز برای تزریق را افزایش دهد.
۲	باعث یکنواختی آمیزشود (باعث جدایش نشود).
۳	از چسبیدن قطعه شکل‌گرفته به قالب جلوگیری کند.
۴	قبل از پخت چسب به طور کامل از قطعه خارج شود.
۵	با آمیز واکنش مخرب نداشته باشد.
۶	تغییرات ابعادی و حجمی قطعه حداقل باشد.
۷	.....
۸	.....
۹	.....

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: آماده‌سازی آمیز پکینگ زین اسبی

مواد و ابزار: همزن، ترازوی آزمایشگاهی، ظرف با اندازهٔ متوسط، کاردک، استوانهٔ‌مدرج، کائولن، بال‌کلی، فلدسپات، سیلیس

۱- با استفاده از خاک‌های موجود در کارگاه آمیزی مناسب با فرمول بدنه‌های استون‌وری مطابق زیر آماده کنید.

ماده اولیه	درصد
کانی‌های رسی	۶۰ – ۴۰ درصد
فلدسپات	۳۰-۲۵ درصد
کوارتز	۳۰-۲۵ درصد

۲-آمیز را درون مخلوط‌کن ریخته و ۲۵- ۲۰ درصد آب به آن اضافه کنید.

۳-آمیز گرانول‌شده توسط مخلوط‌کن را درون یک ظرف دربسته ریخته و تا زمان ریختن داخل دستگاه قالب‌گیری تزریقی نگه‌داری کنید.

نکته ایمنی

درمدت زمانی که مخلوط‌کن روشن است از باز کردن در مخلوط‌کن خودداری کنید.

۲ـ شکل دادن

در روش قالب‌گیری تزریقی لازم است که از دستگاه‌های خاصی استفاده شود، در نتیجه شناخت اجزای دستگاه، قالب و روش تزریق لازم و ضروری است.

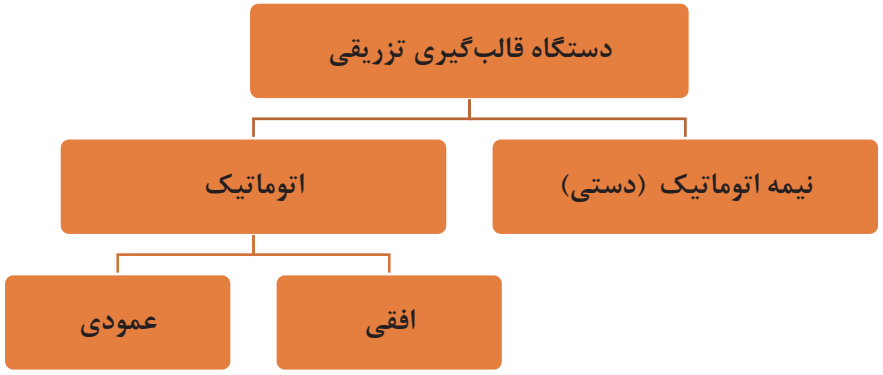
دستگاه قالب‌گیری تزریقی

تجهیزات و شکل ظاهری دستگاه در این روش شباهت زیادی به دستگاه‌های صنایع تولید قطعات پلاستیک دارد.

شکل ۱۷- دستگاه قالب‌گیری تزریقی

در این دستگاه، آمیز بعد از ورود از طریق قیف تغذیه با فشار پیستون به درون قالب تزریق می‌شود و قطعه در داخل قالب شکل می‌گیرد.

در نمودار ۳ دستگاه‌های شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی در دو نوع نیمه‌اتوماتیک (دستی) و اتوماتیک نشان داده شده است.



نمودار ۳- معرفی انواع دستگاه‌های قالب‌گیری تزریقی

۱- نیمه‌اتوماتیک(دستی)

در این دستگاه باید قالب بر روی دستگاه نصب شود و پس از تزریق گل درون دستگاه و شکل گرفتن گل، دوباره قالب از دستگاه جدا شده و قطعه خارج شود.

شکل ۱۸- دستگاه نیمه‌اتوماتیک (دستی) قالب‌گیری تزریقی

۲- اتوماتیک

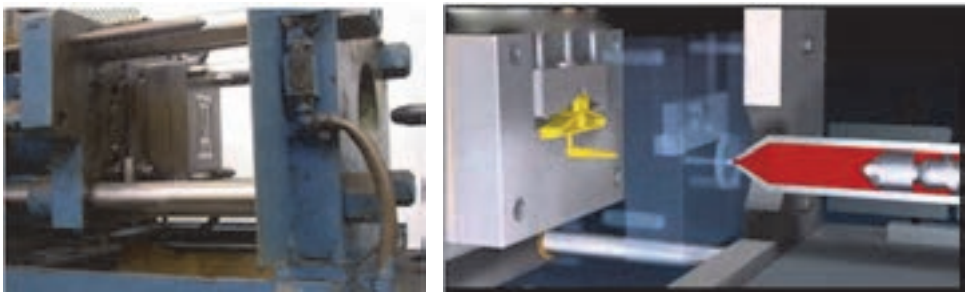
در این نوع دستگاه تمامی مراحل به‌صورت متوالی انجام می‌پذیرد که به شکل‌های افقی و عمودی وجود دارند.

الف) افقی ب) عمودی

شکل ۱۹- دستگاه قالب‌گیری تزریقی اتوماتیک

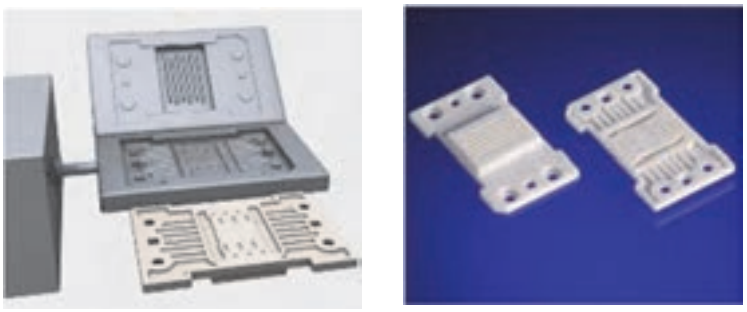
قالب‌ها :

با توجه به اینکه مواد سرامیکی سختی بالایی دارند، جنس قالب باید از فولاد، آلیاژهایی با سختی بالا یا سرامیک‌های سخت انتخاب شود. همچنین قالب باید در مقابل زنگ‌زدگی مقاوم باشد .در شکل ۲۰ قالب تحت فشار و تزریق را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰- قالب تحت فشار و تزریق

در شکل زیر قالب و قطعه سرامیکی ساخته‌شده از آن نشان داده شده است.



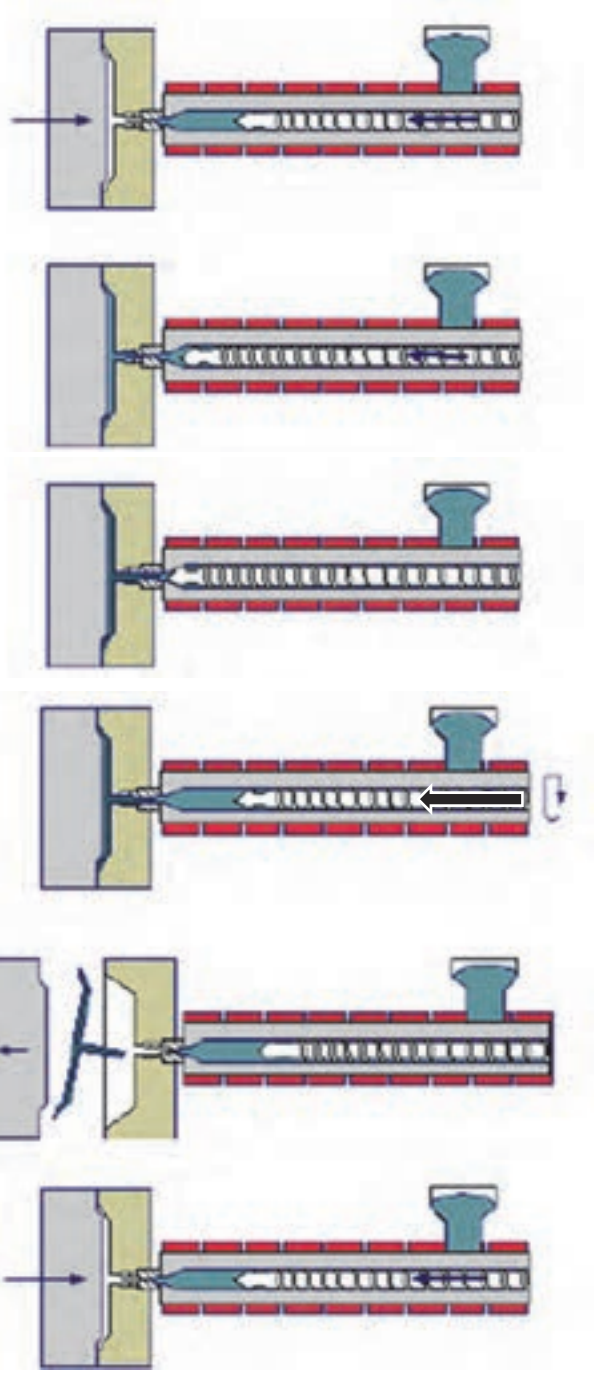
شکل ۲۱- قطعه شکل‌دهی شده با قالب

تحقیق کنید

تصاویر انواع دستگاه‌ها و قالب‌های مورد استفاده در قالب‌گیری تزریقی را از منابع موجود جمع‌آوری کنید. آیا از قالب‌هایی با جنس دیگر می‌توان استفاده کرد؟

شکل ۲۲- قیچی سرامیکی(آلومینا) شکل‌دهی شده به روش قالب‌گیری تزریقی

مراحل شکل‌دهی توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



۱- قالب بسته‌شده و حلزونی برای تزریق به جلو حرکت می‌کند.

۲- چرخش حلزونی آمیز را به داخل قالب تزریق می‌کند.

۳- قالب به صورت کامل پر می‌شود.

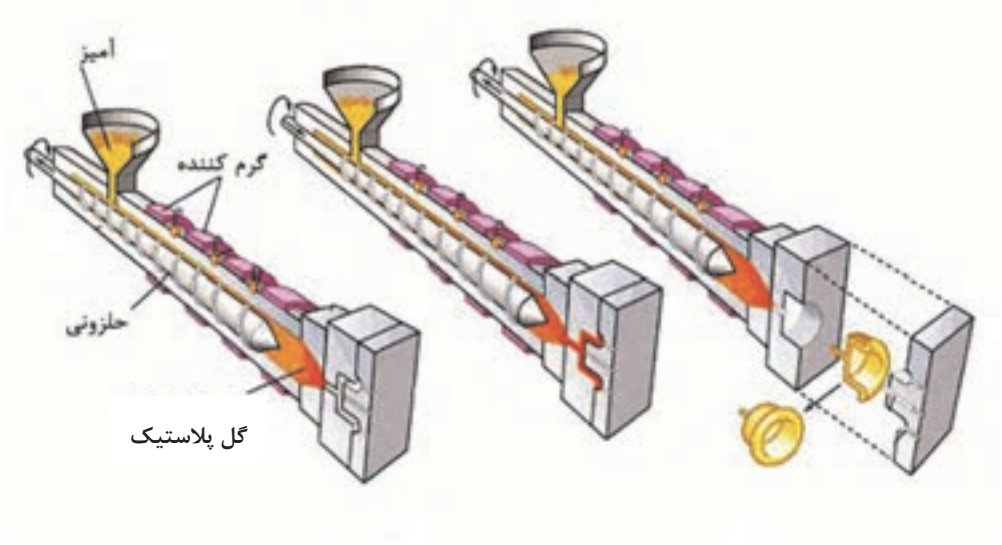
۴- تزریق و شکل‌گیری قطعه کامل می‌شود.

۵- قالب باز شده و قطعه خارج می‌شود.

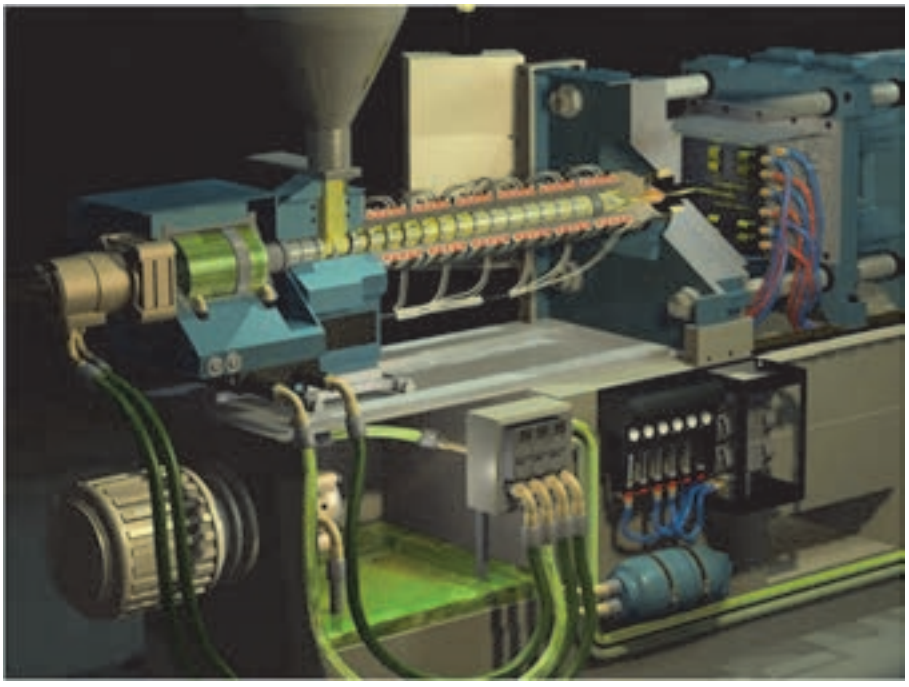
۶- قالب مجدداً بسته می‌شود تا تزریق دوباره انجام گیرد.

شکل ۲۳

در روش قالب‌گیری تزریقی از مواد گرمانرم(ترموپلاستیک) برای شکل‌پذیری ترکیب استفاده می‌کنند (مانند موم پارافین، پلی پروپیلن، پلی اتیلن). این مواد در دستگاه تزریق‌شده توسط گرمای المنت ذوب می‌شود و ضمن ایجاد پلاستیسیته و قابلیت شکل‌پذیری نقش چسب را نیز انجام می‌دهند. درنهایت، زمانی که قطعه سرد می‌شود، شکل و انسجام اولیه را خواهد داشت.



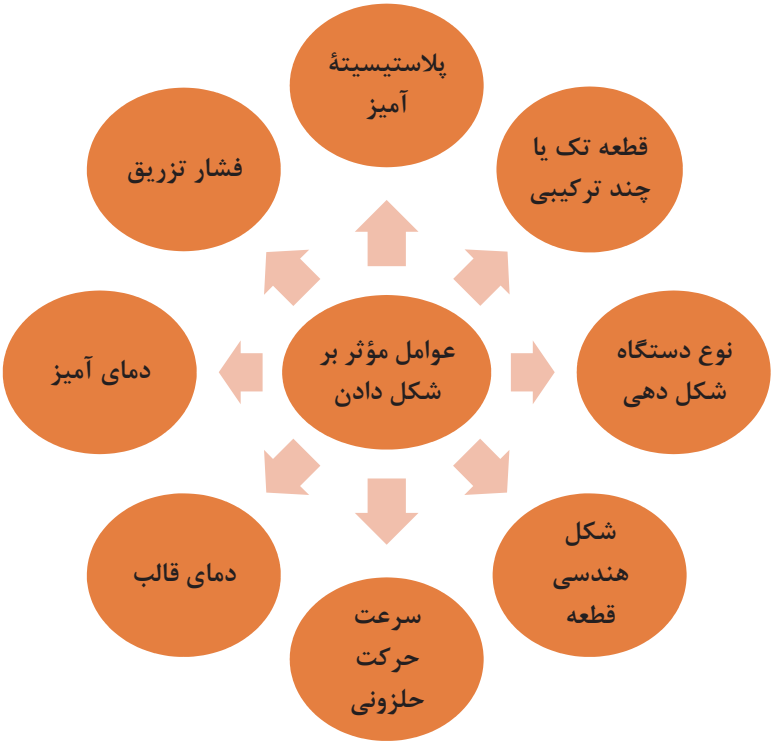
شکل ۲۴- شکل‌گیری قطعه به روش قالب‌گیری تزریقی



شکل ۲۵- دستگاه قالب‌گیری تزریقی

شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی

در نمودار ۴ عوامل مؤثر بر شکل دادن قطعه در فرایند شکل‌دهی توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی آورده شده است.



نمودار ۴- عوامل مؤثر بر شکل‌دهی در روش قالب‌گیری تزریقی

تحقیق کنید

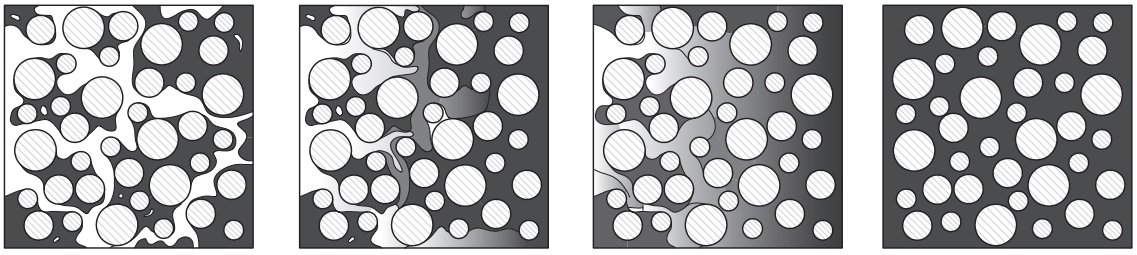
تأثیر برخی از عوامل مؤثر بر شکل دادن قطعه در روش قالب‌گیری تزریقی را بررسی کنید.

۳- خشک کردن و چسب‌زدایی

در صورت استفاده از آب در فرایند آماده‌سازی مواد اولیه لازم است که از خشک‌کن استفاده شود.

شکل ۲۶- خشک‌کن

با توجه به اینکه در روش قالب‌گیری تزریقی استفاده از چسب‌ها و افزودنی‌های آلی دیگر مانند پلاستی‌سایزرها رایج است، باید فرایند حذف چسب(چسب زدایی) استفاده شود.
حذف چسب یا چسب‌زدایی مرحله بحرانی در فرایند ساخت سرامیک‌ها است. چسب‌ها باید به طور کامل بدون از هم‌گسیختگی بدنه و ایجاد هرگونه عیب از بدنه حذف گردند.
برای چسب‌زدایی دو روش زیر به کار می‌رود:
۱- خارج‌کردن چسب با حلّال
۲- خارج‌کردن چسب با کمک حرارت
خارج‌کردن چسب با کمک حلّال: به طور معمول در این روش از چند چسب استفاده می‌شود و هر یک از آنها دارای حلّالیت و دمای تجزیه شدن متفاوت هستند. وقتی یک قطعه داخل یک حلّال قرار می‌گیرد، یک جزء از دو جزء چسب توسط حلال از قطعه خارج می‌شود و ساختاری با تخلخل به جا می‌گذارد و قطعه برای سوختن چسب بعدی آماده می‌شود.



شکل ۲۷- مراحل خارج کردن چسب با کمک حلّال

خارج کردن چسب با حرارت

در این روش از طریق حرارت‌دهی چسب‌تجزیه شده و به شکل بخار از بدنه خارج می‌شود.
در شکل ۲۸ دستگاهی نشان داده شده است که عملیات خشک‌کردن، چسب‌زدایی و پیش‌پخت را انجام می‌دهد.

شکل ۲۸

چسب‌زدایی حرارتی در سه مرحله انجام می‌شود:

۱- چسب در دمای ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت داده می‌شود و به نقطه نرم شدن می‌رسد. تجزیهٔ شیمیایی و حذف چسب در این مرحله ناچیز است.

۲- از دمای ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس اکثر چسب‌ها تجزیه و تبخیر می‌شوند.

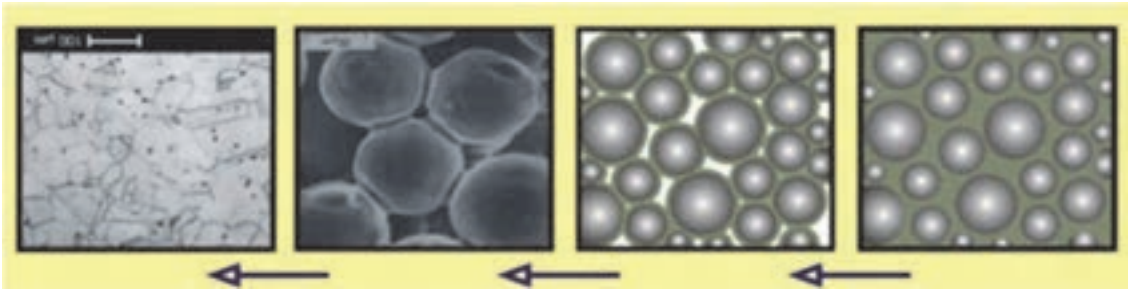
۳- چسب کمی در بدنه باقی می‌ماندکه از طریق تبخیروتجزیه‌دردمای بالای ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس از بدنه خارج می‌شود.

شکل ۲۹- پخت قطعه تولید شده به روش قالبگیری تزریقی

پخت (زینترکردن)

مرحله پایانی فرایند قالب‌گیری تزریقی، پخت است. در این مرحله تمام ناخالصی‌های موجود از قطعه خارج شده و قطعه ضمن تراکم یافتن، منقبض می‌شود و استحکام نهایی خود را پیدا می‌کند.

قطعه خام　　قطعه چسب‌زدایی شده　　قطعه پخته و زینتر شده



شکل ۳۰- مراحل پخت و تراکم قطعه

تحقیق کنید

با توجه به تصویر بالا، در مورد تفاوت های بین قطعه خام و پخته‌شده تحقیق کنید.

شکل ۳۱- کورهٔ پخت

مزایا و معایب روش شکل‌دهی قالب‌های ترزیقی

جدول۴- مزایا و معایب روش قالب‌گیری تزریقی

مزایا/معایب	توضیحات
مزایا	۱- ساخت قطعات سرامیکی با اشکال خیلی پیچیده
	۲- امکان تولید اقتصادی و مقرون به‌صرفه برای محصولات دقیق و با کاربرد خاص
	۳- یکنواختی خواص محصولات
	۴- تولید محصولات باکیفیت سطح عالی
	۵- امکان تولید قطعات با اندازه‌های مختلف
	۶- افزایش راندمان تولید
	۷- تولید محصولات با خواص مطلوب
	۸- امکان تولید قطعات با ترکیب‌های مختلف
معایب	۱- بالا بودن هزینهٔ تولید مادهٔ اولیه(پودر)
	۲- چرخه تولید چند مرحله‌ای(فرایند تولید چند مرحله‌ای)

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی

مواد اولیهٔ تهیه‌شده در فعالیت ۱ و ۲ را به کمک دستگاه قالب‌گیری تزریقی شکل‌دهی کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴- ساخت بدنه آلومینایی

مواد و ابزار: ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم، الک مش ۲۰۰، استوانهٔ مدرج، همزن دستی و یا برقی، مخلوط‌کن، دستگاه تزریقی، خشک‌کن آزمایشگاهی، کوره

مواد اولیه مورد نیاز: آلومینا با خلوص ۹۹/۵، منیزیم اکسید، پلی اتیلن سبک، واکس پارافین، واکس کارابانا، موم نخل، قیر، استئاریک اسید

شرح فعالیت:

۱-ترکیب زیر را برای ساخت بدنه آلومینایی به روش قالب‌گیری تزریقی انتخاب کنید.

ترکیب	درصد حجمی آمیز	اجزا	درصد
پودر سرامیکی	۵۵	آلومینا با خلوص ۹۹/۵	۹۹/۹۰
		منیزیم اکسید	۰/۲۵
چسب	۴۵	پلی اتیلن سبک	۳۳
		واکس پارافین	۳۳
		واکس کارابانا	۲۰
		موم نخل	۹
		قیر	۳
		استئاریک اسید	۲

۲- پودر سرامیکی در دمای ۱۲۰ درجهٔ سلسیوس خشک شود و از الک با مش ۲۰۰ عبور داده شود.

۳- چسب و پودر سرامیکی را با کمک مخلوط‌کن گرانول کنید.

۴- ترکیبی با فشار ۰/۷ مگاپاسگال شکل دهید.

۵- قطعه شکل داده‌شده در دمای ۴۵ درجهٔ سلسیوس را چسب‌زدایی کنید.

۶- قطعه را به کمک کوره و در دمای ۱۶۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت دهید و کوره را به صورتی تنظیم کنید که هر یک ساعت ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس افزایش دما داشته باشد.

نکته ایمنی

۱- مواظب باشید روان سازها وچسب‌ها با پوست شما تماس نداشته باشند، چون ممکن است باعث بروز بیماری‌های پوستی شود.

۲- بعضی از چسب‌ها قابلیت احتراق دارند، نزدیک شعله و محیط داغ نگهداری نکنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: ساخت یک قطعهٔ تزیینی (پریان) به روش قالب‌گیری تزریقی

مواد و ابزار: ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم، الک مش ۲۰۰، استوانهٔ مدرج، همزن دستی و یا برقی، مخلوط‌کن، دستگاه تزریقی، خشک‌کن آزمایشگاهی، کوره، فلدسپات، کائولن، کوارتز و سدیم سیلیکات

شرح فعالیت:

۱-آمیز زیر را برای ساخت یک مجسمه پریانی به روش قالب‌گیری تزریقی وزن کنید.

ترکیب	درصد اجزا	اجزا	درصد
آمیز	۷۰-۸۰	فلدسپات	۶۵-۷۵
		کائولن	۱۰-۲۰
		کوارتز	۱۰-۲۰
آب	۲۰-۳۰		
روان‌ساز	۰/۲۵- ۰/۳۵	سدیم سیلیکات	۰/۲-۰/۳۵

۲- خاک‌ها را از الک با مش ۲۰۰ عبور دهید.

۳- روان‌ساز سدیم سیلیکات را در آب نیمه‌گرم حل کنید.

۴- خاک‌ها را درون محلول حاوی آب و روان‌ساز بریزید.

۵- آمیز را با همزن به‌خوبی هم بزنید.

۶- حداقل به مدت ۲۴ ساعت بگذارید آمیز بماند(اگر زمان ماندن بیشتر باشد، عملیات شکل‌دهی بهتر انجام می‌شود).

۷- با قالب تزریقی شکل دهی را انجام دهید.

۸- قطعه خارج شده از قالب درون خشک‌کن با دمای ۵۵-۴۵ درجهٔ سلسیوس قرار داده شود.

۹- قطعه را در محدودهٔ دمایی ۱۲۵۰-۱۱۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید.

نکته

در صورتی که قطعه پس از خارج کردن از قالب نیاز به پرداخت داشت، پرداخت گردد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶ : ساخت یک قطعه الکتریکی به روش قالب‌گیری تزریقی

مواد و ابزار: ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم، الک مش ۲۰۰، استوانهٔ مدرج، همزن دستی و یا برقی، مخلوط‌کن، دستگاه تزریقی، خشک‌کن آزمایشگاهی، کوره، فلدسپات، کائولن، کوارتز، سدیم سیلیکات

شرح فعالیت:

۱- آمیز زیر را برای ساخت یک قطعه الکتریکی به روش قالبگیری تزریقی وزن کنید.

ترکیب	درصد اجزا	اجزا	درصد
آمیز	۷۰- ۸۰	فلدسپات	۲۵- ۳۵
		کائولن	۳۰-۵۰
		کوارتز	۲۵- ۳۵
آب	۲۰- ۳۰		
روان‌ساز	۰/۲۵- ۰/۳۵	سدیم سیلیکات	۰/۲-۰/۳۵

۲- خاک‌ها را از الک با مش ۲۰۰ عبور دهید.

۳- روان‌ساز سدیم سیلیکات را در آب ولرم حل کنید.

۴- خاک‌ها را درون محلول حاوی آب و روانساز بریزید.

۵- آمیز را با همزن به‌خوبی هم بزنید.

۶- حداقل به مدت ۲۴ ساعت بگذارید آمیز بماند (اگر زمان ماندن بیشتر باشد عملیات شکل‌دهی بهتر انجام می‌شود).

۷- با قالب تزریقی شکل‌دهی را انجام دهید.

۸- قطعهٔ خارج شده از قالب درون خشک کن با دمای ۵۵-۴۵ درجهٔ سلسیوس قرار داده شود.

۹- قطعه را در محدودهٔ دمایی ۱۲۵۰-۱۱۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید.

ارزشیابی شایستگی شکل‌دهی به روش قالب‌گیری تزریقی

شرح کار:

آماده‌سازی آمیز

شکل دادن قطعات به روش قالب‌گیری تزریقی

انواع دستگاه قالب‌گیری تزریقی

معایب و مزایای روش قالب‌گیری تزریقی

استاندارد عملکرد:

آماده‌سازی آمیز و تولید قطعه به روش قالب‌گیری تزریقی مطابق با فرمول بدنه

شاخص‌ها:

کار با دستگاه قالب‌گیری تزریقی و تولید قطعهٔ بدون عیب

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط:

فضای مناسب و عاری از آلودگی جهت نگهداری دستگاه قالبگیری تزریقی ـ کارگاه استاندارد ـ رعایت تمامی نکات ایمنی

ابزار و تجهیزات:

دستگاه قالب‌گیری تزریقی، ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم، الک با مش ۲۰۰، استوانه مدرج، مخلوط‌کن، خشک کن آزمایشگاهی، کوره

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده کردن آمیز	۱	
۲	شکل دادن قطعات با قالب‌گیری تزریقی	۲	
۳	کنترل نهایی	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت- لباس کار و کفش ایمنی مسئولیت‌پذیری- رعایت موارد زیست محیطی	۲	
	میانگین نمرات		*

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

منابع

۱ـ برنامه درسی تولید سرامیک به روش پلاستیک، رشته سرامیک (۱۳۹۴) ـ سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی ـ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۲ـ بنگیسو، مورات. ترجمهٔ محمد ابراهیم ابراهیمی، سرامیک‌های مهندسی، نشر دانش‌پویان جوان.

۳ـ تشکری، شعبانعلی. چینی الکتریکی، نشر تحقیقات منابع سرامیک ایران.

۴ـ پایدار، حسین (۱۳۸۷). تکنولوژی فراورده‌های چینی، نشر دانشگاه آزاد اسلامی شهر مجلسی.

۵ـ سرپولکی، حسین (۱۳۹۳). شکل دادن و پخت سرامیک‌ها، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۶ـ صلاحی، اسماعیل (۱۳۸۷). غفاری، مهران. نعمتی، حمیدرضا. آشنایی با تئوری و تکنولوژی ساخت پرسلان‌ها، نشر روزبهان.

۷ـ قصاعی، حسین(۱۳۹۲). آزمایشگاه مواد اولیه سرامیک، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۸ ـ کشمیری، مهرداد (۱۳۹۰). مواد اولیه سرامیک، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۹ـ کلانتر، مهدی (۱۳۸۷). سرامیک‌های سازه‌ای دما بالا، نشر دانشگاه یزد.

۱۰ـ متین، مهران. رحیمی، افسون (۱۳۹۳). تکنولوژی سرامیک‌های ظریف، نشر شرکت سهامی انتشار.

11. Handle, F. Extrusion in ceramics, Springer, 2009.

12. King, A.G. Ceramic Technology and Process, Noyes Publications, 2002.

13. Shackelford, J.F. Ceramic and glass materials, Springer, 2002.

14. Singer, F. Industrial Ceramics Springer.

15. Terpstra, R. A., Pox, P. P.A. C., Devries, A. H. Ceramic Processing, Springer, 1995

هنر آموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

همکاران هنرآموز که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت فعال داشته‌اند.

استان: قزوین

آقایان: محمد حسن نجاری، علیرضا ابراهیم آبادی

استان: یزد

آقای: علیرضا کریم بیگی

استان: فارس

آقایان: محمد خسروی، مهدی رستگار